

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ



**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Брестский областной комитет
природных ресурсов и охраны
окружающей среды

Государственное объединение
«Брестмелиоводхоз»

**АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

**Сборник научных статей
Международной научно-практической конференции**

Часть II

6-8 апреля 2016 г.

Брест 2016

УДК [502/504+628.1.034]

Рецензенты:

В.В. Тур, доктор технических наук, профессор,
УО «Брестский государственный технический университет»

В.И. Желязко, доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

М.А. Богдасаров, доктор геолого-минералогических наук, профессор,
УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»

Редакционная коллегия:

Председатель:

А.А. Волчек, доктор географических наук, профессор, декан факультета инженерных систем и экологии БрГТУ

Зам. председателя:

О.П. Мешик, к.т.н., доцент, зав. кафедрой природообустройства БрГТУ.

Члены редакционной коллегии:

Арвидас Повилайтис – д.т.н., профессор, директор института Инженерии Водных Ресурсов университета Александра Стулгинскиса;

Э.А. Тур – к.т.н., доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и химии БрГТУ;

Г.А. Волкова – к.т.н., доцент, и. о. зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ;

В.Г. Новосельцев – к.т.н., доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции БрГТУ;

Н.П. Яловая – к.т.н., доцент, директор института повышения квалификации и переподготовки кадров БрГТУ;

В.С. Северянин – д.т.н., профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции БрГТУ;

М.В. Борушко – преподаватель кафедры иностранных языков по техническим специальностям.

А 43 **Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания:** научные статьи Международн. науч.-практ. конф., Брест 6-8 апр. 2016 г.: в 2-х частях / УО «Брестск. гос. техн. ун-т»; под ред. А.А. Волчека [и др.]. – Брест, 2016. – Ч.II. – с. 348.

ISBN 978-985-493-360-3

ISBN 978-985-493-358-0

В сборнике представлены статьи, подготовленные участниками международной научно-практической конференции «Актуальные научно-технические и экологические проблемы среды обитания», которая состоялась 6-8 апреля 2016 г. на факультете инженерных систем и экологии БрГТУ. Издается в 2-х частях. Часть 2.

УДК [502/504+628.1.034]

ISBN 978-985-493-358-0
ISBN 978-985-493-360-3 (Ч.II)

© Издательство БрГТУ, 2016

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 556.552

WATER BALANCE OF LAKE ŁEBSKO

Chlost Izabela

Department of Hydrology, University of Gdańsk, Poland, izachlost@op.pl

The article contains a brief characteristic of fluctuations in water level in Lake Łebsko in conjunction with the results of calculations of the water balance for 2003-2007. Among the balance elements, special attention was paid to the participation of the inflow of sea water in the water circulation in the lake.

Introduction

Water exchange in lakes and fluctuations in their levels are the result of a dynamic water balance (Bajkiewicz-Grabowska 2002). In the case of Lake Łebsko, these processes are influenced by its location in the coastal zone of the Southern Baltic Sea (Fig. 1). The lake gathers water naturally from its catchment and the water forced from the surrounding polders. Incidentally, the lake is a recipient of marine waters. This is possible thanks to the mouth section of the Łeba connecting the lake to the sea.

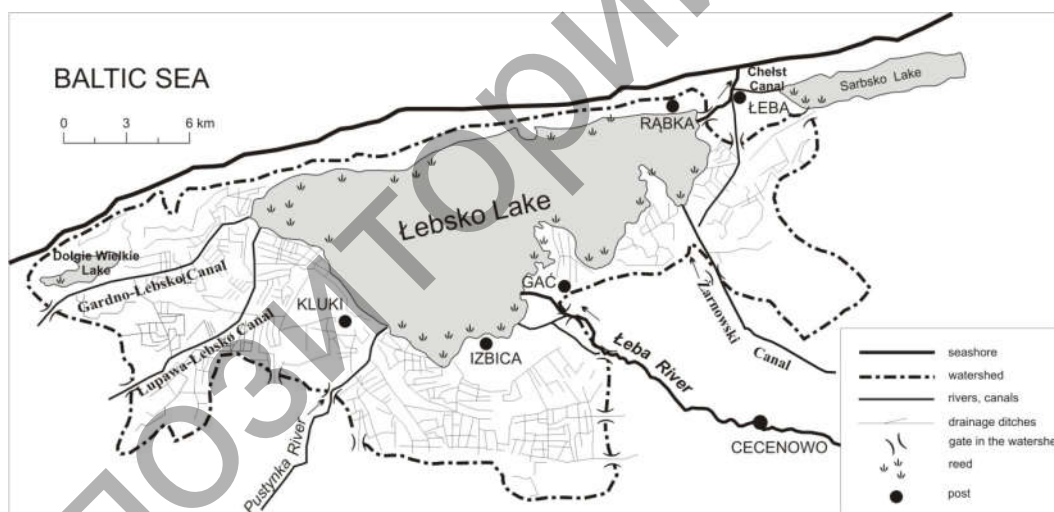


Fig. 1 -Hydrographic outline of the Lake Łebsko immediate basin

This link determines a close hydraulic connection of both water bodies. The volume of the terrestrial runoff and the volume of the inflow of marine water depends on the current sea level. Often, due to changing hydrometeorological conditions, there is a rapid increase in the sea level, which means that the outflow from the lake is blocked. Such a phenomenon may even divert the drop and evoke the inflow of marine water from the sea into the lake. This causes certain repercussions in Lake Łebsko, both quantitative and qualitative.

The aim of the study was to determine the correlation between potamic, atmospheric and marine inflow and the seasonal fluctuations in water level in Lake Łebsko. Moreover, it aimed at recognising the size of various forms of water supply, with particular reference to the participation of the inflow of marine water in the lake water circulation.

Materials and methods

The study was based on observations of water levels recorded at the gauging station in Izbica. Annual average and extreme states were analysed for the years 1965-2007, while daily states for 1992-2007. Water balance of the lake was calculated for the years 2003-2007. Water inflow from the Łeba basin was based on the daily flow of the Łeba at the gauging station in Cecenowo, monthly values of the Pustynka (Cieśliński 2008), as well as daily values of the water inflow from the seven currently active polders located in the immediate catchment of the lake. To determine the components of the vertical exchange of water balance and anemometric data necessary for their calculation, the data from the gauging stations in Łeba and Gacie were used. To determine the size of the daily evaporation from the surface of the water the Penman formula used, and to determine the sublimation during periods of ice cover of the lake – the Ostromęcki formula (Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska 2009). The inflow of the marine water into the lake was estimated for the periods when the water level of the Baltic Sea in the port of Łeba was higher than the level of the lake in Izbica. These periods were determined by comparing the states of the two bodies of water after bringing data to a common gauge zero. This method was successfully used before by other hydrologists (Mikulski 1970, Mikulski et al. 1969, Balicki 1977). To calculate the volume of the marine water inflow, the bathygraphic curve of the lake was used, assuming that intrusions inhibit the outflow from the lake and increase the resources in the lake basin. The volume of marine water inflows was received by subtracting the inflow from it the inflow from the river basin and immediate catchment. To simplify calculations it was assumed that the surface of the lake does not change in spite of fluctuations in water levels (Weber 1973).

Due to the difficulty in determining the underground inflow and outflow, it was assumed that these components are in balance and thus were omitted. The outflow from the lake was calculated from the balance equation.

General characteristics of the water levels in the lake

Fluctuations in the water level in Lake Łebsko show high volatility and irregularity. The average water level in Lake Łebsko in the years 1965-2007 was 508 cm; in the years under detailed examination, i.e. 1992-2007, the level was higher by 3 cm. In the latter period, the highest water level frequency ranged from 500 to 509 cm, while the specific states were as follows: low states zone (458-491 cm) – 15.6%, middle states zone (492-523 cm) – 62.8%, and high states zone (524-588 cm) – 2.6%.

The hydrological regime of Lake Łebsko is complex. The annual course of the water level fluctuations shows two maxima. The first one, well pronounced, is recorded in the winter half-year, in February (Fig. 2), when the lake is a recipient of very intense inflow from its catchment basin. At the same time water levels in the lake are shaped by storms resulting from the low-pressure systems moving over the Baltic Sea.

The second, much smaller maximum is recorded in the summer months, mostly in July or September. This maximum is, in turn, determined by increased precipitation. A well pronounced minimum is recorded in May and coincides with the seasonal decrease in the level of the Baltic Sea, the end of the inflow of snowmelt waters to the basin and relatively limited atmospheric supply.

High water level in the lake is usually recorded in the winter half-year. However, there are years in which higher states are recorded in the summer half-year (31.2% of cases). As a rule, this has to do with the long-term ice phenomena of the cold period, the consequence of which is limited supply of potamic and atmospheric water. Ice cover on the lake is observed every year. It appears the earliest in mid-November, and disappears the latest around 10 April. It is frequently broken by ice-free periods. The phenomenon of lowering the level of the lake water as a result of compact and long-term ice cover was recorded, for instance, in 1996, the year in

which the absolute minimum for the years 1992 to 2007 (461 cm) was recorded, and the ice persisted over 120 days (Chlost, Cieśliński 2005). Such a situation repeated in 2003 (74 days of ice phenomena) and 2006 (85 days of ice phenomena). In the other years (2001 and 2004), high water levels in summer need to be associated with the then increase in the Baltic Sea water level, which resulted in the increased frequency of marine water intrusions into the lake.

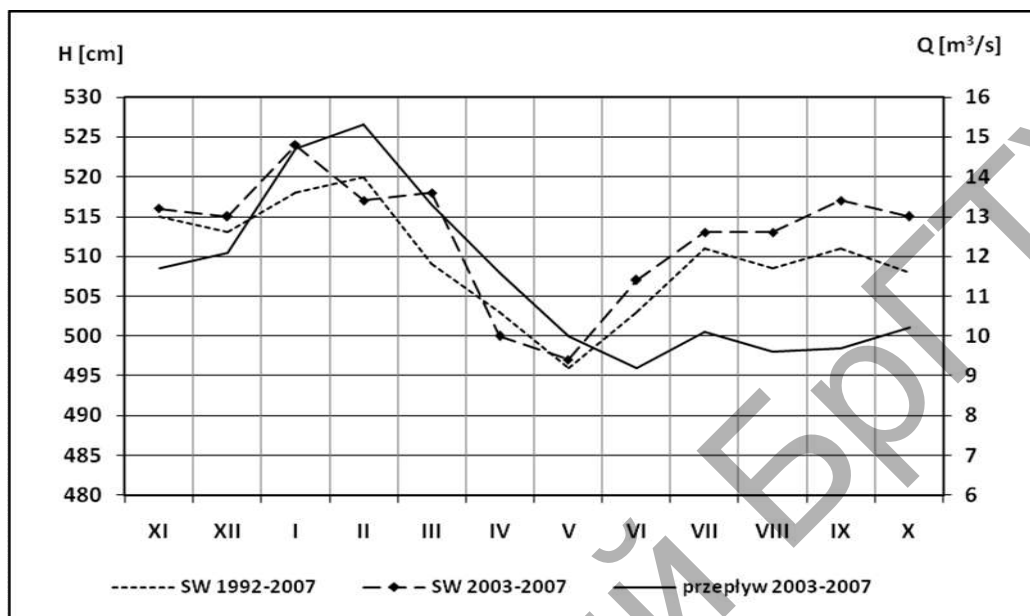


Fig. 2 – Course of average monthly water levels in Lake Łebsko in 1992-2007 and in the balance period of 2003-2007 as well as the average monthly flow of the Łeba in Cecenowo

Annual range of the water level fluctuations often exceeds 1 m (Chlost, Cieśliński 2005), which is characteristic of coastal lakes (Choiński 1985). The absolute range value for the investigated lake in 1965-2007 was 130 cm. At that time, the limit value of 1 m was reached or exceeded in 7% of cases.

Water balance

Evaluation and quantitative assessment of the amount of water taking part in circulation in the basin of Lake Łebsko was undertaken by earlier studies of several authors, incl. Mikulski (1970), Majewski (1972), Weber (1973) and others. The results for 2003-2007 are illustrated in Figure 3.

The lake balance sheet is dominated by the supply of inland waters, which represent almost 65% of the total inflow (Fig. 3). Of this volume, up to 360 million m³ (81.1%) is supplied by the Łeba, and less than 70 million m³ (15.6%) by the Pustynka. The polder system provides only 3.3% of the total volume of the inland waters. In the subsequent years potamic supply and the inflow from the pumping stations was 387-498 million m³.

For calculating the balance it is essential to estimate the inflow of marine waters into the lake. The results of calculations indicate that such intrusions make up 1/3 (almost 228 million m³) of the total supply. Saline water intrusions are possible as a result of the water level in the lake, which is slightly above the sea level. The specialist literature mentions diverge values of the level ranges, from 30 (Jańczak 1997) to 8.6 cm (Szopowski 1958). In the period covered by the balance this difference was 7 cm on average and was calculated on the basis of the average level of Lake Łebsko at the gauging station in Izbica and mean sea level in Łeba, taking into account the difference of the gauging zero which is 1 cm. The

share of marine waters in the horizontal exchange was calculated taking into account changes in the level of the lake caused by inflow from the catchment. The calculations included the deduction of the volume of the river inflow from the water layer formed by periodically prevailing water level in the sea over the state of the lake (Mikulski 1970, Weber 1973). This eliminated intrusion days, when the sea level exceeded the level of water in the lakes by 1-2 cm, and occasionally approx. 3 cm.

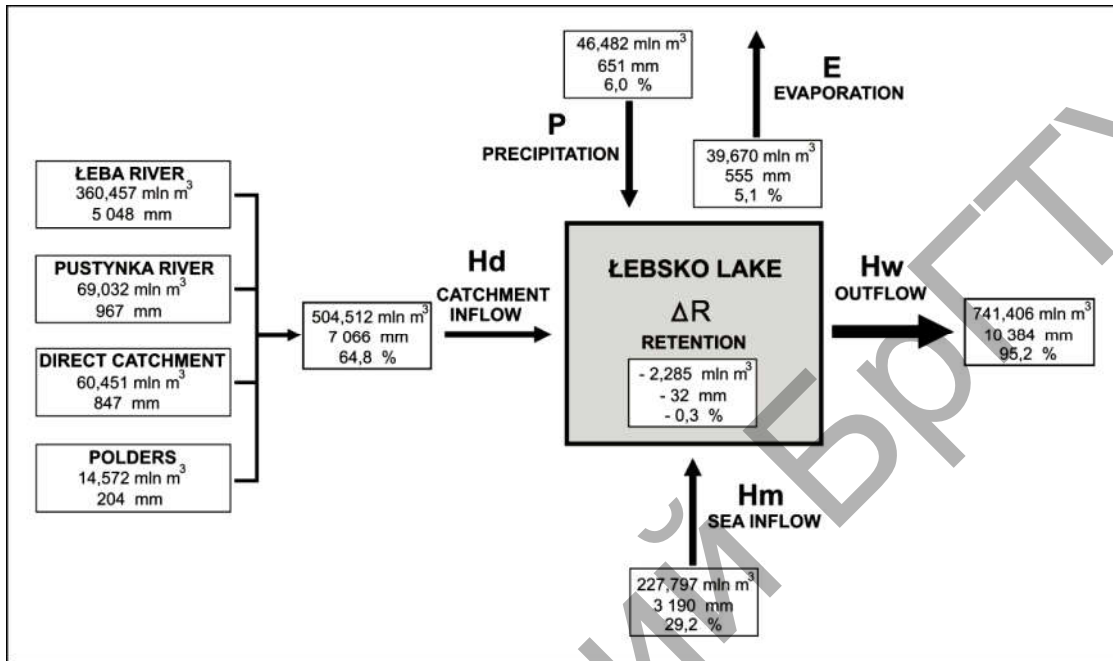


Fig. 3 – Average water balance of Lake Łebsko: 2003-2007

The months with the highest chance for an intrusion were June (14%) and December (11.1%), while the lowest number of marine intrusions was recorded in April (2.7%) and February (3.8%) (Fig. 4). It follows that the inflows occur most often in the spring months in which the water level of both water bodies is very low with the difference between them small and the limited supply from the basin (June, May). Intrusions occur least frequent during the snowmelt outflow (April) and large inflow from the mainland (February).

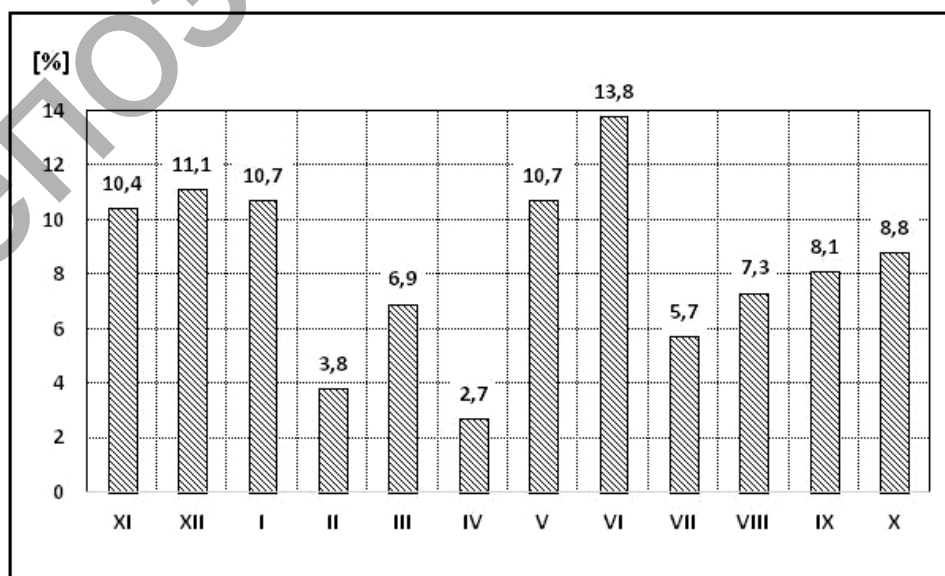


Fig. 4 – Proportion of days with the marine water inflow into Lake Łebsko: 2003-2007

Given the volume of water supplied, both in the case of water inflowing from the land and from the sea, the largest recorded was in the winter half-year. Maximum supply from the basin was in January and February (together over 20%), while from the sea side, these values were dominant in December and January (nearly 30%).

The volume of the outflow from the lake to the sea was more than 95% of the outgoing side of the balance sheet. In the annual balance the largest outflow was recorded in the winter months, from December to April (with a maximum in January), as well as in October. They were also months of high-volume inflow from the catchment basin and atmospheric supply. The size of the outflow in a simple way also determined the value of the lake retention. It was responsible for the change in the lake capacity in the balance period (Bajkiewicz-Grabowska 2002). In 2003-2007 the lake retention volume took a negative sign in the winter half-year, and positive in the summer. This shows that during the first half of the hydrological year, especially in February-April, the water resources of the lake were gradually reduced, despite the increased supply, as referred above. This was reflected in the low water levels in the lake recorded from the beginning of May (Fig. 2). The retention level was regulated by the fluctuations of the main drainage base.

Vertical components of the water balance for Lake Łebsko were of secondary importance. The atmospheric phase of the water exchange was dominated by evaporation. The average annual evaporation from the surface of the water was 56.2 million m³, which with regard to the surface unit of the lake was 787.4 mm (Chlost 2009). In the subsequent balance years the size of evaporation varied and ranged from 723 mm in 2004 to 918 mm in 2007. Only in 2004 the recorded sum of evaporation was lower than rainfall. The difference between evaporation and precipitation was significant, and in 2005 amounted to almost 290 mm.

In 2003-2007 average precipitation on the surface of the lake was 631.6 mm, which represented 6.5% of the total inflow and gave a little more than 45 million m³ of water volume. Basically, in the autumn and winter months, mainly from October to February, the vertical exchange was dominated by precipitation. From early spring, though, the share of evaporation was gradually increasing, which only occasionally was compensated by relatively high summer precipitation. This was reflected in a slight (only 23 mm) predominance of rainfall in the winter half-year and large (179 mm) dominance of evaporation in the warm season.

Water exchange

The water exchange rate of a lake is shown by the ratio of the volume of the outflow water from the lake to its capacity. In the case of Łebsko the amount of water involved in the exchange is determined by its location in the basin of the Łeba and in the vicinity of the Baltic Sea. Being in the hydraulic connection with the sea, the lake has much more favourable conditions for a full and rapid exchange of water than inland lakes. The water exchange rate for Lake Łebsko, calculated by Mikulski (1970), is 4.4. The data of the balance elements for 2003-2007 allowed calculating that this ratio at 5.5, and in individual years from 4.1 in 2006 to 6.7 in 2007. Such an indicator is typical for hydrologically active water bodies (Paślawski 1975).

Bibliography

1. Bajkiewicz-Grabowska, E., 2002, Circulation of matter in the fluvial-lacustrine systems, Department of Geography and Regional Studies, University of Warsaw, Warsaw.
2. Cieśliński, R., 2008, Size of the surface inflow to Lake Łebsko], [in:] E. Jekaterynczuk-Rudczyk, M. Stepaniuk, M. Mazur (ed.) Contemporary research problems of the Polish geography - Physical Geography, Geographical Documentation] Polish Academy of Sciences, IGiPZ, Warsaw.

3. Kossowska-Cezak, U., Bajkiewicz-Grabowska, E., 2009, Fundamentals of hydro-meteorology, PWN, Warsaw.
4. Mikulski, Z., 1970, Inland waters in the coastal zone of the Southern Baltic Sea, Papers of the PIHM, vol. 98, Warsaw.
5. Mikulski, Z., Bojanowicz M., Ciszewski R., 1969, Water balance of Lake Druzno, Papers of the PIHM, vol. 96, Warsaw.
6. Balicki, H., 1977, The impact of the Baltic Sea on the hydrological conditions of Lake Gardno], manuscript, IMiGW Library in Słupsk.
7. Weber, M., 1973, Attempt to calculate the water balance of Lake Łebsko, Wiad. Służby Hydrolog. i Meteorolog., vol. 4, sec. IX, Wyd. Papers of the Communications, Warsaw.
8. Chlost, I., Cieśliński, R., 2005, Characteristics of fluctuations in the water level of Lake Łebsko], [w:] J.P. Girjatowicz, Cz. Koźmiński (ed.) Hydrographic and meteorological aspects of research of the Baltic Coast and some areas of Poland, Szczecin.
9. Choiński, A., 1985, Selected problems of physical limnology of Poland, Adam Mickiewicz University, Poznan.
10. Jańczak, J. (eds.), 1997, Atlas jezior Polski [Atlas of the lakes of Poland], IMGW and GW, Bogucki WN, Poznan
11. Majewski, A., 1972, Hydrological characteristics of estuary waters of the Polish coast], Papers of the PIHM, nr 105, Warsaw.
12. Szopowski, Z., 1958, Fluctuations of water levels in the Polish seaports], Hydro-technical Papers, vol. 4, Gdańsk.
13. Jańczak, J., 1997, Atlas of Polish lakes, Ed. IMGW, Warsaw.
14. Chlost 2009, Water level and water balance of Lake Łebsko] [in:] Bogdanowicz R., Fac-Beneda J. (ed.) Water resources and water protection. Water cycle and matter cycle in river basins], the Foundation for the Development of the University of Gdansk, Gdansk.
15. Paślawski, Z., 1975, Hydrological typology of the lakes of the Wielkopolskie Lake District], Geographical Review, 20, 4.

УДК 556.55

ПОЛОЖЕНИЕ ОЗЁР НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАК ФАКТОР, ФОРМИРУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКУЮ ПРОВОДИМОСТЬ ВОДЫ

Камиль Новиньски

Кафедра Лимнологии, Гданьский Университет, Гданьск, Польша,
geokamil@univ.gda.pl

The article describes influence of lake's location in the spatial hydrographic system on water conductivity of lakes. Water properties are dependant on water supply structure which is determined by location within the spatial hydrographic systems. Lake location in the system determines proportions between the surface and underground water supply and capacity of reservoirs to increase the outflow.

Введение

Условия водообмена и структура питания озёр поставлены в зависимость от их размещения в пределах территориальных гидрографических систем [Дрваль 1982, 1985] и линейных речно-озёрных систем [Байкевич-Грабовска 2002]. Помещение озера в системе решает вопрос о пропорциях между поверхностным и подземным питанием и о способности бассейнов к увеличиванию отлива. Структура питания отвечает за изменения свойств воды в озёрах. Вода, расположенная в поверхностной фазе вращения, относится к разным этапам циркуляции: от осадков до питания из подземных слоёв. Концентрация заключённых в ней минеральных веществ зависит

от времени вращения и типа центра, в котором находится. По этой причине величина притока воды из разных источников предопределяет степень её минерализации.

Целью работы является указание связи размещения озёр в пределах водосборного бассейна со структурой их питания, что в результате перекладывается на электролитическую проводимость воды.

Территория и методы исследований

Объектом изучения является речно-озёрная система верхней Радуня (Кашубское Поозерье, Польша), в состав которой входит 19 озёр (рисунок 1), отличающихся морфометрическими параметрами, гидрологической активностью, устойчивостью от внешних влияний, физико-химическими особенностями воды и трофическим состоянием. Временной диапазон проводимых исследований охватывал гидрологические годы 1999-2007, характеризующиеся значительной дифференциацией годовых течений более важных гидрологических и метеорологических характеристик.

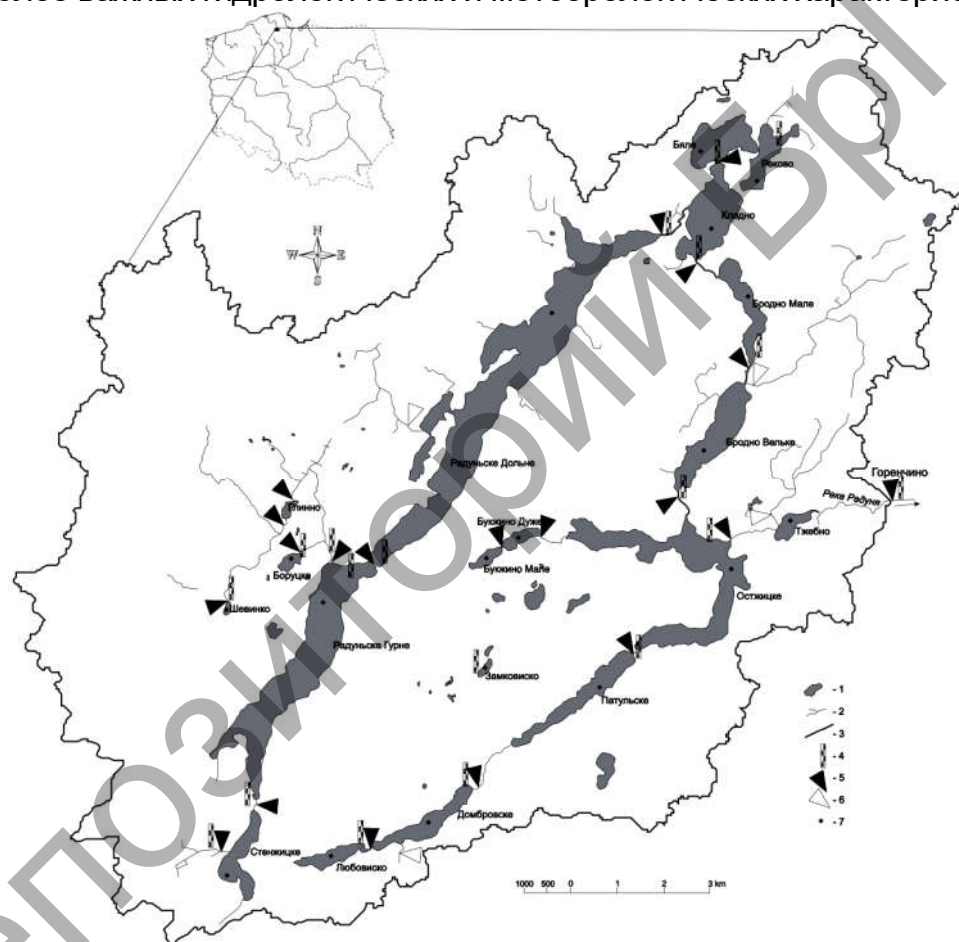


Рисунок 1 – Водообмен верхней Радуня и размещение измерительных точек:

- 1 - озера, 2 - водотоки, 3 - водораздел верхнего водообмена Радуня,
- 4 - точки измерения состояний воды, 5 - основные гидрометрические профили,
- 6 - периодические гидрометрические профили, 7 - места лимнологических измерений на озёрах

В ежемесячном цикле выполнялись измерения физических и химических особенностей воды в 19 озёрах и в 20 контрольных профилях, размещённых на входящих и выходящих из озёр водотоках, в которых выполнялись также измерения интенсивности потока. Распознавание гидрологических условий каждого озера проходило на основании гидрографического картирования водосбора в периоды, приходящиеся на четыре основных времени года.

Результаты

1. Разделение водосбора верхней Радуги на уровни гидрографической системы

Молодогляциальные территории представляют собой двухэтажную территориальную систему (водообменный каскад), где процессы вращения и отвода излишков воды объясняют анализ образования и организации гидрографической сети [Дрваль 1982, 1985]. Молодогляциальный водосбор в этом понимании трактуется как система каскадно расположенных и связанных с друг другом уровней водосбора.

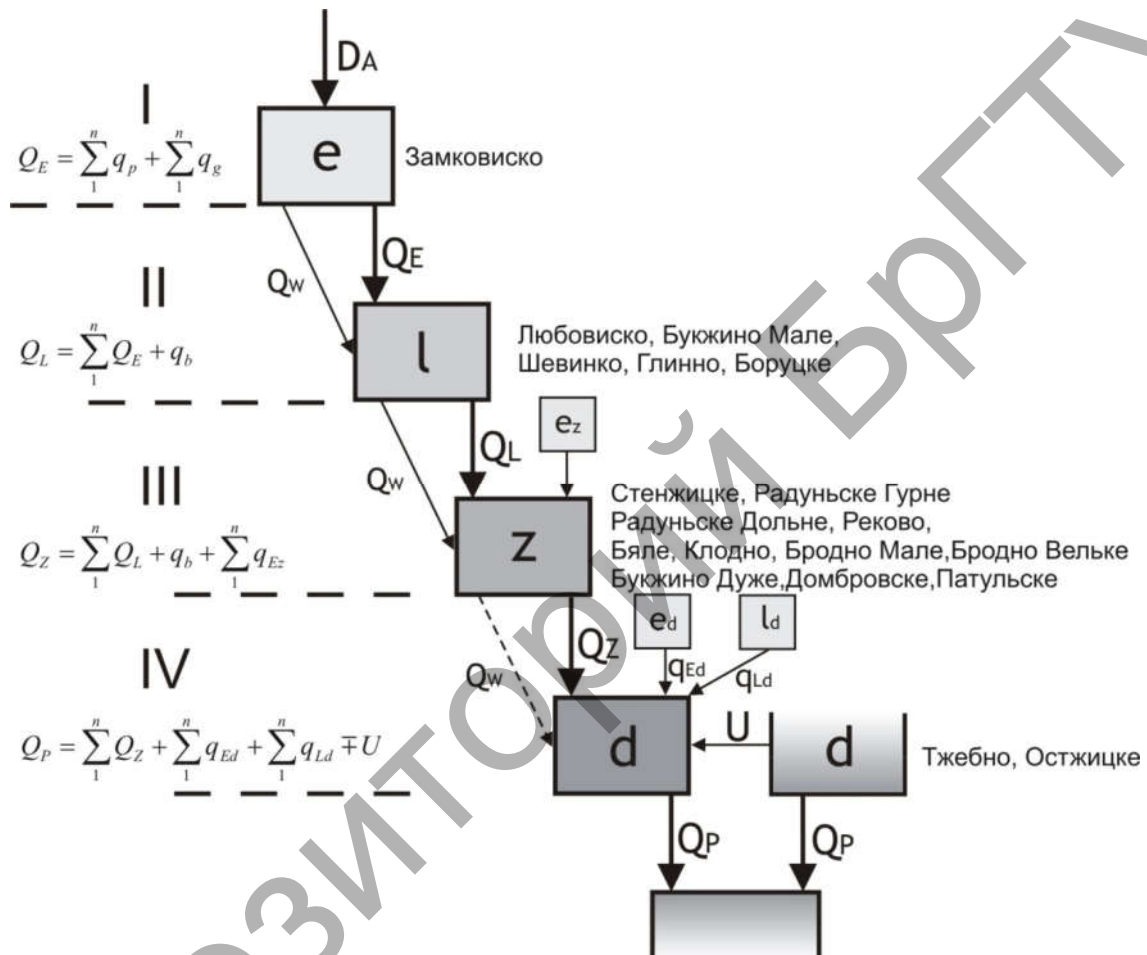


Рисунок 2 – Расположение озёр верхнего водосбора Радуги в уровнях гидрографической системы

Уровни организации системы : e – элементарные водосборы, l – локальные водосборы, z – источниковые водосборы, d – бассейны рек, n – численность единиц, ez – элементарные водосборы, строящие приречья истокового водостока, edld – элементарные и локальные водосборы, создающие непосредственный водосбор главной реки.

Этапы организации речного отлива : qq – поверхностный отлив из единичного элементарного водосбора, qg – грунтовой отлив из единичного элементарного водосбора, qb – основной отлив, QW – подземный отлив, DA – атмосферный приток, QE – концентрированный отлив из элементарных водосборов, QL – отлив водотоками из локальных водосборов, QZ – речной отлив из истоковых водостоков, QP – речной отлив из бассейнов рек, U – подземный приток или отлив, выравнивающий недостатки или излишки между бассейнами рек, qEz – концентрированный отлив из приречий истокового водотока, qEdqLd – соответственно : концентрированный из элементарного водосбора и отлив местного водотока в непосредственном водотоке главной реки.

В молодогляциальных гидрографических системах можно выделить 5 связанных друг с другом уровней со всё более высокой степенью организации (рисунок 2). В пределах этих уровней встречаются водохранилища, отличающиеся генезисом, морфометрией, гидрологическими качествами, а также ролью, которую они выполняют в системе. В зависимости от расположения на уровне системы озера влияют на условия вращения воды во всей системе: от увеличения испарения через включение во вращение подземных вод до инициации и регулирования потамического отлива.

В элементарных единицах, где начинают организовываться первые формы концентрированного отлива, встречаются небольшие вместилища (главным образом прудки), большей частью лишённые постоянного отлива. Они занимают углубления, в которых накапливаются периодические излишки воды. На этой территории часть воды, накопленной поверхностно и из грунта, возвращается в атмосферное вращение, часть воды инфильтруется, пополняя подземные воды. В границах элементарного водосборного бассейна расположено бессточное озеро Замковиско, значительная глубина бассейна которого (17.8 м) подсказывает, что оно связано с подземными водами.

Критерием, который позволяет классифицировать единицу к более высокой ступени организации системы, является существование постоянного или временного отлива. В местных водосборах появляется уже основной отлив, благодаря дренажу водоносных слоёв. На этой ступени организации озера обеспечивают уже речной отлив. Озер в локальных водосборах больше, чем в элементарных водосборах. Их питание идёт, главным образом, через поверхностный дренаж водосбора и дренаж грунтовых вод, что гарантирует постоянство этих объектов и небольшой потамический отлив. Вот озера в местных водосборах в системе верхней Радуни: Шевинко, Глинно, Боруцке, Букжино Мале, Любовиско (рисунок 2).

На более высоком уровне организации системы, то есть в истоковых водосборах, находятся самые большие озера, то есть проточные, с большими накопительными способностями. В системе верхней Радуни это озера: Стенжицке, Радуньске Гурне, Радуньске Дольне, Клодно, Бродно Мале, Бродно Вельке, Патульске, Домбровске, Реково, Бяле и Букжино Дуже. Они принимают полное участие в формировании речного отлива, преимущество которого над другими формами отведения излишков воды - отличительное качество истоковых водосборов. В связи со значительными глубинами эти озера дренажируют также углублённые водоносные уровни, включая их воду в потамическое вращение. В истоковых водосборах также отчётливо заметна задержка в реагировании водотоков на повышенное осадочное питание.

Следующим уровнем организации гидрографической системы в молодогляциальном пейзаже являются бассейны рек. В их пределах встречаются, главным образом, реолимнические водохранилища, то есть сильно проточные. Озера этого типа накапливают, главным образом, речные воды и выполняют функцию регулирования отлива вод, поставляемых главной рекой или непосредственно из истоковых водосборов. В случае этого типа озёр местные факторы играют во вращении воды небольшую роль, поскольку пополнение по непосредственному водосбору озера имеет ничтожное значение в общей структуре отлива. На этой ступени организации в верхнем водосборе Радуни функционирует озеро Тжебно. С точки зрения накопления воды из разных истоковых водосборов, локальных и элементарных, на этом уровне можно расположить также озеро Остжицке.

Наиболее высоким в иерархии уровнем, охватывающим отдельные бассейны, является кашубская гидрографическая система [Дрваль 1985]. Эта полностью сложившаяся система отводит излишки воды из пространства Кашубского Поозерья.

Этажность положения гидрографических единиц отчётливо согласована с морфологическими уровнями территории. Уровень высотности характеризуется

периодической гидрографической сетью и присутствием бессточных поверхностей. Донья желобов отличаются постоянством гидрографической сети.

На молодогляциальных пространствах большое значение имеет подземная фаза вращения воды. На основании разниц в значениях притока и отлива на отдельных уровнях организации гидрографической сети можно предполагать, что подземное вращение воды может проходить с пропуском некоторых водоносных этажей. В этом процессе существенна дренажирующая роль озёрных бассейнов. Существующие на отдельных уровнях каскады озера, часто значительной глубины, включают в поверхностное вращение воду из разных водоносных слоёв [Янковска 1985]. В районе верхнего водосбора Радуни в элементарных водосборах эвапотранспирационных, после учтённого накопления и разницы между осадками и испарением, равнодействующая подземного отлива может достигнуть максимумом 188 мм. В элементарных впитывающих водосборах инфильтрация достигает 257 мм и является главной формой отлива из этого типа единиц гидрографической системы. Элементарные отливные водосборы показывают большей частью производительность поверхностного отлива на уровне от 53 до 77 мм, что после учёта испарения даёт равнодействующую подземного отлива на уровне 180 - 204 мм. Ещё большее пополнение подземных вод происходит периодически посредством отливных водосборов. В этих единицах поверхностный отлив происходит только во время года со значительной влажностью, и по этой причине годовой кумулированный отлив водотоками составляет 25 мм. Оценённый подземный отлив из периодически отливного водосбора составляет 232 мм, что является - значительным источником пополнения для гидрографических объектов, находящихся на более высоких уровнях организации.

2. Проводимость воды

Структура запитывания озёр отвечает за свойства воды в озёрах. Расположенная в поверхностной фазе вращения вода происходит из разных этапов циркуляции: от осадков до питания из подземных слоёв. Количество содержащихся в ней минеральных веществ зависит от времени вращения и типа центра, в котором она появляется. По этой причине величина притока воды из разных источников предопределяет степень её минерализации. Приток низкоминерализованной воды из осадков вызывает разбавление и падение концентрации веществ в поверхностных водах. Во время инфильтрации вода транспортирует вещества из поверхности к подземным водам, обогащая вместе с тем свой состав вследствие растворения минеральной материи. Всплывающие в локальных и в истоковых водосборах подземные воды по этой причине значительно загрязнены, несмотря на частичную фильтрацию через слои осадков, а проводимость этих вод составляет от 320 до 470 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Короткие, часто периодические водотоки в верхнем водосборе Радуни характеризуются водами большей частью низкой проводимостью, примерно 100 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (минимально 85 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ - временный водоток, врывающийся в озеро Шевинко). Вместе с развитием гидрографической сети и большим участием питания из более глубоких водоносных слоёв, растёт также минерализация воды в водотоках верхней Радуни, и проводимость достигает в отрезках их устья примерно 400 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (максимально 430 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ в Лончинской Струге). Проводимость воды озёр верхней Радуни большей частью более низка, чем воды водотоков, что вызвано способностями озёр к трансформации материи. Значения в поверхностных водах озёр колеблются от примерно 70 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Замковиско) до 362 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Букжино Мале) при среднем для всех описываемых озёр на уровне 259 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Вода озера Букжино Мале достигает таких высоких ценностей проводимости, ввиду большого участия подземного притока по сравнению с другими формами питания.

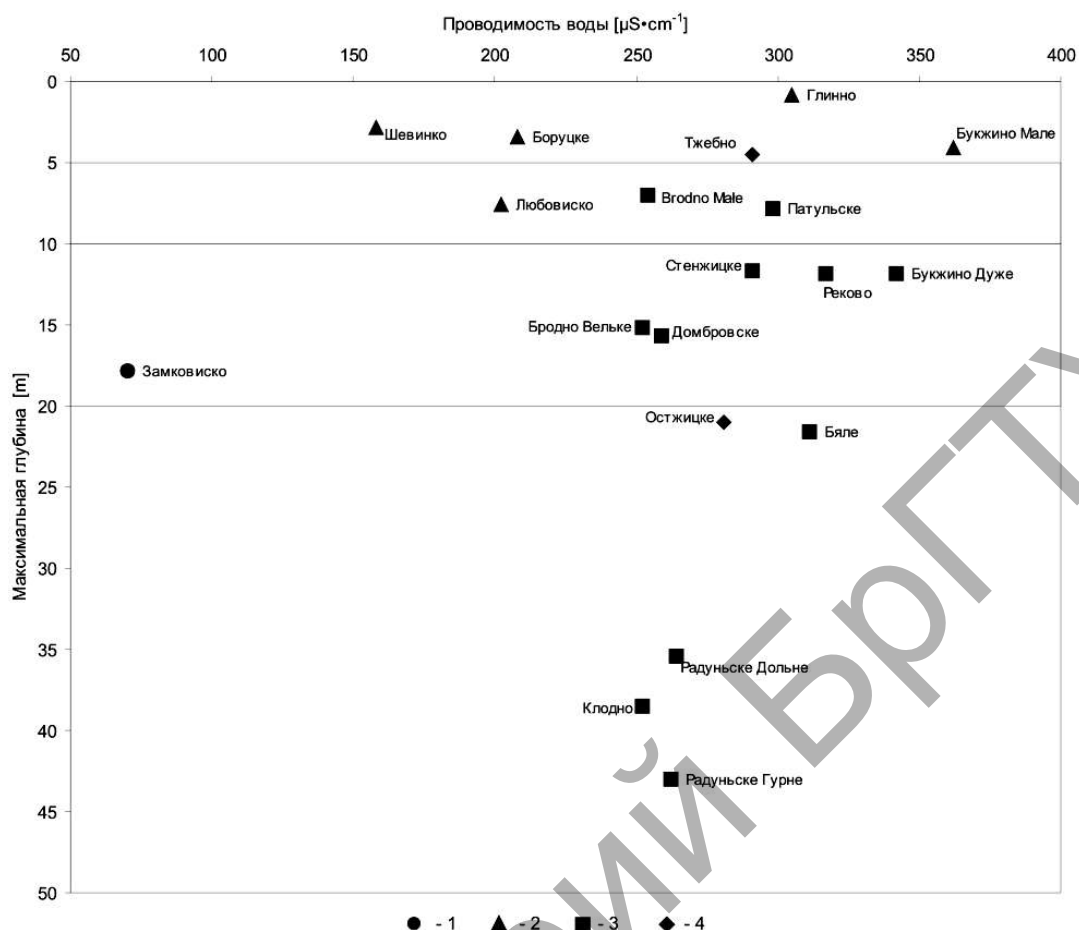


Рисунок 3 –Связь проводимости воды с максимальной глубиной озёр :
 1 - озера в элементарном водосборе, 2 - озера в локальном водосборе,
 3 - озера в истоковом водосборе, 4 - озера в бассейнах рек

Приток подземных вод к озёрам зависит в том числе от склонности миски к дренажу водоносных слоёв, что предопределяет напр. максимальная глубина. Рисунок 3 представляет зависимость между максимальной глубиной озёр на разных уровнях организации системы и проводимостью воды. Из рисунка следует, что связь между этими элементами ничтожна, зато большое значение имеет положение в иерархически организованной гидрографической системе. Заметно также, что мелкие озера (большой частью в локальных водосборах) отличаются самым большим дифференцированием значений проводимости: от $158 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Шевинко) до $362 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Бужино Мале). Озера этого типа характеризуются отчётливым перевесом одного типа питания (напр. поверхностного в оз. Шевинко, речного в Глинне и подземного в Бужине Малом), что детерминирует минерализацию воды.

Проводимость воды среднеглубоких ($H_{\text{макс}} 5 - 10 \text{ м}$) озёр в истоковом водосборе не показывает большой дифференциации, находясь собственно в пределах $250 - 300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Расположенное в локальном водосборе озеро Любовиско отличается более низкой проводимостью ($202 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), так как - большее значение атмосферных осадков в структуре его питания. Аналогично также в случае глубоководных озёр в элементарном водосборе. Озеро Замковиско питается, главным образом, осадками, и проводимость его воды составляет только $70 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Воды глубоководных и очень глубоких озёр в источниковых водосборах и бассейнах рек не показывают большого дифференцирования проводимости, но её ценность зависит также от участия отдельных источников в питании озёр.

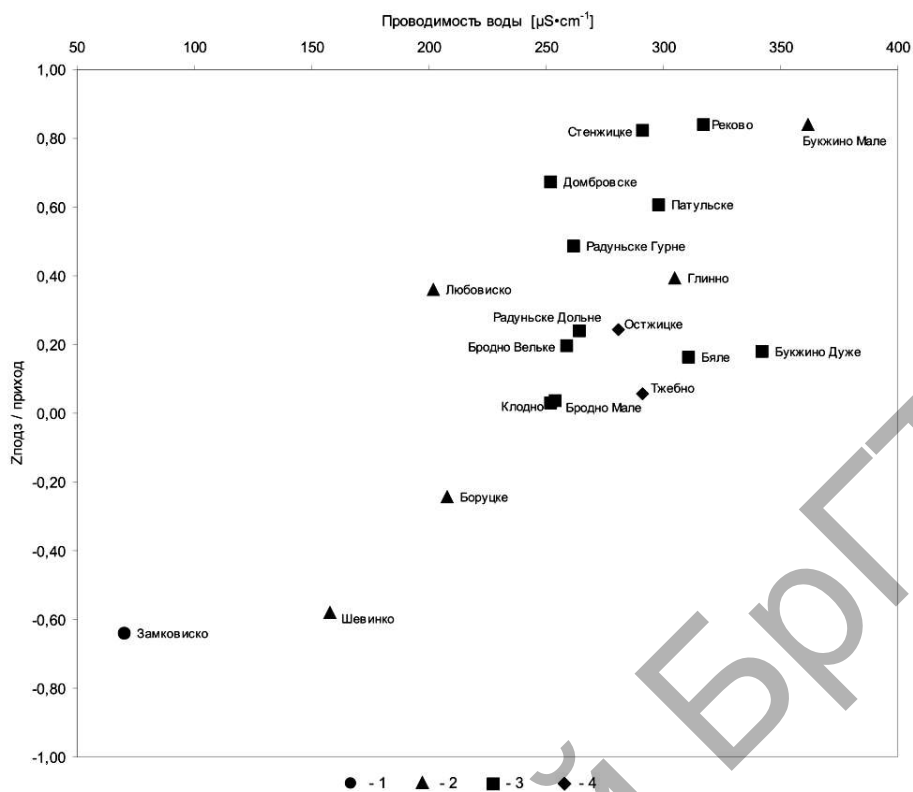


Рисунок 4 –Связь проводимости воды и частного равнодействующей подземного питания к полному притоку воды к озёрам: 1 - озера в элементарном водосборе, 2 - озера в локальном водосборе, 3 - озера в истоковом водосборе, 4 - озера в бассейнах рек

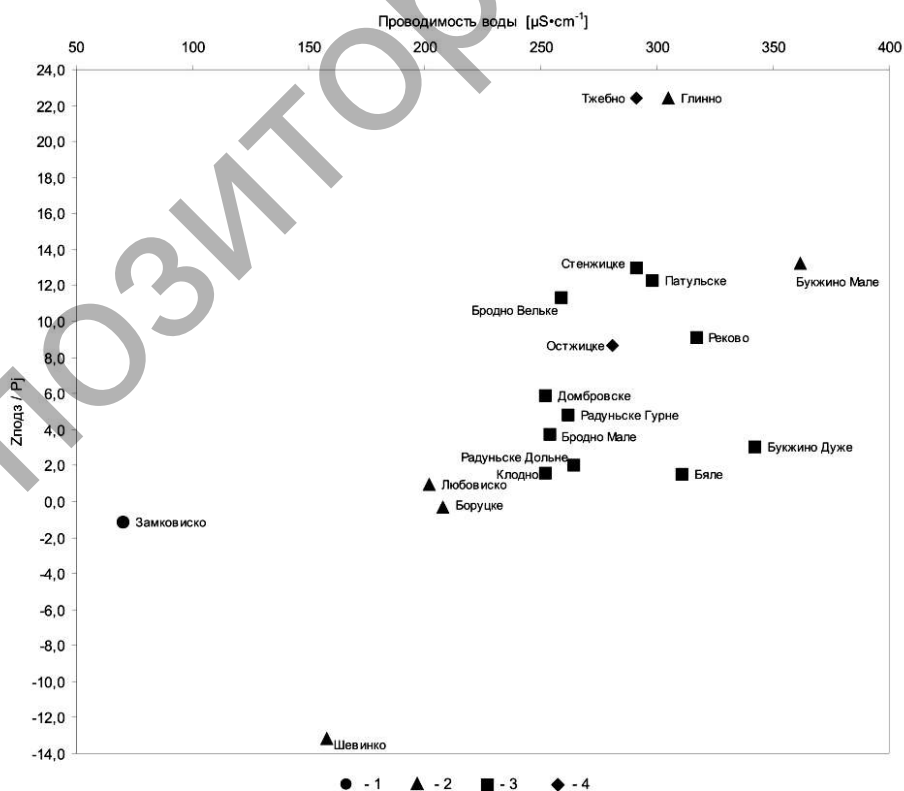


Рисунок 5 –Связь проводимости воды и частного равнодействующей подземного питания к осадочному питанию: 1 - озера в элементарном водосборе, 2 - озера в локальном водосборе, 3 - озера в истоковом водосборе, 4 - озера в бассейнах рек

Пропорции между отдельными составными питания, а именно величиной подземного и поверхностного притока и питания осадками, влияют на химический состав воды, отражением чего является её проводимость. Представленные на рисунке 4 и рисунке 5 связи проводимости воды со знаменателем подземного и общего питания ($Z_{\text{подз}} / \text{Приход}$), а также проводимость с частным подземного и осадочного питания ($Z_{\text{подз}} / P_j$) представляют зависимости минерализации воды от способа пополнения озёр.

Самым большим участием равнодействующей подземного притока в полном притоке воды к озёрам ($Z_{\text{подз}} / \text{Приход} = \text{около } 0,8$) отличаются озера: Стенжицке, Реково и Букжино Мале. Такое большое питание подземными водами с более высокой минерализацией в результате приводит к повышенной проводимости воды этих озёр. В озёрах, в которых констатирован подземный отлив ($Z_{\text{подз}} / \text{Приход} < 0$), заметили самую низкую минерализацию воды. Это большей частью озера в элементарных водосборах (Замковиско) или некоторые мелкие озера в местных водосборах (Шевинко). Исключение - Озеро Боруцке, которое несмотря на перевес осадочного питания и подземного отлива, характеризуется средней проводимостью на уровне $208 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Такое состояние вызвано усиленной антропопрессией на это озеро. В оставшихся озёрах верхней Радуни участие подземного питания составляет от 3 - 4% (Клодно, Бродно Мале) и свыше 60% (Патульске и Домбровске), что при различном воздействии поверхностного и осадочного притока вызывает дифференцирование минерализации воды и соотношение количества воды, происходящей из подземных запасов к питанию осадками, объясняет изменчивость проводимости воды в этой группе озёр (рисунок 5). В большинстве озёр верхней Радуни замечается влияние этих источников питания на минерализацию воды. Наиболее отличающиеся от схемы озера (Букжино Дуже, Бяле, Бродно Вельке, Тжебно и Глинно), проводимость воды которых поставлена в зависимость, главным образом, от поверхностного притока. Озера: Шевинко, Замковиско и Боруцке имеют отрицательное значение показателя и тем меньшее значение, чем больше подземный отлив превышает сумму осадков на поверхность озера.

Заключение

Большое значение в формировании свойств воды, в том числе проводимости, имеет положение озёр в иерархически организованной гидрографической системе и структура пополнения озёр в связи с морфометрическими качествами бассейнов озёр. Эти зависимости позволяют констатировать, что:

Большую роль относительно условий питания и ценности минерализации воды играет положение в иерархически организованной гидрографической системе, чем максимальная глубина озёр.

Общая минерализация вод озёр остаётся в связи с отношением равнодействующей подземного и общего питания ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход}$) и равнодействующей подземного и осадочного питания ($Z_{\text{подз}}/P_j$). Изменчивость характеристики ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход}$ в озёрах верхней Радуни колеблется от отрицательных ценностей в озёрах с отрицательной равнодействующей подземного питания: Замковиско, Шевинко, Боруцке и ниже 0.1 (Клодно, Бродно Мале, Тжебно) и свыше 0.8 (Букжино Мале, Реково, Стенжицке). Ценности второй зависимости ($Z_{\text{подз}}/P_j$) также принимают отрицательные значения в озёрах, в которых равнодействующая подземного питания показывает на отток воды подземным путём. В остальных озёрах показатели находятся в границах от 1 (Любовиско) и свыше 10 в озёрах: Бродно Дуже, Патульске, Стенжицке, Букжино Мале, Глинно и Тжебно.

Мелкие озера ($H_{\max} < 5$ м), расположенные большей частью в локальных водосборах, отличаются самым большим дифференцированием проводимости воды: от $158 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Шевинко) до $362 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Букжино Мале). Озера этого типа характеризуются отчётливым перевесом одного типа питания (напр. поверхностного в оз. Шевинко, речного в Глинне и подземного в Букжине Малом), что детерминирует минерализацию воды. Озеро Букжино Дуже отличается высоким показателем равнодействующей подземного питания, что указывает на очень большое участие подземного притока в полном приходе воды в озёра ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход} = \text{примерно } 0.8$), в Шевинке зато обнаружили противоположную ситуацию ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход} < 0$).

Проводимость воды среднеглубоких озёр ($H_{\max} 5 - 10$ м), расположенных на уровне локальных водосборов составляет примерно $200 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Любовиско), что выражает большее значение атмосферных осадков в структуре питания (равнодействующая подземного питания к осадочному $Z_{\text{подз}}/P_j = 1$). Среднеглубокие озера на уровне истоковых водостоков показывают проводимость в разбросе от $250 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Бродно Мале) до $300 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Патульске), что свидетельствует о росте значения поверхностного притока в случае оз. Бродно Мале и подземного притока в оз. Патульске ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход} = 0.61$).

Проводимость воды глубоководных озёр ($H_{\max} 10 - 20$ м), расположенных на уровне истоковых водосборов, помещается в разбросе от $260 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Бродно Дуже) до $340 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Букжино Дуже). Минерализация этих озёр вытекает, главным образом, из притока выше расположенного озера, зато значение подземного притока видно в случае озёр Стенжицке и Реково, где $Z_{\text{подз}}/\text{Приход} \approx 0.8$. В расположенном на уровне элементарного водосбора и пополняемым, главным образом, осадками озере Замковиско, несмотря на его значительную глубину, равнодействующая подземного питания показывает на незначительное участие алиментации подземным путём ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход} < 0$), что действует на проводимость вод этого озера ряда $70 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Очень глубокие озера ($H_{\max} > 20$ м) на уровне истоковых водосборов и бассейнов рек не показывают большого дифференцирования проводимости, и она образуется на уровне от $250 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Клодно) до $310 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Бяле). В озёрах на этом уровне территориальной гидрографической системы растёт значение поверхностного питания за счёт подземного питания ($Z_{\text{подз}}/\text{Приход}$ от 0.03 до 0.16).

Озеро Боруцке, несмотря на перевес осадочного питания и подземный отлив, характеризуется средней проводимостью на уровне $208 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Такое состояние вызвано причиной массивированной антропопрессии этого озера.

Список литературы

1. Дрваль, И.: Образование и организация гидрографической сети как основание оценки структуры отлива на молодогляциальных территориях, Научные Тетради. УГ, Розпр. и Мон. 33, Edit. University of Gdańsk, Гданьск, 1982 г. – 130 с.
2. Дрваль, И., Озера в эзореических системах молодогляциальных поозерий, Научные Тетради. / И. Дрваль – Отд. БиНоЗ УГ, География, 14, 7-15 с.
3. Байкевич-Грабовска, Э., 2002, Вращение материи в речно-озёрных системах, Edit. Warsaw University, Варшава, 274 с.
4. Янковска, Г., 1985, Значение озёр в формировании подземного отлива в бассейне верхней Радунь, Научные Тетради. / Г. Янковска – Отд. БиНоЗ УГ, География, 14, 57-68.

ТРАНСГРАНИЧНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ ВИЛИЯ

Асмаловский Н.А.

Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования вод», г. Минск, Республики Беларусь
nicckk@tut.by.

The article are included patterns of change in hydrological and water management indicators in the river basin Vilijaas a result of human activity on the territory of the Republic of Belarus

Введение

Республика Беларусь расположена на водоразделе бассейнов Черного и Балтийского морей. Вследствие этого множество малых, средних и особенно крупных рек, исток которых расположен на территории Республики Беларусь, протекают и по территории соседних стран. Зачастую встает вопрос об изменении качественных и количественных показателей поверхностных вод при трансграничном переносе.

С вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС (БАЭС), вследствие существенного забора воды и сброса сточных вод изменится уровенный, скоростной и температурный режим реки Вилии, в том числе в ее пограничном створе. На водный режим реки будет продолжать оказывать влияние и переброска речного стока Вилии в р. Свислочь по Вилейско-Минской водной системе (ВМВС). Однако объем перебрасываемой воды уменьшится в связи с планируемым переводом водоснабжения Минска только на подземные источники. Все эти факторы повлияют как на размер трансграничного воздействия, так и на инфраструктуру и информированность подразделений пограничных отрядов для эффективной охраны Государственной границы Республики Беларусь с Литвой.

Основная часть

Река Вилия является правым притоком первого порядка реки Неман, на которую оказывается огромное антропогенное воздействие в ходе хозяйственного использования водных ресурсов. Изъятие водных ресурсов из реки Вилия является одной из многочисленных проблем речного бассейна Немана.

Водноэкологические особенности бассейна р. Неман выглядят следующим образом [1]:

- переброска значительного количества Вилейской воды в бассейн Днестра по Вилейско-Минской водной системе;
- отсутствие очистных сооружений в некоторых городах и большинстве поселков городского типа;
- засорение и заиление рыбохозяйственных прудов;
- преобладающее влияние рассредоточенных источников загрязнения (от 40 до 90 %) на качество вод реки и ее притоков;
- неупорядоченность навозоудаления, отведения и очистки стоков животноводческих комплексов;
- необходимость охраны уникальных водных объектов (Нарочанской озерной группы);
- трансграничный перенос загрязнений по руслу реки в Литву.

Важным антропогенным преобразованием реки Вилии стало строительство в 1976 году Вилейского водохранилища и Вилейско-Минской водной системы (ВМВС), по которой осуществляется переброска воды из Вилии в р. Свислочь для водоснабжения населения, промышленности и обводнения города Минска. Данная реорганизация функционирования речной системы изменила естественный водный режим реки. ВМВС – комплекс сложных гидротехнических сооружений, включающий Вилейское водохранилище, канал для переброски воды, ряд искусственных водоемов на Свислочи и отрегулированное русло реки до устья ее левого притока – р. Волмы включительно [2].

Сток р. Вилии претерпел значительные изменения с 1976 года после строительства Вилейского водохранилища и начала функционирования Вилейско-Минской водной системы. Разнородность стока за весь период наблюдений реки Вилия по двум гидрологическим постам, разделенная на 2 части (до создания водохранилища и после), представлена в таблице 1. Данная таблица свидетельствует о значительном расхождении расчётных гидрологических характеристик, определённых за период до строительства Вилейского водохранилища и после. При этом влияние водохранилища на сток в створе н.п. Михалишки оказывается намного меньше, вследствие значительной боковой приточности между створами Вилейка и Михалишки [3].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика расчётных величин стока реки Вилия за различные временные периоды [3]

Показатель	1949-1975 гг. млн м ³	1977-2007 гг. млн м ³	Величина расхождения, млн м ³	% расхождения
Р. Вилия – Вилейка				
Среднегодовой объем стока	883,0	655,9	227,1	26
Максимальный объем стока	1277,2	1088,0	189,2	15
Минимальный объем стока	567,7	444,6	123,0	22
Р. Вилия – Михалишки				
	1945-1975 гг.	1976-2007 гг.		
Среднегодовой объем стока	2163	1895	268	12
Максимальный объем стока	3154	2655	499	16
Минимальный объем стока	1492	1321	171	11

В скором будущем, в 2018 году, планируется запустить первый энергоблок Белорусской атомной электростанции (БАЭС). Основным видом воздействия АЭС на поверхностные воды после ввода в эксплуатацию является изменение гидрологического режима. На основании выполненной оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) были выявлены прогнозируемые изменения отдельных компонентов гидрологического режима реки Вилия после планируемого ввода в эксплуатацию БАЭС.

Прогноз воздействия БАЭС на характеристики стока основан на максимальном объеме безвозвратного водопотребления станции, который для двух энергоблоков составит 120,96 тыс.м³/сут (1,4 м³/с) [3]. Прогнозируется, что при размещении двух энергоблоков при расходах воды в реке, близких к средне-многолетним, безвозвратное водопотребление будет не более, чем 2,2 % от расхода воды в реке [3]. Максимальное понижение уровней на участке реки Вилия ниже размещения водозабора и отвода технических сточных вод может составить при двух энергоблоках и среднемноголетних расходах воды до 3 см (до 1 см в трансграничном створе), при минимальных расходах – до 7 см (до 5 см в трансграничном створе). Ожидается уменьшение средних скоростей течения (максимальное – на 0,04 м/с) на участке реки ниже размещения водозабора и незначительное изменение в трансграничном створе. На участке до 1,5 км

вверх по течению реки планируется, что увеличение средних скоростей течения составит 0,02 м/с [3].

Анализ полученных результатов по всем расчётным годам свидетельствует о том, что изъятие стока из речного русла в настоящее время не превышает 124 млн.м³ в год, что составляет менее 10 % от годового стока 97 % обеспеченности выше н.п. Михалишки, следовательно, заметного влияния на изменения стокового режима реки оказать не может [3]. Планируемый на перспективу рост безвозвратных изъятий не превысит 10 % стока 95% обеспеченности, что тоже находится в пределах погрешности определения гидрологических величин [3].

Проведен расчёт дополнительного бокового притока на участке реки от н.п. Михалишки до границы с Литвой. Данные свидетельствуют о том, что увеличение расхода за счёт стока, сформировавшегося на участке, составляет в средний по водности год 5,4 м³/с, в год 95 % обеспеченности по стоку 3,9 %, а в год 97 % обеспеченности 3,6 м³/с. При этом минимальный суточный сток увеличивается на 1,3 м³/с зимой и на 2 м³/с летом [3].

Изменения гидрологического режима реки Вилия в совокупности с изменением пропусков воды из Вилейского водохранилища, вследствие планируемого перевода водоснабжения Минска только на подземные источники, потребуют уточнения режима работы Вилейского водохранилища как регулятора водного режима реки, а также корректировки режима охраны Государственной границы на трансграничном участке реки Вилия.

Зарегулированность стока реки Вилия имеет и положительное значение для Литовской стороны. За счет сезонного регулирования Вилейского водохранилища значения минимального речного стока в реке увеличились.

Литва и Беларусь как два государства, по которым протекает река Вилия, не ощущают острою нехватку водных ресурсов. Имеющиеся ресурсы природных вод вполне достаточны для удовлетворения как современных, так и перспективных потребностей в воде.

Существует определенное различие в оценке государственными учреждениями Беларуси и Литвы существующего и прогнозируемого переноса загрязняющих радиоактивных веществ.

Заключение

Антропогенное вмешательство в гидрологический режим реки оказалось ощутимым не только на территории Республики Беларусь, но и в Литве, последствия которого оказывают как отрицательное, так и положительное влияние.

Количественная оценка антропогенного воздействия и обоснование комплекса мероприятий, обеспечивающих минимизацию негативного воздействия и получение экономической выгоды литовской стороной, не только целесообразны, но и крайне необходимы для регулирования межправительственных отношений Беларуси и Литвы.

Список литературы

1. Калинин, М.Ю. Вклад Беларуси в международное сотрудничество по вопросам улучшения состояния водных ресурсов / М. Ю. Калинин. / Духовный, В. А. Проблемы экологии и использования водно-земельных ресурсов в регионе ВЕКЦА / В. А. Духовный. – Ташкент. 2010 – Сборник научных трудов . С. 85-101.
2. Вилейско-Минская водная система / В.Н.Плужников [и др.]; изд-во «Университетское; под общ. ред. В.Н.Плужникова – Минск, 1987. – 68 с.
3. Рыков, А.Н., Бобров, В.В., Стрелков, А.И. Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республики Беларусь. Книга 11. Оценка воздействия на окружающую среду. Часть 8.3. Оценка воздействия АЭС на окружающую среду. Пояснительная записка (Редакция 06.07.2010 г.) / А. Н. Рыков, В. В. Бобров, А. И. Стрелков – 2010. – С. 380-403 URL: http://www.vpvb.gov.lv/data/files/1__8_3.pdf (дата обращения: 28.02.2016).

ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВЕННОГО РЕЖИМА РЕК БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Волчек А.А., Дашкевич Д.Н.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет»,
г.Брест, Республика Беларусь, Volchak@tut.by

The aim of this work is to study changes in water level in rivers in the period of modern climate change. The analysis of monthly average water levels. Presents the annual distribution of water levels.

Введение

Для описания состояния водного объекта используется ряд гидрологических характеристик. Уровень воды относится к наиболее информативным гидрологическим характеристикам, который позволяет оценить глубину, частоту вероятности и продолжительности затопления речной долины. Уровенный режим отражает закономерности наполнения русла водотока, описывает специфику этого процесса в различных пространственных и временных масштабах. Прямые измерения уровня воды на смежных участках реки позволяют определить уклон водной поверхности – важнейшую гидравлическую характеристику, отражающую интегральное воздействие различных факторов на удельные потери напора, изменение энергии рек. Анализ сезонной и многолетней изменчивости уровней воды – метод обоснования инженерных средств организации безопасного судоходства, надежного водоснабжения населенных пунктов, их защиты от наводнений.

Колебания уровня воды в реках теснейшим образом связаны с режимом стока. На уровенный режим водотоков большое влияние оказывают морфологические особенности строения русла (характер и размеры поперечного профиля, уклоны и др.), поэтому уровенный режим рек является сугубо индивидуальным и при внешнем их сходстве может быть абсолютно отличным не только для каждой из рек, но и для отдельных их участков. Это и определяет значительные трудности при географических обобщениях по данному элементу режима рек.

Целью настоящей работы является исследование изменения уровня воды в реках в период современного изменения климата на примере рек Белорусского Полесья.

Исходные данные и методика исследования

В качестве исходных данных для исследования послужили материалы об уровнях воды в бассейнах рек Западного Буга и Припяти, приведенные в «Гидрологических ежегодниках» за 1972-2010 годы. Для сравнения и оценки ряды уровней воды разбиты на две части: с 1972 по 1986 гг. – период интенсивной мелиорации и с 1987 по 2010 гг. – период современного изменения климата. Исследования выполнены для 25 рек по средним месячным значениям уровней воды.

Для выявления количественных изменений уровней воды использовался сравнительно-географический метод исследования. При статистическом анализе временных рядов для выявления тенденций изменения уровней воды использованы хронологические месячные графики колебаний и разностные интегральные кривые, а для оценки различий в статистических параметрах применялись критерии Стьюдента и Фишера [1].

В качестве модельных выбраны следующие реки: река Лесная – г.Каменец, река Случь – с.Ленин.

Результаты исследований и их обсуждение

В таблице приведены значения критериев Стьюдента и Фишера, средние, максимальные, минимальные значения уровней воды, отношение среднего месячного значения уровня к среднему годовому, а также амплитуда колебания уровней за рассматриваемые периоды.

Таблица – Значения исследуемых параметров рек

Параметр	Месяцы												год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
река Лесная – г. Каменец													
критерий Фишера F	1,17	0,15	0,77	1,83	0,55	1,56	2,49	2,52	2,46	5,55	3,34	6,01	
t-критерий Стьюдента	1,98	0,24	0,68	1,98	2,90	3,07	1,78	1,84	2,31	2,21	1,98	2,05	
Ср.72-86, см	118	120	126	143	116	113	121	122	112	117	114	120	120
Ср.87-2010, см	104	117	120	124	99	89	95	91	85	86	91	97	100
макс72-86, см	161	159	168	221	151	158	206	216	177	212	200	190	161
мин72-86, см	80	89	78	79	78	76	73	75	74	75	76	81	88
Амп72-86, см	80	70	90	142	74	82	133	141	103	137	124	109	73
макс87-2010, см	162	312	207	172	151	124	143	165	149	137	142	132	125
мин87-2010, см	78	75	75	88	66	61	57	58	57	61	64	71	75
Амп87-2010, см	84	237	132	84	85	63	86	107	92	76	78	61	50
ΔA , см	4	167	42	-58	12	-19	-47	-34	-11	-61	-46	-48	-23
Нср.i.72-86/ Нгод72-86	0,98	1,00	1,05	1,19	0,96	0,94	1,00	1,02	0,93	0,98	0,95	1,00	0,98
Нср.i.87-2010/ Нгод87-2010	1,04	1,17	1,21	1,24	0,99	0,89	0,95	0,91	0,85	0,87	0,91	0,97	1,04
река Случь – с. Ленин													
критерий Фишера F	1,29	1,21	1,26	0,69	0,79	0,56	0,93	0,51	0,99	0,74	1,33	2,38	
t-критерий Стьюдента	-2,85	-4,25	-3,54	-2,16	-1,75	-1,96	-2,51	-2,38	-2,02	-1,24	-1,47	-1,24	
Ср.72-86, см	87	81	114	136	83	46	35	29	50	76	77	96	76
Ср.87-2010, см	137	147	168	173	115	79	74	68	83	94	98	120	113
макс72-86, см	176	167	180	196	139	138	134	110	147	150	154	270	114
мин72-86, см	3	14	29	30	-23	-14	-30	-36	-25	33	12	17	4
Амп72-86, см	173	153	151	166	162	152	164	146	172	117	142	253	110
макс87-2010, см	240	227	264	295	235	207	180	216	191	229	235	226	191
мин87-2010, см	24	25	35	51	17	9	-3	-16	4	26	31	33	48
Амп87-2010, см	216	202	229	244	218	198	183	232	187	203	204	193	143
ΔA , см	43	49	78	78	56	46	19	86	15	85	63	-60	33
Нср.i.72-86/ Нгод72-86	1,15	1,07	1,50	1,80	1,10	0,60	0,46	0,38	0,66	1,00	1,01	1,27	1,15
Нср.i.87-2010/ Нгод87-2010	1,21	1,30	1,49	1,53	1,01	0,70	0,66	0,60	0,74	0,83	0,87	1,06	1,21

Примечание. Оценка различий в статистических параметрах временных рядов осуществлена по критерию Стьюдента (t) и критерию Фишера(F) [1]. Полученные значения t-критерия Стьюдента и F-критерия Фишера сравнивались с их критическими значениями (t_{α}) и (F_{α}) при заданном уровне значимости, $\alpha=5\%$. Если $t > t_{\alpha}$, принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних, а при $F > F_{\alpha}$ принимается гипотеза статистического различия в колебаниях, рассматриваемых рядов. В таблице жирным шрифтом выделены статистически значимые значения критериев Фишера и Стьюдента.

Анализируя результаты статистической обработки временных рядов можно сделать следующий вывод, что во все месяцы произошли статистически значимые изменения двух выборочных средних: в январе у 9 рек, феврале – 12, марте – 10, апреле – 11, мае – 14, июне – 13, июле – 10, августе – 8, сентябре – 10, октябре – 10, ноябре – 10, декабре – 6 из 25 исследуемых рек. Различия в колебаниях рядов: январь – у 7 рек, февраль – 8, март – 13, апрель – 12, май – 15, июнь – 14, июль – 10, август – 17, сентябрь – 10, октябрь – 14, но-

ябрь – 11, декабрь – 9. Эти данные согласуются с результатами статистической обработки временных рядов климатических параметров, полученных нами ранее [2]. Наибольшие изменения произошли на реках: Лань – с. Мокрово, Лесная – г. Каменец, Малорита – г. Малорита, Припять – г. Мозырь, Шать – с. Шацк, Случь – с. Ленин, Ясельда – г. Береза.

Амплитуда колебания уровней воды варьируется в следующих диапазонах: за период 1972–1986 гг. от 7 см в июне на р. Мухавец – г. Брест ВБ до 437 см в апреле на р. Припять – г. Мозырь; за период 1987–2010 гг. от 25 см в мае на р. Припять – с. Качановичи ВБ до 1156 см в апреле на р. Припять – г. Мозырь. Минимальные значения колебания уровней наблюдаются на зарегулированных реках, а максимальная амплитуда колебания уровней воды наблюдается в период весеннего половодья, когда потоки талой воды со всего водосбора устремляются к руслу реки. Наступление высших уровней на всех реках Белорусского Полесья происходит вслед за вскрытием и ледоходом. Нарастание уровней и наступление пиков зависит от многоводности года и от характера весны, в частности, от хода температур. Разность амплитуд колебания уровней воды периодов 1987–2010 гг. и 1972–1987 гг. изменяется от минус 141 см в ноябре на р. Малорита – г. Малорита до 719 см в апреле на р. Припять – г. Мозырь. Знак минус показывает уменьшение уровней воды в настоящий период.

Уровенный режим рек отличает региональный характер внутригодового распределения. Районы с однотипным характером сезонного изменения уровня воды можно выделить на основе учета величины отношения средних месячных $H_{ср.i}$ и средних годовых уровней $H_{год}$. На рисунке представлены возможные типы внутригодовой изменчивости уровней воды за рассматриваемые периоды.

Первый тип уровенного режима (рисунок 1а) характеризуется незначительным увеличением уровней воды в период весеннего половодья и преобладанием в первое полугодие увеличения уровней периода 1987–2010 гг., а во втором полугодии доминированием уровней временного ряда 1972–1986 гг.

Второй тип уровенного режима (рисунок 1б) с коротким половодьем и средней по водности меженью описывается увеличением уровней периода 1972–1986 гг. в первое полугодие и преобладанием повышенных уровней ряда 1987–2010 гг. во второе полугодие. Диапазон изменения уровней воды зависит от порядка реки и площади ее водосбора.

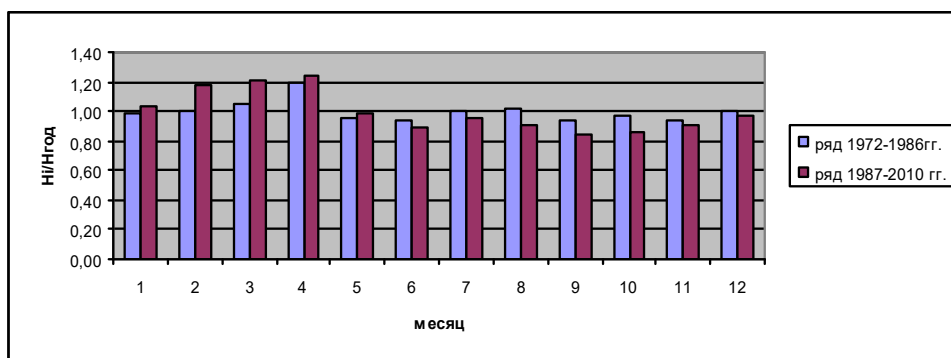
Третий тип уровенного режима (рисунок 1в) характеризуется увеличением уровней в период летне-осенних дождевых паводков.

Для четвертого типа уровенного режима (рисунок 1г) характерна фаза весеннего половодья и превалирование в течение всего года уровней периода 1972–1986 гг. над уровнями 1987–2010 гг.

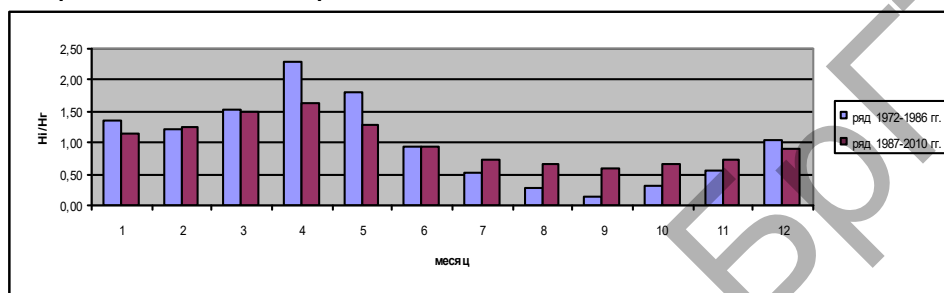
Пятый тип уровенного режима (рисунок 1д) объединяет реки с относительно неизменными уровнями двух периодов в течение года.

Уровень воды зависит от многих факторов, но доминирующим фактором формирования отметок водной поверхности в конкретном створе реки является сток воды. Речной сток формируется вследствие выпадения или таяния атмосферных осадков, которые испытывают сезонные и многолетние колебания. Продолжительность морозного и теплого сезонов года, даты устойчивого перехода температур воздуха через 0° весной и осенью характеризуют продолжительность фаз водного режима.

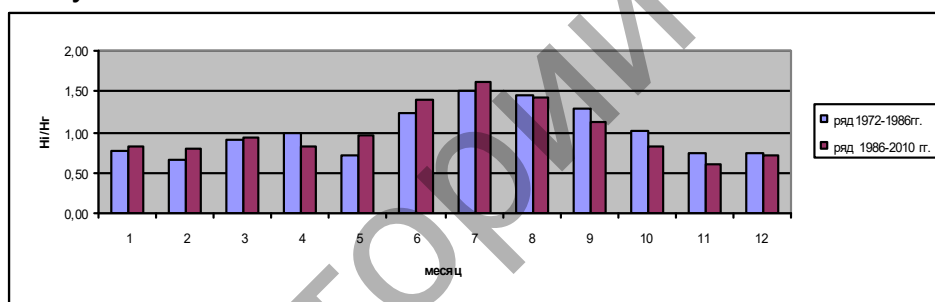
а) река Лесная – г.Каменец



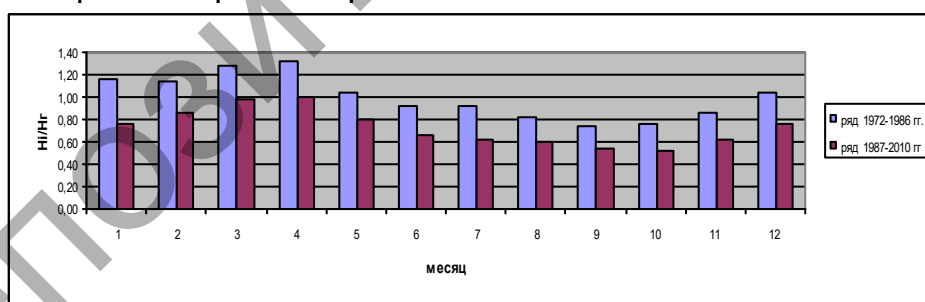
б) река Припять – г.Мозырь



в) река Случь – с. Клепчаны



г) река Уборть – с.Краснобережье



д) река Припять – г.Петриков

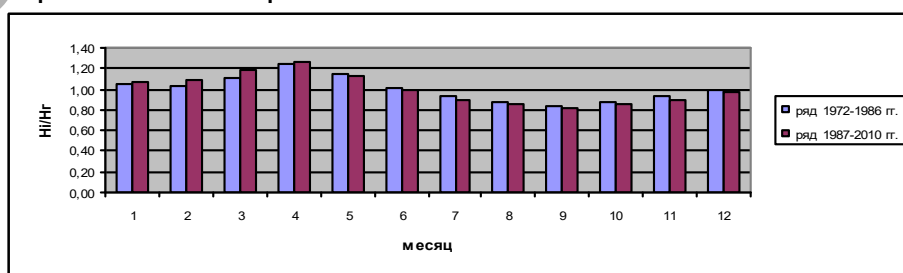


Рисунок – Основные типы внутригодовой изменчивости отношения среднемесячного и среднего годового уровней за рассматриваемые периоды (а–1, б–2, в–3, г–4, д–5)

Рассмотрим возможные причины, приводящие к таким изменениям в русле рек.

Влияние растительности – разных типов лесов, лугов, покровов и т. д. – неоднозначно. В целом растительность регулирует сток. Например, лес, с одной стороны, усиливает транспирацию, задерживает осадки кронами деревьев (особенно хвойные леса снег зимой), с другой стороны, над лесом обычно выпадает больше осадков, под пологом деревьев ниже температура и меньше испарение, дольше снеготаяние, лучше просачивание осадков в лесную подстилку. Выявить влияние разных типов растительности в чистом виде весьма трудно, ввиду совместного компенсирующего действия разных факторов. Модель влияния залесённости водосбора на величину стока и уровней воды в реке наиболее полно описана Крестовским [4].

При равномерном движении уровни воды оказываются функцией гидравлических сопротивлений. В общем сопротивлении выделяется несколько основных составляющих, связанных с извилистостью реки, параметрами русловых гряд, водной и пойменной растительностью, размером частиц донных и пойменных отложений. Интегрально вклад этих составляющих в общее сопротивление учитывает коэффициент шероховатости [5].

Влияние озёр однозначно: они уменьшают сток рек, поскольку с водной поверхности больше испарение. Однако озера, как и болота, являются мощными естественными регуляторами стока.

Хозяйственная деятельность на сток также весьма значительна. Причем человек воздействует как непосредственно на сток (его величину и распределение в году, особенно при создании водохранилищ), так и на условия его формирования. Водоохранилища меняют режим рек: в период избытка вод происходит накопление их в водохранилищах, в период недостатка – использование на различные нужды, так что сток рек оказывается зарегулированным. Кроме того, сток таких рек в общем сокращается, ибо увеличивается испарение с водной поверхности, значительная часть воды расходуется на водоснабжение, орошение, обводнение, уменьшается подземное питание.

Значительное влияние при относительно постоянных значениях расходов воды в русле реки, на изменение величины уровней оказывают русловые деформации. Степень влияния потока на русло определяется величиной транспортирующей способности потока, которая пропорциональна средней скорости потока в кубе. Соответственно, величина русловых деформаций прямо зависит от критических скоростей потока (неразмывающие, размывающие). Русловые формы обладают некоторой величиной инерционности, поэтому, кроме значений скоростей, важно также время воздействия потока на русло с определенной скоростью.

Для определения влияния русловых процессов на уровеньный режим рек необходимо проанализировать изменения поперечного сечения расчетных створов рек за исследуемый период, что будет являться следующим этапом данной работы.

Заключение

На основании статистической обработки временных рядов уровней воды выявлены значимые изменения в каждом месяце на большей части исследованных рек Белорусского Полесья. Четкой тенденции в направленности изменений уровней воды по территориальному признаку выявить не удалось, так как в различных створах происходят разнонаправленные процессы, что можно объяснить разнообразными русловыми процессами и степенью зарастания водной и пойменной растительностью. Выделено пять типов внутригодовой из-

менчивости уровней воды в бассейнах рек Западного Буга и Припяти. Полученные результаты требуют дальнейшего исследования с точки зрения причин, вызвавших данные изменения уровней воды.

Список литературы

1. Бокс, Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. Вып. 1. – 406 с.
2. Волчек, А.А. Возможные изменения речного стока в зависимости от прогнозируемого изменения климата. / А.А. Волчек, Д.Н. Дашкевич, В.Е. Валув, О.П. Мешик // Экологический вестник. - № 3(17). – С. 5 – 13.
3. Барышников, И.Б. Речные поймы / И. Б. Барышников. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 152 с.
4. Крестовский, О.И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек / О.И. Крестовский. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 119 с.
5. Караушев А.В. Проблемы динамики естественных водных потоков / А.В. Караушев. – Л.: Гидрометеоздат, 1960. – 392 с.

УДК 631.6.001

МЕЛИОРАТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

Волчек А.А., Мороз М.Ф.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, vig_bstu@tut.by

In the article features of formation of meliorative system of the Brest region are considered. Features of construction of reservoirs and channels since the XVI century to the present are considered. The analysis of a condition of lands after meliorative actions is submitted.

Введение

Водные мелиорации (орошение и осушение) — один из основных путей повышения урожайности сельскохозяйственных угодий. Мелиорация земель является объективной необходимостью в деле преобразования природных комплексов, превращения болот и заболоченных земель в высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья, социального и экономического преобразования республики. В результате крупномасштабной мелиорации, проведённой за последние два десятилетия, Белорусское Полесье превратилось в один из развитых индустриально-аграрных регионов республики. Без сомнения, мелиорация земель сыграла ведущую роль, без неё интенсификация сельского хозяйства в этом регионе была бы просто невозможна.

Основная часть

Историки утверждают, что у истоков мелиорации Брестчины была польская королева Бона Сфорца, получившая в подарок от мужа Сигизмунда I часть земель Кобринского и Пинского княжеств. Королева была весьма энергичной женщиной и все свои знания и энергию направляла на приумножение своих богатств, приобретение новых территорий.

Под ее руководством строились не только замки, дороги, школы, но и проводились экономические преобразования в системе местного управления и в земледелии. К примеру, в те годы стало модным выращивать неизвестные ранее овощи и фрукты, на столах польских вельмож стали появляться лимоны,

инжир, оливки, изюм, получили развитие семеноводство и селекция овощных и зерновых культур. Благодаря ее кипучей деятельности, начали заселяться малообжитые земли. Разраставшемуся населению нужны были для земледелия пригодные поля, и королева Бона, вероятно, первая властительница, которая подумала о масштабной мелиорации.

Современные топографические карты хранят память об этом. На землях восточной части Кобринского района сооружен канал Бона, впадающий в Днепровско-Бугский канал. К этому же времени относится ее попытка осушить болота южнее Кобрин. Есть сведения, что по ее же инициативе сделан еще один канал – от Пинского замка до деревни Стытычево (в 5 км от Пинска), где находилась королевская резиденция. Канал существует до сих пор.

После Боны Сфорца мелиоративное строительство Брестчины продолжили король Станислав Понятовский, магнат Казимир Огинский и представители рода Сапегов и Радзивиллов.

На конец XVIII в. приходится и расцвет Огинского канала, сооруженного в 1783 г. на средства родственника композитора М.К. Огинского. Канал длиной около 55 км соединил р. Ясельду (приток р. Припяти) с р. Шарой (приток р. Немана). Максимальный грузооборот был зафиксирован в 1847–1848 гг. В отдельные годы по грузообороту он почти достигал грузооборота Днепровско-Бугского канала. Транспорт по Огинскому каналу шел в обе стороны. Вниз по течению шел лес, хлеб и другие товары; вверх по течению было «взводное» судоходство. По обе стороны канала были бичевники для буксировки судов на лямках вручную и на лошадях.

В 1873 году с целью осушения болотных пространств как в Минской, так и смежных с ней губерниях – Волынской, Гродненской и Могилевской была образована Западная экспедиция по осушению болот под руководством генерала И.И. Жилинского. Экспедиция проводила изыскания и строительство осушительных систем. За 25 лет работы Западной экспедиции осушением было затронуто 2,5 млн. га земли, построено 4367 верст каналов, 549 мостов, 30 шлюзов.

В словаре Брокгауза и Ефрона (1890-1907 г.) дана оценка деятельности Западной экспедиции А.Т. Кирсановым: «На месте болот появились прекрасные сенокосные луга, которые дали возможность развиваться местному скотоводству. От осушенных, прежде бездоходных болот казна теперь получает значительные выгоды сдачей земли в аренду местному населению. Площадь казенных болот, дававшая до производства осушения 1640 руб. дохода, после осушительных работ дала в 1892 г. 62916 руб., не считая наделов, отрезанных из этой же земли многочисленной лесной страже».

Однако проводимые мелиоративные работы на Брестчине того периода все же носили частный, скорее экстенсивный характер.

Масштабная мелиорация земель Брестчины началась после майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС. Начался новый этап дальнейшей интенсификации, специализации и индустриализации мелиоративного строительства, перехода на комплексное освоение крупных болотных массивов. В Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 16 июня 1968 г., № 465 было записано: «Широко развернуть работы по осушению, сельскохозяйственному освоению переувлажненных земель в Полесье ... и создать на этих землях крупные районы по производству зерна, мяса, молока и других сельхозпродуктов».

Планирование, проектирование и строительство мелиоративно-водохозяйственных объектов осуществлялось на основе схем комплексного использования и охраны природных ресурсов, передового отечественного и зарубежного опыта, научных рекомендаций. Большое влияние было уделено созданию осушительно-увлажнительных, водооборотных мелиоративных систем, закрытому материально-

му дренажу, польдерному способу осушения пойменных территорий с учетом защиты от паводков населенных пунктов, строительству эксплуатационных дорог, а также созданию совхозов на мелиорированных землях, комплексному использованию водных ресурсов, мерам по предотвращению и возможному снижению негативного влияния на окружающую среду.

В это время положено начало перспективному в полесской зоне способу создания органоминеральных почв путем глубокой вспашки мелкозалежных торфяников на площади около 800 га по рекомендациям БелНИИМиВХ¹, а также добыче озерных сапропелей на удобрение. Разработаны конструкции, метод расчета и рекомендации по применению вертикального дренажа для создания осушительно-увлажнительных систем двухстороннего действия. Впервые эта идея реализована в 1972-1975 гг. на землях Полесской опытно-мелиоративной станции на площади 400 га, попозже на территории Осиповского болотного массива, расположенного в Малоритском районе Брестской области, на площади 312 га построена осушительно-оросительная система на базе вертикального дренажа.

По данным инвентаризации (1999 г.) в республике насчитывалось 2927,9 тыс. га осушенных земель, в том числе закрытым дренажем – 2177,5 тыс. га, что составляет около 31 % всех сельскохозяйственных земель. Орошаемые земли занимали площадь 115,1 тыс. га. Большая часть осушенных земель (62,6 %) сконцентрирована в Брестской, Гомельской и Минской областях [1].

Почти четвертая часть всех осушенных земель в Беларуси, приходится на Брестскую область, из которых около 38 % осушительно-увлажнительных, с механическим водоподъемом более 30 %, с гарантированным регулированием и предупредительным шлюзованием около 19 % площади всех осушительно-увлажнительных систем. Так, на одно хозяйство Брестской области в среднем приходится более полутора тысяч гектаров осушенных земель.

С 1950 по 1994 годы в Брестской области построено 44 водохранилища сезонного регулирования стока, из которых 35 наливного типа. Наибольшее количество (20 штук) введено в эксплуатацию в период с 1980 по 1989 годы, это период наличия гарантированных источников финансирования в области мелиоративного строительства, научного сопровождения работ и государственного контроля выполнения планов (рисунок 1).

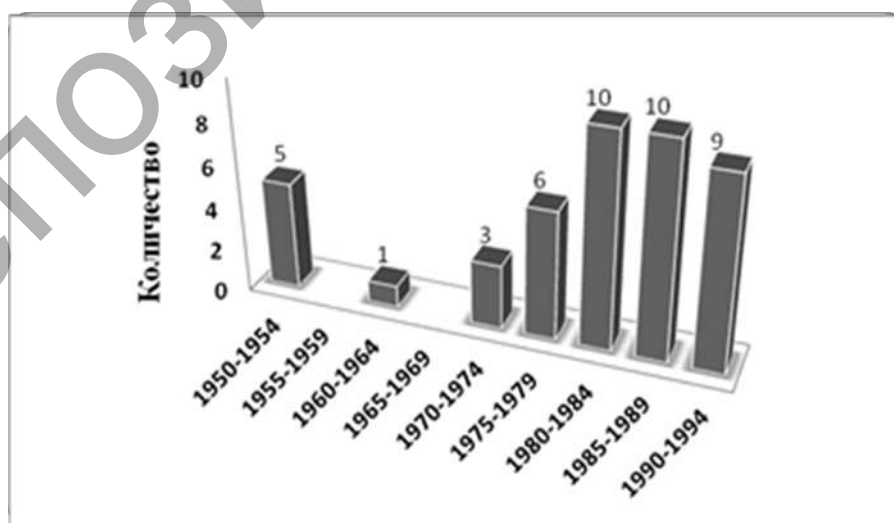


Рисунок 1 -Динамика строительство водохранилищ по Брестской области

¹ БелНИИМиВХ – Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства.

Среди построенных в этот период водохранилищ к крупнейшим относятся Береза 1 – водохранилище озерного типа, расположенное в Березовском районе, вблизи д. Лисиничи, и Велута – наливного типа, расположенное в Лунинецком районе вблизи д.д. Липск (таблица 1). Указанные водохранилища используются не только для обводнения территории, организации любительского рыболовства, но и для размещения учреждений длительного отдыха.

Таблица 1 -Морфометрические характеристики водохранилищ

Название	Длина, км	Ширина, км		Площадь зеркала, га	Объемы, млн.м ³	
		максимальная	средняя		полный	полезный
Береза 1	6,4	3,6	2,9	18,7	33,3	14,5
Велута	3,4	3,41	3,0	7,6	31,0	23,78
Селец	11,3	5,4	2,7	20,7	56,3	41,5
Погост	6,1	5,4	3,4	16,46	54,48	44,79

Особого внимания, среди водохранилищ Брестской области, заслуживают водохранилища Селец, ввод в эксплуатацию 1985 г. и Погост – 1976г.

Водоохранилище Селец расположено в 7 км на запад от г. Березы, вблизи д. Селец, в пойме р. Ясельды. Предназначено для водообеспечения рыбхоза «Селец», водного благоустройства ближайших населенных пунктов и увлажнения сельскохозяйственных земель.

Водоохранилище Погост расположено в 22 км в северо-восточном направлении от г. Пинска, рядом с д. Погост-Загородский. Наполняется из р. Бобрик по каналу длиной 8,5 км с помощью шлюзов-регуляторов. Значительная часть водохранилища является зоной отдыха «Бобрик», местом летней и зимней рыбалок.

Кроме строительства водохранилищ, повышения продуктивности сельскохозяйственных земель путем мелиоративное обустройство этих территорий выполнило целый ряд социальных программ. На крупных мелиоративных массивах созданы десятки хозяйств. Центральные их усадьбы представляют собой поселки городского типа с развитой инфраструктурой: культурно-бытовые учреждения, школы, детские сады и ясли, больницы, торговые центры.

По данным инвентаризации в Брестской области 755,1 тыс. га осушенных земель и 4,4 тыс. га орошаемых, что составляет соответственно 56,3 % и 0,4 % всех сельскохозяйственных земель. Наибольшие их площади сконцентрированы в районах Полесья, где мелиорировано 1,6 млн га или 26,2 % территории. Наблюдается тенденция снижения доли орошаемых земель в общей площади мелиорированных. Они по существу определяют развитие аграрного сектора большинства районов. На восстановленных землях хозяйства получают около половины продукции растениеводства и две трети травяных кормов.

Учитывая роль мелиорированных земель в аграрном секторе экономики Беларуси, на которых в настоящее время производится более трети продукции растениеводства, Постановлением Совета Министров от 31 августа 2010 года № 1262 утверждена Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011-2015 годы [2].

Программа предусматривала проведение комплекса агро мелиоративных мероприятий и введение в сельскохозяйственное использование высокоплодородных земель (рисунок 2), а также реконструкцию и восстановление осушительных и осушительно-увлажнительных и оросительных систем (рисунок 3), с целью повышения их эффективности.

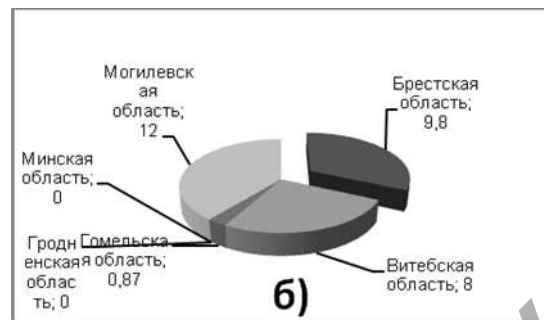
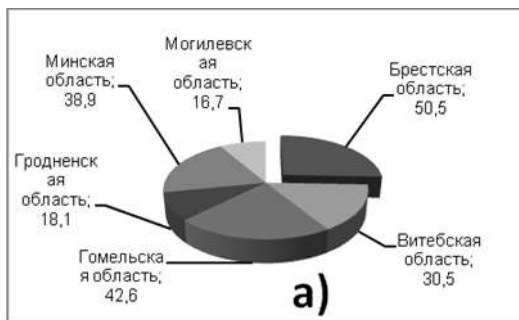


Рисунок 2 - Распределение объемов мелиоративных работ по областям (тыс. га): а) агро-мелиоративные мероприятия; б) введение высокоплодородных земель

Финансирование мелиоративных мероприятий планировалось осуществлять в установленном порядке за счет средств, предусмотренных законодательством на финансирование мелиорации земель. В качестве источников финансирования мелиоративных мероприятий госпрограммы предусматриваются средства республиканского и областных бюджетов, кредитные ресурсы, а также средства пользователей мелиоративных систем.

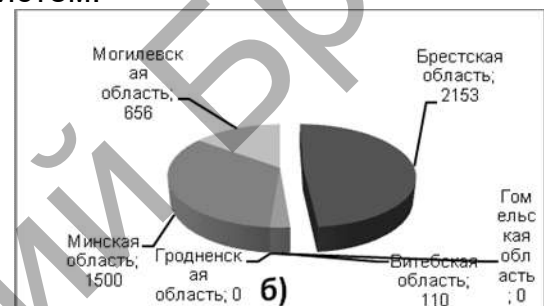


Рисунок 3 - Распределение объемов работ по реконструкции мелиоративных систем по областям (тыс. га): а) осушительно-увлажнительные; б) оросительные

Программа предусматривала также реконструкцию и восстановление сооружений мелиоративных и водохозяйственных систем Брестской области, включая мосты – 26 штук; шлюзы-регуляторы – 28 штук; водохранилища и пруды площадью водного зеркала – 380 га и водоприемники – 490 км.

За время действия Государственной программы сохранения и использования мелиорированных земель на 2011-2015 годы в Брестской области введено в эксплуатацию около 57 тыс. га мелиорированных земель, которые реконструированы и заново осушены.

Заключение

С мелиорированных земель Брестской области за счет роста бонитета в среднем торфяных почв на 45-50 баллов и минеральных – 25-50 баллов получают 40-45% продукции растениеводства, в том числе 60-70% кормов. Ликвидация мелкоконтурности с увеличением обрабатываемых участков до 20-60 га обеспечила высокую эффективность от вносимых удобрений, и как результат – получение программированных урожаев. От процесса деградации защищены целые населенные пункты, расположенные среди болотных массивов, заметно укрепилась экономика хозяйств.

Список литературы

1. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2014 года) / Комитет по земельным ресурсам, геодезия и картография. – М.: 2014. – 57 с.
2. Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011-2015 годы (утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 31 августа 2010 года № 1262.) – М., 2010.

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА ВОДЫ РЕК БЕЛАРУСИ

Волчек А.А., Натарова О.Н.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, A_Volchek@Rambler.ru

The article describes the physical and geographical factors involved, along with climatic and anthropogenic, in the formation of the hydrological regime of rivers in Belarus. It provides an assessment of their impact on intra uneven distribution of river runoff.

Введение

Беларусь богата многочисленными водными ресурсами, основным источником которых являются реки. Реки концентрируют вокруг себя население и промышленность и активно эксплуатируются.

Важнейшей водохозяйственной и гидрологической характеристикой рек является внутригодовое распределение стока (ВРС), изменяющиеся в результате взаимодействия комплекса взаимосвязанных физико-географических, гидрогеологических, гидрологических, климатических и антропогенных факторов [2,3].

В настоящее время наблюдается колебание климата, выражающееся, прежде всего, в росте температур воздуха и изменении количества атмосферных осадков, что привело к уменьшению стока воды в период весеннего половодья и его увеличения в периоды летне-осенней и зимней межени. Количественным изменениям, произошедшим в ВРС, способствовали также и антропогенные факторы, заключающиеся в осуществлении хозяйственной деятельности в руслах рек и на их водосборах [5].

Целью данных исследований является оценка влияния физико-географических факторов, в частности, широтная зональность и высота водосбора, на ВРС воды рек.

Исходные данные и методика исследований

Влияние широтной зональности на ВРС оценено по 51 гидрометрическому створу, принадлежащих к шести гидрологическим районам. Исходными данными для указанных створов являются среднемесячные расходы воды за период с 1949 по 2010 гг., опубликованные Республиканским гидрометеорологическим центром Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды. Непосредственно они положены в основу определения параметров, отражающих неравномерность внутригодового распределения речного стока воды. В качестве таких параметров приняты: α и β . Параметр α указывает на распределение речного стока воды внутри теплого сезона; параметр β – соотношение между величинами стока воды теплого и холодного сезонов года [1].

В теплом сезоне выделен период половодья с преимущественным питанием рек талыми водами. Данный период на территории Беларуси приходится на март-май месяцы [3]. В связи с этим, параметр α найден из соотношения:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=III}^{i=V} Q_i}{\sum_{i=VI}^{i=VIII} Q_i}, \quad (1)$$

где Q_i - среднемесячные расходы воды, м³/с.

Параметр β указывает на преобладание смешанного вида стока воды над стоком, обусловленным подземным питанием:

$$\beta = \frac{\sum_{i=III}^{i=VIII} Q_i}{\sum_{i=II}^{i=IX} Q_i}. \quad (2)$$

Параметры α и β определены для каждого года в отдельности по каждому створу, а их изменчивость оценена посредством рассчитанных коэффициентов вариации ($C_{v\alpha}$, $C_{v\beta}$) [4]. В дальнейшем значения параметров осреднены за принятый период ($\alpha_{ср.}$, $\beta_{ср.}$).

По полученным осредненным значениям параметров построены следующие графики: $\alpha_{ср.}=f(H)$, $\beta_{ср.}=f(H)$, $\alpha_{ср.}=f(\varphi)$, $\beta_{ср.}=f(\varphi)$, где: H – средняя высота водосбора, м; φ – широта водосбора, км. Графики зависимости $\alpha_{ср.}=f(\varphi)$, $\beta_{ср.}=f(\varphi)$ построены относительно г. Минска ($\varphi=0$ км).

Результаты исследований и их анализ

Полученные по представленной методике значения параметра $\alpha_{ср.}$ для территории республики не превышают 10 при перепаде высот от 132 до 285 м, а построенный график зависимости $\alpha_{ср.} = f(H)$ указывает на уменьшение данных значений с ростом высот водосборов рек (зона 3) - рисунок 1. Выделение на графике двух зон (1 и 2), позволяет более четко проследить данную тенденцию. Первая зона характеризуется размахом значений параметра $\alpha_{ср.}$ от 3,5 до 7,3, полученных для водосборов рек Верхне-Днепровского, Припятского гидрологических районов и рек Западная Двина, Сож, Днепр. Меньшие значения параметра $\alpha_{ср.}$ (1,9 – 3,5) зафиксированы на водосборах рек Вилейского, Неманского, Центрально-Березинского гидрологических районов, а также на реках Березина, Припять и отнесены ко второй зоне. Принадлежности водосборов рек Западно-Двинского гидрологического района ни к одной из двух зон не выявлено.

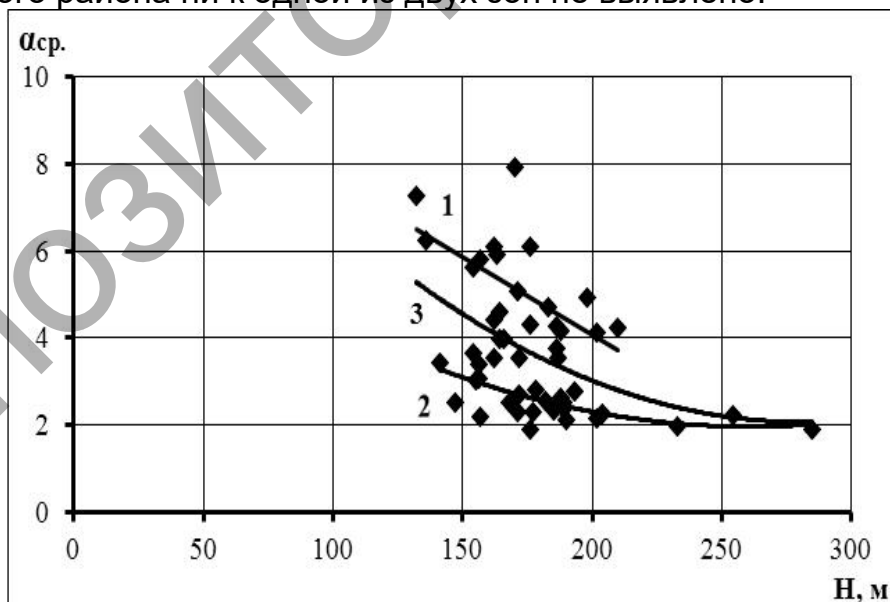


Рисунок 1 – Зависимость параметра $\alpha_{ср.}$ от высоты водосборов рек ($\alpha_{ср.} = f(H)$):
1 – зона значительного изменения параметра $\alpha_{ср.}$; 2 – зона умеренного изменения; 3 – зона изменения по территории республики

Для оценки степени влияния высот водосборов на распределение речного стока воды внутри гидрологических районов построены соответствующие графики зависимостей, детальный анализ которых представлен ниже.

Западно-Двинский гидрологический район представлен водосборами трех рек. Значения параметра $\alpha_{ср.}$ не превышают 8,0 при высотах водосборов от 150 до 170 м. Построенный график зависимости указывает на увеличение значений параметра $\alpha_{ср.}$ с ростом высоты водосборов, что свидетельствует об увеличении речного стока воды.

Верхне-Днепровский гидрологический район представлен четырьмя водосборами рек. Связь значений параметра $\alpha_{ср.}$ с высотами водосборов отражает зависимость, фиксирующую увеличение соответствующего параметра с падением высоты водосборов рек. Данное понижение неравномерно. Исключение составляет р.Остер – с.Ходунь со следующими исходными данными: $\alpha_{ср.} = 4,9$, $H = 198$ м. В целом, для гидрологического района значения параметра $\alpha_{ср.}$ колеблются в пределах от 3,7 до 6,1. Высота водосборов рек – 162 – 198 м. Полученная зависимость обусловлена уменьшением атмосферных осадков за теплый период года с падением высоты водосборов рек.

На графиках зависимостей, построенных для всех остальных гидрологических районов, отмечено увеличение значений параметра $\alpha_{ср.}$ с падением высоты водосборов рек. Наиболее неравномерной связью характеризуются графики зависимостей Вилейского и Неманского гидрологических районов. Так, при $H = 187$ м р.Гавья – с.Лубинята значение параметра $\alpha_{ср.} = 1,7$, а для р.Эсса – с.Гадивля при $H = 182$ м значение параметра $\alpha_{ср.} = 2,5$. В целом, значения параметра $\alpha_{ср.}$, полученные для водосборов рек Вилейского района немного меньше по отношению к таковым Неманского гидрологического района. Они колеблются в пределах от 1,7 до 3,5. Значения параметра $\alpha_{ср.}$ для водосборов рек Неманского гидрологического района – 2,2 – 3,6. Прежде всего это обусловлено местоположением гидрологических районов и температурами воздуха за теплый период года. На территории Неманского гидрологического района они выше.

График зависимости $\alpha_{ср.} = f(H)$, построенный для водосборов рек Центрально-Березинского гидрологического района, указывает на увеличение значений параметра $\alpha_{ср.}$ с падением высоты водосборов. Данный график разбит на два, которые характеризуют подрайоны Va и Vб. Значения параметра $\alpha_{ср.}$, полученные для водосборов рек подрайона Va, находятся в пределах от 2,0 до 5,9 и увеличиваются с падением их высот. Исключение составляет р.Грава – с.Аминовичи: при $H = 163$ м - $\alpha_{ср.} = 5,9$. Вероятно, это связано с антропогенным воздействием на русло реки. Значения параметра $\alpha_{ср.}$, полученные для водосборов рек подрайона Vб, уменьшаются с падением высоты водосборов (4,4 – 2,5), что обусловлено уменьшением количества атмосферных осадков.

Припятский гидрологический район представлен восемью водосборами рек. График зависимости, построенный по их данным, указывает на увеличение значений параметра $\alpha_{ср.}$ с падением высоты водосборов рек. Данное увеличение неравномерно. Так, для р.Лесная – с.Замосты при $H = 162$ м, $\alpha_{ср.} = 3,5$, а для р.Ясельда – с.Сенин при $H = 156$ м, $\alpha_{ср.} = 3,4$. На основании детального анализа установлено: а) для водосборов рек подрайона VIa, характеризующихся относительно малой естественной зарегулированностью стока воды, отмечено колебание значений параметра $\alpha_{ср.}$ в пределах от 3,4 до 7,3. Значения параметра $\alpha_{ср.}$ увеличиваются с падением высоты водосборов рек; б) подрайон VIб представлен только водосбором р.Словечна – с.Кузьмичи. При $H = 171$ м, $\alpha_{ср.} = 5,1$; в) водосборы рек подрайона VIв характеризуются наиболее выравненным стоком воды. Значения параметра $\alpha_{ср.}$ увеличиваются с падением высоты водосборов рек и находятся в пределах от 3,4 до 5,6. Исключение составляет р.Рыта – с.Малые Радваничи - при $H = 141$ м, $\alpha_{ср.} = 3,4$.

Водосборы рек: Западная Двина, Днепр, Березина, Сож, Припять – не отнесены к гидрологическим районам ввиду пересечения нескольких таковых. Связи высоты их водосборов и значений параметра $\alpha_{ср.}$ не выявлено. Отмече-

но колебание значений параметра $\alpha_{ср.}$ с падением высоты водосборов рек то их рост, то их убывание. Так, при одинаковой высоте водосборов двух рек ($H = 188$ м) значения параметра $\alpha_{ср.}$ составляют 4,2 и 2,6. В целом, размах значений параметра $\alpha_{ср.}$ – от 2,3 до 4,7. Наибольшее значение получено для водосбора р.Западная Двина, наименьшее – р.Припять.

Значения коэффициентов вариации (C_{α}) увеличиваются с понижением высоты водосборов рек по территории республики. Так, при $H = 176$ м для р.Жадунька – г.Костюковичи $C_{\alpha} = 0,73$, а для р.Ошмянка – с.Великие Яцыны $C_{\alpha} = 0,29$. Наибольшие значения C_{α} получены для водосборов рек Припятского гидрологического района. Размах их значений в пределах от 0,66 до 1,12. Наименьшие – для водосборов рек Вилейского гидрологического района: $C_{\alpha} = 0,29 – 0,53$. Значения коэффициента вариации C_{α} для водосборов рек Западно-Двинского гидрологического района не учтены, т.к. отмечено их увеличение с ростом высоты. Вероятно, это обусловлено значительной озерностью водосборов рек. Полученные значения C_{α} колеблются в пределах от 0,50 до 0,80.

Относительно широтной зональности увеличение значений C_{α} зафиксировано в направлении с севера на юг и с запада на восток.

Таким образом, параметр $\alpha_{ср.}$, а также его коэффициент вариации C_{α} является параметром, отражающим широтную зональность и высотную поясность.

Влияние широтной зональности на формирование соотношения речного стока воды республики к летне-осеннему стоку представлено на рисунке 2. Построенный график зависимости указывает на увеличение значений $\alpha_{ср.}$ в направлении с севера территории республики на юг (зона 6). Однако, посредством выделения на построенном графике зон выявлена обратная тенденция (зоны 2 – 5). Исключение составляют водосборы рек Западно-Двинского гидрологического района и река Западная Двина (зона 1).

Для водосборов рек Верхне-Днепровского и Припятского гидрологических районов утверждение об увеличении полученных значений параметра $\alpha_{ср.}$ в направлении с юга на север неправомерно, ввиду их принадлежности к нескольким зонам (3 и 4, 4 и 5 соответственно). Графики зависимостей $\alpha_{ср.} = f(\varphi)$, построенные для водосборов рек данных гидрологических районов, свидетельствует об увеличении значений параметра $\alpha_{ср.}$ в направлении с севера на юг в пределах территории района.

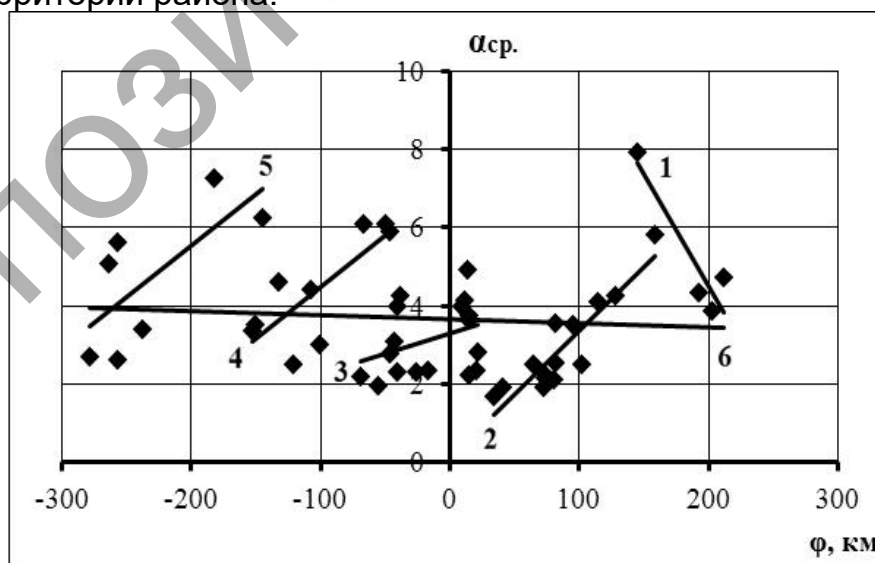


Рисунок 2 – Зависимость параметра $\alpha_{ср.}$ от широты ($\alpha_{ср.} = f(\varphi)$): зоны изменения параметра по территории гидрологических районов: 1 – Западно-Двинского; 2 – Вилейского; 3 – Верхне-Днепровского, Неманского и Центрально-Березинского; 4 – Верхне-Днепровского и Припятского; 5 – Припятского; 6 – по территории республики

Уменьшение значений параметра $\alpha_{ср.}$ в южном направлении, полученных для водосборов рек Вилейского и Центрально-Березинского гидрологических районов (зоны 2 и 3), вероятно, обусловлено размещением в пределах территории Вилейско-Минской водной системы и режимом работы ряда водохранилищ (Любанского, Осиповичского, Чигиринского).

Соотношение речного стока воды за теплый период года к зимнему стоку, представленное параметром $\beta_{ср.}$, устойчиво. Построенные графики зависимости $\beta_{ср.}=f(H)$ как для территории республики в целом (рисунок 3), так и по гидрологическим районам в отдельности, надежно определены и отражают те же связи, что и $\alpha_{ср.}=f(H)$. Для водосборов рек Западно-Двинского гидрологического района установлено увеличение значений параметра $\beta_{ср.}$ с ростом их высот. Вероятно, это обусловлено низкой долей сезонного стока воды в зимний период. Размах значений параметра $\beta_{ср.}$ в пределах от 2,1 до 3,7.

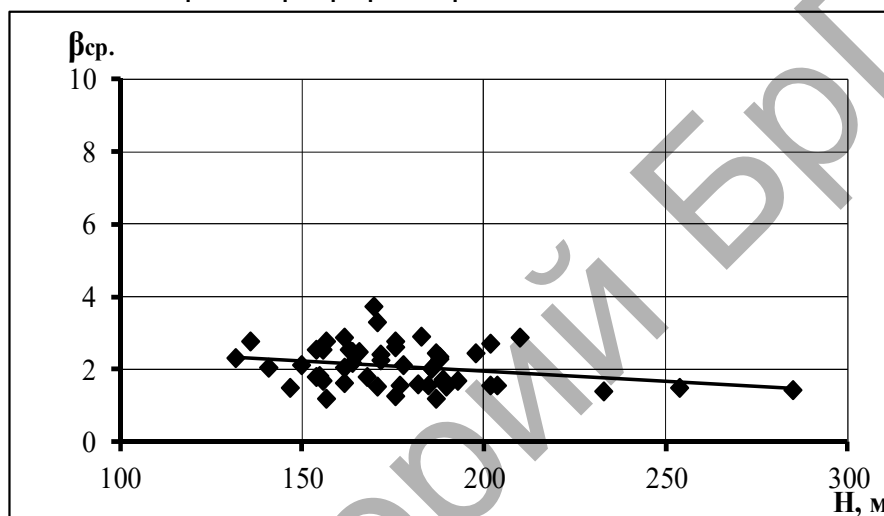


Рисунок 3 – Зависимость параметра $\beta_{ср.}$ от высоты водосборов ($\beta_{ср.} = f(H)$)

Посредством графиков зависимостей, построенных для водосборов рек Верхне-Днепровского, Вилейского, Неманского и Центрально-Березинского гидрологических районов, выявлено увеличение значений параметра $\beta_{ср.}$ с падением высоты. Наибольшие значения параметра $\beta_{ср.}$ отмечены на водосборах рек Верхне-Днепровского гидрологического района (2,0–2,8). Для сравнения приведены пределы изменения параметра $\beta_{ср.}$: Вилейский – 1,2–2,4; Неманский – 1,2–1,8; Центрально-Березинский гидрологический район – 1,4–2,2.

Увеличение значений параметра $\beta_{ср.}$ с падением высоты выявлено и на водосборах рек подрайонов VIa и VIв Припятского гидрологического района. Однако данная зависимость слаба, а колебание значений параметра $\beta_{ср.}$ в пределах от 1,6 до 2,8. Исключение составляет значение параметра $\beta_{ср.} = 3,3$, полученное для водосбора реки Словечна.

Для водосборов больших рек, пересекающих несколько гидрологических районов, установлено увеличение значений параметра $\beta_{ср.}$ с ростом их высоты. Размах значений параметра $\beta_{ср.}$ от 1,6 до 2,9 с наибольшими на гидрометрических створах водосбора реки Западная Двина (2,8 - 2,9) и наименьшим на гидрометрическом створе водосбора реки Березина у г. Бобруйска - $\beta_{ср.} = 1,6$ (H=189 м). Значения параметра $\beta_{ср.}$, полученные для гидрометрических створов водосбора реки Днепр, увеличиваются с падением высоты и колеблются от 2,1 до 2,8. Так, для: р.Днепр – г.Могилев при H=202 м, $\beta_{ср.}=2,7$; р.Днепр – г.Жлобин при H=187 м, $\beta_{ср.}=2,4$. Для водосбора реки Припять размах значений параметра $\beta_{ср.}$ от 2,2 до 2,3; реки Сож - $\beta_{ср.}=2,3$ –2,5.

Коэффициенты вариации ($Cv\beta$) указывают на увеличение их значений с падением высоты водосборов рек по территории республики. А коэффициенты вариации ($Cv\alpha$) отражают тенденцию увеличения их значений с севера территории республики на юг и с запада на восток. Наибольшие значения $Cv\beta$ получены для водосборов рек Припятского гидрологического района ($Cv\beta=0,60-1,40$), наименьшие – Вилейского ($Cv\beta=0,22-0,96$). Исключение составляют значения $Cv\beta$ для водосборов рек Западно-Двинского гидрологического района.

На графике зависимости $\beta_{ср.}=f(\varphi)$, построенного для территории республики, наметить какую-либо тенденцию, не представляется возможным (зона 4) - рисунок 4. Посредством выделения на графике трех зон выявлены зависимости: первая и третья характеризуются увеличением значений параметра $\beta_{ср.}$ в направлении с юга на север на водосборах рек Вилейского, Неманского, Центрально-Березинского гидрологических районов и рек Западная Двина, Днепр, Сож, Пипять, Березина. Об уместности зависимости на водосборах рек Западно-Двинского гидрологического района говорить нельзя, несмотря на их принадлежность к выделенной зоне (зона 1). График зависимости, построенный для водосборов рек данного района, указывает на увеличение значений параметра $\beta_{ср.}$ в южном направлении; вторая характеризуется увеличением значений параметра $\beta_{ср.}$ в обратном направлении. Данная тенденция уместна для водосборов рек Верхне-Днепровского и Припятского гидрологических районов.

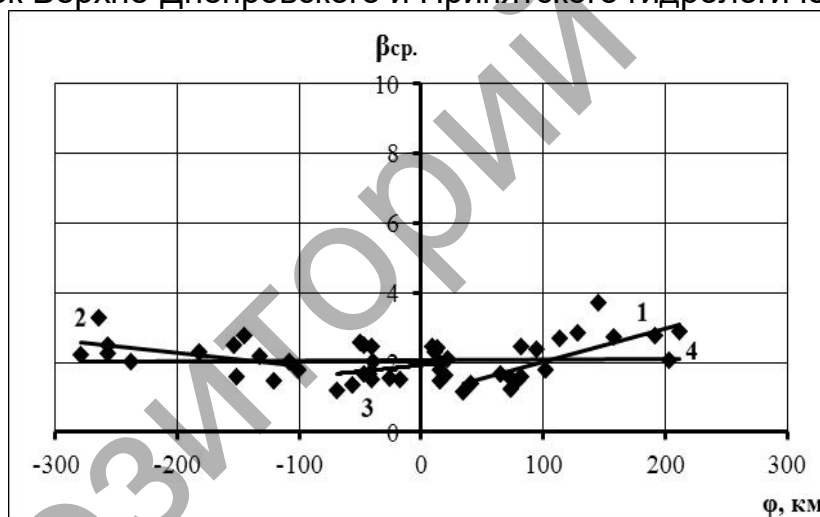


Рисунок 4 – Зависимость параметра $\beta_{ср.}$ от широты ($\beta_{ср.}=f(\varphi)$): зоны изменения параметра по территории гидрологических районов: 1 – Западно-Двинского и Вилейского; 2 – Верхне-Днепровского и Припятского; 3 – Неманского и Центрально-Березинского; 4 – по территории республики

Заключение

Исследованиями установлено, что трансформация внутригодового распределения стока воды рек Беларуси обусловлена высотной и широтной зональностью их водосборов. Это повлияло на распределение речного стока воды внутри теплого сезона, т.е. его увеличение в направлении с севера территории республики на юг и с запада на восток. Аналогичная картина наблюдается в отношении водного питания рек, выражающегося в преобладании доли смешанного вида стока воды над долей подземного. Исключение составляют водосборы рек Вилейского и Центрально-Березинского гидрологических районов, для которых отмечена обратная тенденция изменения, вызванная антропогенными факторами.

Исследования высот показало уменьшение доли подземного стока воды, а также уменьшение стока внутри теплого сезона с ростом высоты водосборов. Исключение составляют водосборы рек Западно-Двинского гидрологического района. На них произошло увеличение стока воды, вызванной ростом доли подземного.

Список литературы

1. Быков, В.Д. Географические особенности внутригодового распределения стока рек Урала / В.Д. Быков. – М.: МГУ, 1963. – 143 с.
2. Волчек, А.А. Оценка антропогенного воздействия на водные ресурсы рек Белорусского Полесья / А.А. Волчек, В.В. Лукша / Природнае асяроддзе Палесся: сучасны стан і яго змены: тез. докл. междунар. научн. конф. – Брест, 2002. – С. 228-230.
3. Волчек, А.А. Современное состояние и концептуальные предположения по изучению, использованию и охране водных ресурсов Белорусского Полесья / А.А. Волчек, Ю.А. Калинин / Брэсцкі геаграфічны весн. – 2001. – Т. 1., вып. 1. – С. 42-46.
4. Горшков, И.Ф. Гидрологические расчеты / И.Ф. Горшков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 256 с.
5. Шикломанов, И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток / И.А. Шикломанов. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 330 с.

УДК 02.51=00(051)"3"(282)

КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ Р. ПРИПЯТЬ)

Волчек А.А., Шешко Н.Н., Костюк Д.А., Петров Д.О.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, volchak@tut.by

The article presents the results of research forms the spring flood hydrograph for training artificial neural networks. Approach allows us to classify forms hydrograph based on the probability of occurrence of the design flow. Approaches tested on observations of the Pripyat river runoff. The results indicate the applicability of the developed approaches.

Введение

В соответствии с оценкой паводковой обстановки, опубликованной в Республиканской программе [0], в пределах такого водного объекта, как р. Припять, в период весеннего половодья данная территория и населенные пункты в её пределах практически ежегодно подвергаются затоплению, в результате чего имеется значительный народно-хозяйственный ущерб.

Если рассматривать период существования данной территории, при котором наблюдалась незначительная техногенная интеграция в бытовую и производственную сферу, опасные метеорологические и гидрологические явления не причиняли значительного материального и социального ущерба. Это заключалось в использовании устройств труда и домашнего быта, не имеющих энергозависимых механизмов. Подобная же ситуация наблюдалась и в сфере аграрного производства: отсутствие значительной механизации позволяло менее болезненно переносить такого рода природные явления.

В настоящее время широкое применение нашли методы искусственных нейронных сетей для прогноза физически сложно описываемых природных процессов. Для обучения искусственных нейронных сетей необходима предварительная

классификация гидрографов весеннего половодья по их объему, форме, времени начала и продолжительности. В качестве показателя воздействия весенних половодий на природно-антропогенные геосистемы часто используется индекс половодья [0], учитывающий долю затопляемой поймы реки, продолжительность и объем половодья. Кроме этого, в последние годы используется индекс воздействия половодья [0], включающий следующие показатели: индекс затопления поймы, дата и продолжительность затопления, площадь, температура и загрязнение воды. При этом затопление поймы классифицируется по обеспеченности максимальных уровней воды или расходов, однако данный подход учитывает только вероятность возникновения пиковых расходов/уровней воды. В свою очередь экологическая, экономическая и социальная опасность весеннего половодья зачастую связана с продолжительностью его прохождения. Таким образом, в качестве параметра для классификации может использоваться объем стока или средний расход за период весеннего половодья.

Объекты и методы

В качестве материалов для выполнения анализа рассматриваются данные многолетних наблюдений за стоком р. Припять (пост г. Мозырь), которые представляют собой среднесуточные расходы за период с 01.01.1986 по 31.12.2005. Использование среднесуточных данных позволят более точно оценить объем стока весеннего половодья, а также вероятность его проявления. Как было указано ранее, в качестве параметра для классификации гидрографов будем рассматривать обеспеченность года по объему стока.

В качестве функции плотности распределения случайной величины объема стока реки может быть использовано трехпараметрическое гамма распределение Крицкого-Менкеля [0; 0]

$$f(Q) = \left(\frac{\Gamma(\gamma + b)}{\Gamma(\gamma)} \right)^{\frac{\gamma}{b}} \frac{1}{Q \cdot b \cdot \Gamma(\gamma)} \left(\frac{Q}{\bar{Q}} \right)^{\frac{\gamma}{b} - 1} e^{-\left(\frac{\Gamma(\gamma + b) Q}{\Gamma(\gamma) \bar{Q}} \right)^{\frac{1}{b}}}$$

Данная функция достаточно эффективно учитывает особенности распределения вероятностей расходов равнинных рек. Для оценки параметров функции применяется метод наибольшего правдоподобия [0],

Для оценки эффективности выполненной классификации, применяется графический анализ гидрографов стока. Это позволит проанализировать полученную математическими методами классификацию с точки зрения соответствия задачам нейронно-сетевого прогноза. Оценка соответствия теоретической функции распределения случайной величины производилась на основе графоаналитического анализа эмпирической функции плотности распределения (гистограмма частот) и теоретической кривой функции, а также с привлечением критерия χ^2 .

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования возможности комплексного учета двух и более массивов данных для повышения точности расчета картины снеготаяния была применена искусственная нейронная сеть. Сеть обрабатывает значения водного эквивалента снежного покрова, полученные с помощью орбитального микроволнового сканирования поверхности Земли, и результаты снегомерных съемок. В качестве нейронной сети использовался многослойный персептрон с одним скрытым слоем. Количество нейронных элементов в скрытом слое подбиралось экспериментально по наилучшим результатам прогнозирования: так,

при 20 входных нейронов, 12 нейронов в скрытом слое. На вход нейронной сети подаются две матрицы: результаты спутникового зондирования и аналогичная по размерности матрица, содержащая интерполированные значения снегомерных съемок. На выходе нейронной сети использовалось 10 нейронов, так как необходимо было получить третью матрицу аналогичной размерности, уточняющую данные по снегомерам с помощью спутниковых данных и таким образом повышенную точность интерполяции.

Обучение нейронной сети производилось по методу обратного распространения ошибки. В ходе обучения выполнялась настройка весовых коэффициентов нейронной сети до тех пор, пока на обучающей выборке ошибка прогнозирования не становилась меньше 0,01. В тестовой обучающей выборке использовались две матрицы размерности 29 на 39 элементов. Тестовые входные выборки насчитывали соответственно 96 матриц с ежедневными измерениями конца осени и зимы за 1979 и 1980 годы. По результатам оценочных экспериментов видно, что обученная нейронная сеть требует объем обучающей выборки не менее 200 значений (по 100 из каждого прогнозируемого ряда). Также результаты показывают способность нейронной сети получить свертку двух рядов данных. Использование в качестве входных данных сразу двух матриц увеличивает точность показателей, т. е. такой результат показывает, что данные описывают общую природную систему и что нейронная система способна выявить взаимосвязь этих данных.

Таким образом, можно признать обоснованным использование в рамках многофакторного анализа данных спутниковой съемки как в оптическом, так и в микроволновом диапазоне нейросетевого подхода для уточнения учета накопленных снегозапасов, данные о которых не собираются автоматическими гидрометеостанциями, но важны для составления прогноза весеннего половодья.

Значения коэффициента стаивания снега, полученные на основе обученной нейронной сети, подаются на вход классификатора, формирующего классы гидрографов не по принципу подобия, а на основе накопленных снегозапасов и формы гидрографа весеннего половодья. Каждому классу соответствует однотипный блок нейросетевого прогноза, обученный соответствующими измерениями на гидропосту.

Для обоснования выбора формы гидрографа в качестве показателя классификации рассматривался среднегодовой расход реки за весь период наблюдений.

Параметры функции распределения определялись численным методом с допустимой кумулятивной ошибкой

$$\Delta = 10^{-a} + |x| \cdot 10^{-p},$$

где a и p – заданные параметры сходимости численного решения уравнения; x – оцениваемый параметр.

Для задач исследования приняты были значения параметров a и p соответственно 3 и 2. Итого это означает 4 значащие цифры. Предельное число итераций при численном решении системы уравнений принято равным 500.

Для сравнения точности описания теоретическими кривыми эмпирические данные на рисунке 1 приведены три характерные графика функций плотности распределения: нормальный закон распределения случайной величины, логнормальный закон, трехпараметрическое гамма распределение Крицкого-Менкеля.

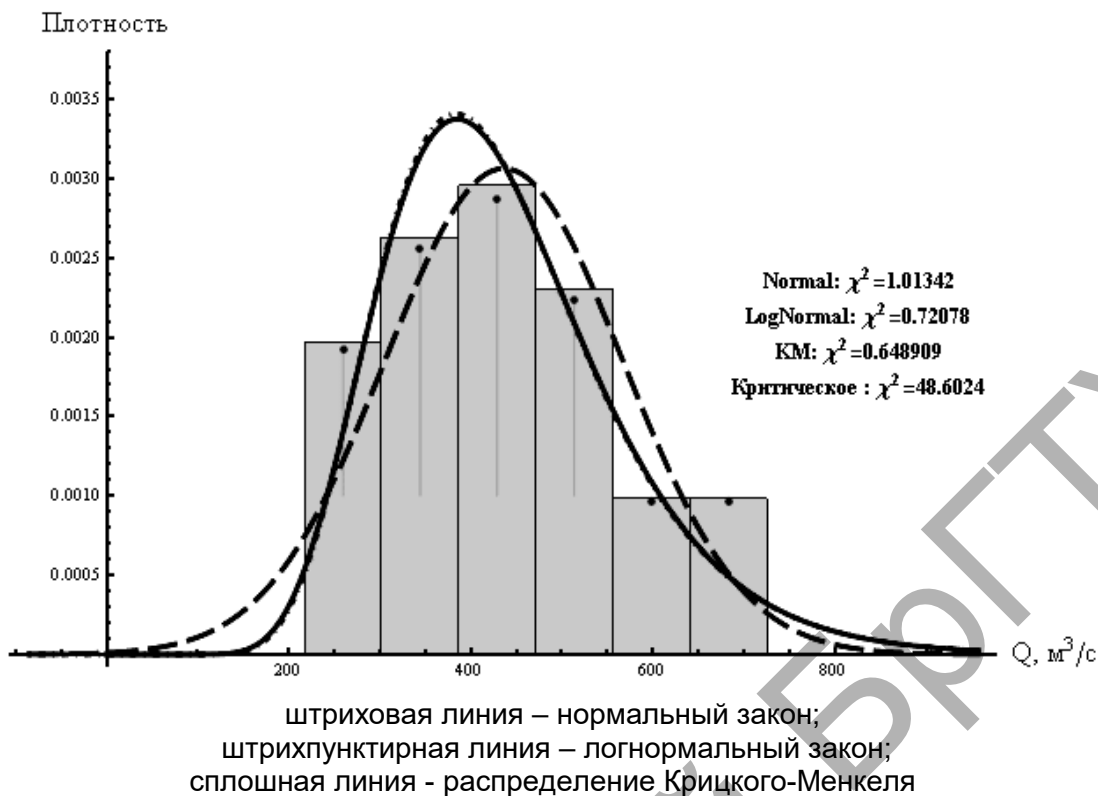


Рисунок 1 – График теоретических функций плотности распределения и эмпирические значения средне годовых расходов р. Припять – г. Мозырь

Как видно из рисунка 1, все рассматриваемые функции достаточно точно описывают эмпирические точки средне годовых расходов. Соотношение вычисленных значений критерия χ^2 , для каждой из функций, значительно меньше критического значения на уровне значимости 95 %, равного 48,6. В этом случае нулевая гипотеза не отвергается для рассматриваемых распределений. Для дальнейшего анализа будем использовать трехпараметрическое гамма.

По известным параметрам функции плотности распределение Крицкого-Менкеля вычисляем обеспеченность (водность) отдельных лет наблюдений

$$P = \int_{\bar{Q}}^{\infty} \left(\frac{\Gamma(\gamma + b)}{\Gamma(\gamma)} \right)^{\frac{\gamma}{b}} \frac{1}{\bar{Q} \cdot b \cdot \Gamma(\gamma)} \left(\frac{q}{\bar{Q}} \right)^{\frac{\gamma}{b} - 1} e^{-\left(\frac{\Gamma(\gamma + b) q}{\Gamma(\gamma) \bar{Q}} \right)^{\frac{1}{b}}} dq.$$

Гидрограф стока за календарный год с обеспеченностью менее 10% представлен на рисунке 2. Из рисунка 2 видно, что обеспеченность года в целом достаточно хорошо описывает значительные весенние половодья. Однако высокая водность года не всегда характеризуется большими расходами за весенний период. В этом случае на основе данной классификации был выделен 1998 год с высокими внутрисезонными расходами, но низким расходом в половодье, а половодье в 1970 году не было выделено. Исходя из этого, делаем вывод, что рассматриваемый период не может использоваться для классификации водности весеннего половодья.

Значительным фактором, определяющим объём весеннего половодья, является зимний сток. Объём сработанной влаги за зимний период во время оттепелей значительно снижает максимальные расходы весеннего половодья и влияет на форму гидрографа стока.

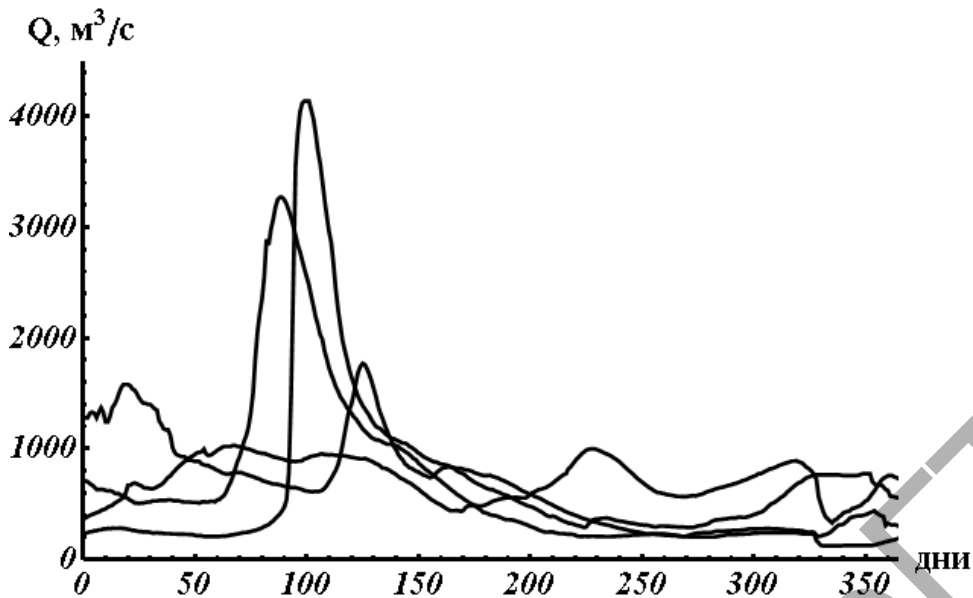


Рисунок 2 – Гидрографы стока р. Припять – г. Мозырь с обеспеченностью менее 10 %

Наиболее эффективным в качестве показателя классификации является средний расход за период апрель–май. Используя аналогичные подходы, определены параметры функции плотности распределения (рисунок 3). Как и в предыдущем случае, логнормальный закон распределения показал несколько лучший результат по сравнению с распределением Крицкого-Менкеля, но при этом для всех распределений критерий попал в критическую область.

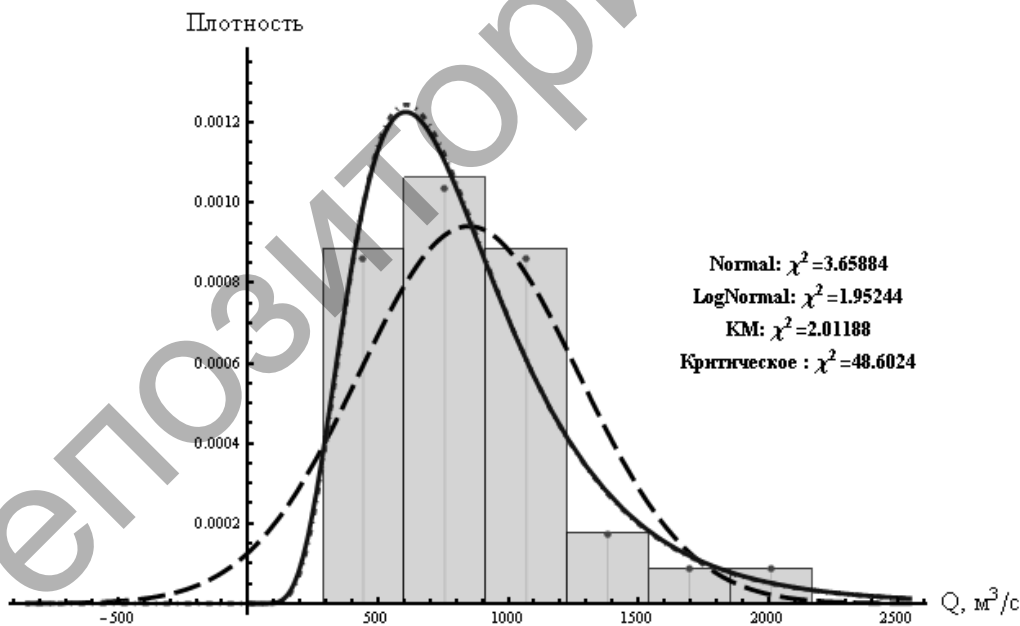
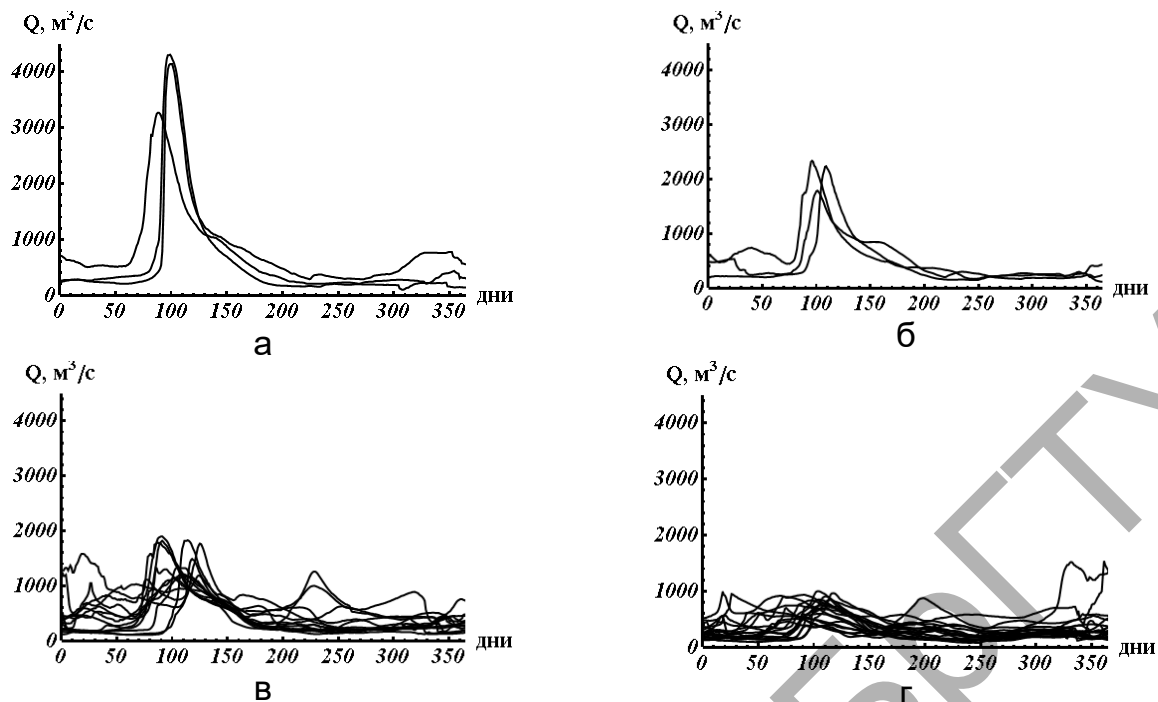


Рисунок 3 – График теоретических функций плотности распределения и эмпирические значения средние расходов р. Припять – г. Мозырь за период апрель–май

Классификация гидрографов весеннего половодья с применением интервала апрель–май показала эффективность на всех уровнях обеспеченности стока. Для обеспеченности менее 10 % выделено три года – 1970, 1979, 1999. При диапазоне обеспеченностей 10–20 % – 1976, 2004 гг; при водности 20–50 % – 1968, 1969, 1975, 1977, 1978, 1981–1983, 1993, 1994, 1996, 1998, 2003; при водности более 50 % оставшиеся года (рисунок 4).



а – обеспеченности менее 10 %; б – обеспеченности 10–20 %;
в – обеспеченности 20–50 %; г – обеспеченности 20–50 %

Рисунок 4 – Гидрографы стока р. Припять – г. Мозырь

Применение результатов для нейросетевого прогноза

Полученные результаты классификации были применены в архитектуре программной системы, использующей нейросетевой алгоритм для прогнозирования половодий [3]. Нейронная сеть, входящая в состав программной системы, выполняет прогнозирование временного ряда, в качестве значений которого используются результаты измерений уровня воды и, опционально, скорости течения в контрольных точках (обучающая выборка сети). Таким образом, сеть выполняет прогноз изменения уровня воды на конкретном гидропосту. В качестве типа нейронной сети использован многослойный персептрон с 12 входными нейронами, 6 нейронами в скрытом слое и одним в выходном.

Сформированные классы исторических гидрографов

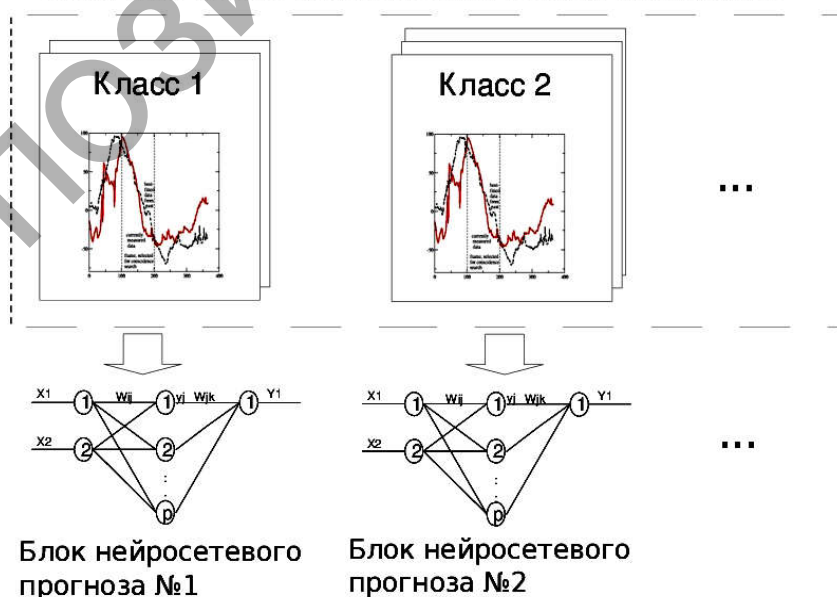


Рисунок 5 – Архитектура нейросетевой системы прогнозирования

В качестве метода достижения уточненного прогноза, особенно эффективного для наиболее катастрофических в случае Республики Беларусь весенних половодий, нами использован предварительный отбор гидрографов на основе полученной классификации.

Результирующая программная архитектура показана на рисунке 5, а результат работы классификатора приведен на рисунке 6.

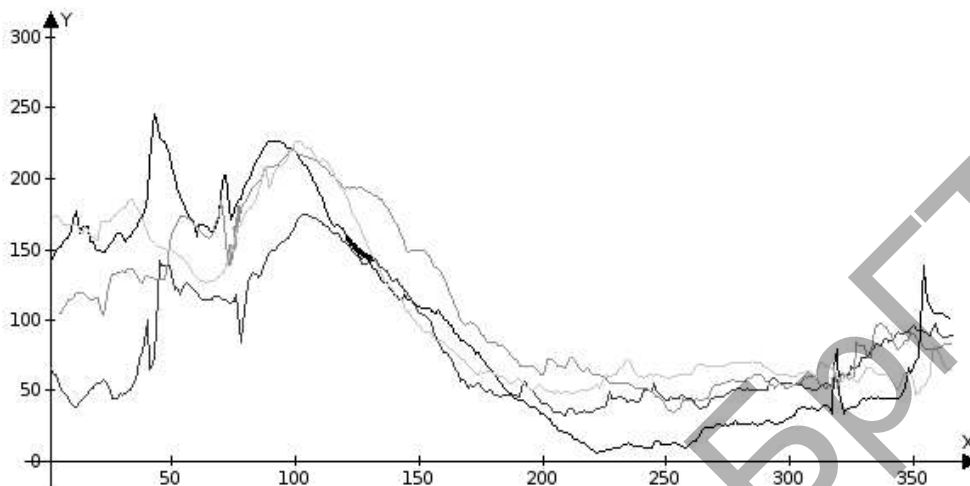


Рисунок 6 – Обучающие гидрографы для блока нейросетевого прогноза

Заключение

Предложен подход классификации гидрографов весеннего половодья в зависимости от обеспеченности среднесезонного расхода за период апрель–май. Изложенный подход был апробирован на данных наблюдения за расходом р. Припять – г. Мозырь, при этом выделены четыре группы гидрографов, связанных с водностью года. Характеристики классов по водности проверены графически, исходя из формы гидрографа за соответствующий год.

На основе полученной классификации и данных наблюдений за количеством снегозапасов на территории водосбора сформированы обучающие выборки для искусственной нейронной сети, выполняющей прогнозирование уровня воды на гидропосту.

Предложенная классификация гидрографов также может использоваться для иных инженерных расчетов, при необходимости – для предпроектных и проектных исследований на особо важных объектах.

Список литературы

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 06.09.2010 № 1280 (ред. от 13.01.2012) «Об утверждении Республиканской программы "Инженерные водохозяйственные мероприятия по защите населенных мест и сельскохозяйственных земель от паводков в наиболее паводкоопасных районах Полесья на 2011-2015 годы"».

2. Волчек А.А., Костюк Д.А., Петров Д.О. Расчет затопления территорий для системы мониторинга и прогнозирования паводка // Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века: материалы 11-й междунар. науч. конф., 19–20 мая 2011 г., г. Минск, Республика Беларусь / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров. – Минск : МГЭУим. А. Д. Сахарова, 2011.- С. 318.

3. Volchek A., Kozak A., Kostjuk D., Petrov D. Electronicsystemoffloodmonitoringandvisualization // Hydrology: fromresearch to water management. XXVI Nordic hydrological conference. Riga, Latvia, August 9-11, 2010. – Riga: University of Latvia Press, 2010. – P. 66-68.

4. Мусатов, А.П. Экологические основы создания оптимального водного режима в дельте Волги и Северном Каспии / А. П. Мусатов, Г. Ф. Красножон, Е. А. Федосеев // Водные ресурсы. – 1981. – № 4. С 21–37.

5. Болотнов, В.П. Комплексный показатель воздействия весенних половодий на экосистемы речных пойм // В. П. Болотнов / География и природные ресурсы: – 2006. – № 3. – С 126–131.

6. Крицкий, С.Н. О применении метода наибольшего правдоподобия к выборочной оценке статистических параметров речного стока/ С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель // Известия Академии наук СССР. ОТН., 1949. – № 4. – С. 919–940.

7. Крицкий, С.Н. Расчет многолетнего регулирования стока на основе теории вероятностей / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель // Тр. ВИСУ. Гидротехнический сборник. 1932. – № 4. – С. 7–32.

8. Волчек, А.А. Учет разовых гидрометрических измерений при определении основных гидрологических характеристик и параметров русла / А.А. Волчек, Н.Н. Шешко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – № 2(68): Водохозяйственное строительство и теплотехника. – С. 7–13.

УДК 551.5(476)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТЕЛЕЙ И СНЕГОПАДА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Волчек А.А., Шпока И.Н., Шпока Д.А.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, volchak@tut.by, irinashpoka@rambler.ru

In the article the change in the number of days with blizzards and snow in Belarus and peculiarities of their formation in the period from 1975 to 2012 Blizzards and snowfalls have a large temporal and spatial variability. Standard statistical methods allowed to identify temporal regularities in the formation of these phenomena. Spatial variability characteristics of blizzards and snow in Belarus was assessed using mapping.

Введение

Метели – перенос снега над поверхностью земли ветром достаточной силы [1]. Метель становится опасным метеорологическим явлением, когда скорость ветра усиливается до 15 м/с и более, имеет продолжительность не менее 12 часов.

Чаще всего метели возникают при перемещении циклонов и ложбин с запада на восток (приблизительно 50% от их общего числа). С перемещением циклонов с северо-запада и севера на юг связано около 25% метелей и приблизительно такое же количество – с выходом южных циклонов к северу. Наиболее продолжительные метели наблюдаются на периферии мощного стационарного антициклона [2].

Сильный снегопад – продолжительное интенсивное выпадение снега из облаков, приводящее к значительному ухудшению видимости и затруднению движения транспорта [1].

Нередко метели и снегопады становятся опасным метеорологическим явлением. Так, 25.03.2008 г. часть Беларуси находилась под влиянием «южного» циклона, располагавшегося над Гомельской областью. Атмосферные фронты с волнами проходили по центральным и восточным районам страны. В результате чего наблюдались сильные снегопады по Брестской, Гродненской, Минской и Витебской областям. Выпало от 7 до 14 см осадков, прирост снега за сутки составил до 10-16 см, на метеостанции Верхнедвинск выпало 23 мм осадков – прирост снега за сутки составил 27 см. В результате сильного снега нанесен ущерб ряду хозяйств республики. В д. Вышнарowo (Верхнедвинский район) обрушилась крыша телятника, повреждено 500 листов шифера, отмечались сбои в работе общественного транспорта. В Верхнедвинском районе были обесточены 23 населенных пункта, повреждены 5 линий электропередач, 34 КТП.

Исходные данные и методы исследования

Основными исходными материалами при исследовании пространственно-временной структуры количества дней с метелями на территории Беларуси послужили данные по метеостанциям за период с 1975 по 2013 гг., опубликованных в государственном кадастре ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», при исследовании сильного снегопада – статистические материалы сборника «Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси»

Стандартные статистические методы использовались для исследования пространственно-временных колебаний количества дней с метелями и снегопадами. С помощью картирования оценивалась пространственная изменчивость. Для оценки влияния современного потепления климата на количество дней с явлениями исходные данные были разбиты на 3 периода: 1975-1987 гг., 1988-1999, 2000-2013 гг. В Беларуси с 1988 г. наблюдается рост средней годовой температуры воздуха [4]. В 1988 г. средняя годовая температура воздуха была выше средних многолетних температур на 0,3 – 0,9°C. Средняя годовая температура воздуха в 1989 г. была на 2 – 2,5 °C теплее обычного, а для северо-востока Витебской области – почти на 3 °C выше средних многолетних температур и составляла от 7 °C тепла на крайнем востоке и до 9 – 9,5 °C на крайнем юго-западе Беларуси.

Обсуждение результатов

Наиболее благоприятные условия для развития метелей создаются в районах, где циклон приближается к продолжающему еще усиливаться антициклону или отрогу.

Пространственное распределение как метелей, так и сильного снегопада имеет долготный характер (рисунок 1-2). Метели чаще всего проходят по северу и северо-востоку, а также в центральной части республики (около 10 и более дней), несколько реже отмечаются по югу республики (около 4-6 дней). Наибольшее число дней с метелями наблюдается на Новогрудской и Минской возвышенностях, Копыльской гряде. Сильный снегопад чаще отмечается в западной части страны, особенно на Новогрудской возвышенности, и на севере, реже – на юге в районе Брестского, Припятского и Мозырского Полесья.

На одну метеостанцию почти за 40-летний период наблюдений приходится около 6 дней с метелью. Среднее количество дней с метелями в период с 1975 по 1987 гг. составляло 11 дней, что статистически значительно различается по сравнению со следующими двумя периодами и составляет около 3,3 и 3,6 дней, соответственно. Таким образом, практически на всех метеостанциях отмечается существенное уменьшение для рассматриваемых периодов (таблица 1). Например, на метеостанции Езерище с 1976 по 1987 гг. отмечалось около 19 дней с метелью, то в 1988 – 1999 гг. – около 6 дней, а с 2000 по 2012 гг. – около 3 дней, на метеостанции Витебск – около 12, 9 и 8 дней с метелями соответственно, на метеостанции Могилев – около 20 дней, 3 и 2 дней соответственно. В то же время на отдельных станциях отмечается незначительное увеличение количества дней с метелями. Например, на метеостанции Верхнедвинск – около 15 дней, 6 и 7 дней соответственно, на метеостанции Орша – около 11, 9 и 12 соответственно, на метеостанции Бобруйск с 1976 по 1987 гг. регистрировалось около 10 дней, с 1988 по 1999 гг. – около 2 дней, с 2000 по 2012 гг. – около 6 дней (таблица). Это может быть связано с географическим положением стан-

ций и особенностями подстилающей поверхности. Коэффициент вариации (C_v) составляет 1,0, он колеблется по территории от 1,5 на метеостанции Брест до 0,6 в Витебске, Орше, Слуцке, Костюковичах, что говорит о значительном отклонении от средней величины числа дней с метелями.

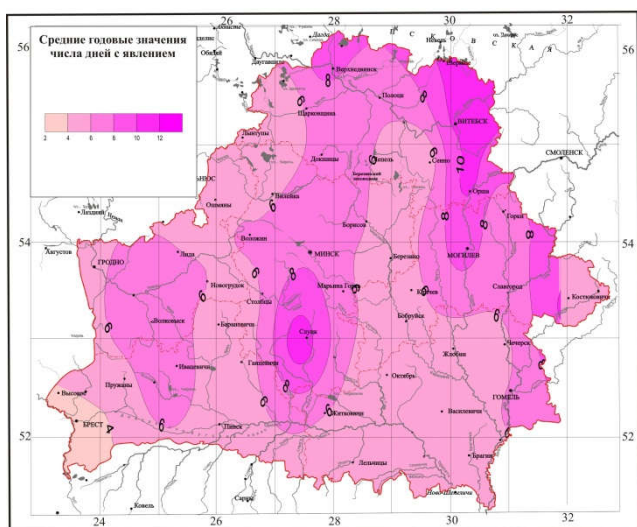


Рисунок 1 – Среднее годовое количество дней с метелями по метеостанциям

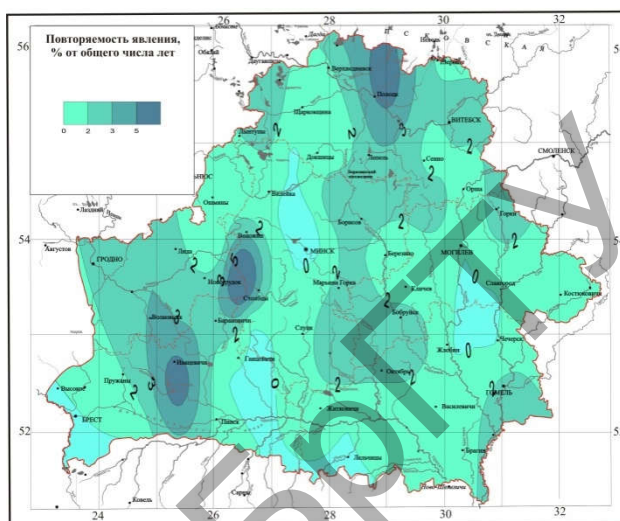


Рисунок 2 – Распределение сильного снегопада, % лет

Сильный снегопад отмечается в среднем 1 раз в 10 лет по всей территории республики. Чаще всего в Витебской области (1 раз в 6 лет), в Гродненской области – 1 раз в 8–9 лет. В Гомельской области – в среднем 1 раз в 12 лет отмечается сильный снегопад. В Минской, Могилевской и Брестской областях сильные снегопады – явление достаточно редкое, отмечается в среднем 1 раз в 17–18 лет. В Минской области (в Борисове, Марьиной Горке и Слуцке) и Могилевской области (в Горках, Бобруйске) сильный снегопад отмечался только 1 раз за последние 35 лет. В Брестской области только в Пружанах сильный снегопад отмечался в 2 годах из 35 лет обобщения.

Метели, как правило, наблюдаются с декабря по февраль, иногда метели могут наблюдаться как весной, так и осенью. В холодный период (декабрь – февраль) метели отмечаются на севере, востоке и в центральной части Беларуси, наблюдаются в 6–8 % дней, в теплый период (март–ноябрь) – на севере в 3 % дней на северо-востоке и востоке, на остальной территории Беларуси – в 1–2 % дней. Подобная тенденция связана с потеплением климата, которое на территории Беларуси наблюдается с 1988 г.

Как и метели, сильные снегопады отмечаются в холодное время года с ноября по март, в отдельные годы сильный снегопад наблюдается в апреле и октябре (рисунок 3). В октябре сильный снегопад отмечается в Могилевской области в 50% от общего числа дней, в ноябре сильный снегопад отмечается в Могилевской, Гомельской и Витебской областях (50, 33 и 14% от общего числа дней с явлением соответственно), в декабре – в Гомельской и Витебской областях. В январе сильный снегопад наблюдается в Минской, Брестской и Гродненской областях. В феврале сильные снегопады отмечаются только в Витебской области в 29% от общего числа дней с явлением. В Гродненской, Гомельской и Витебской областях отмечаются сильные снегопады в марте (33, 29 и 20% от общего числа дней с явлением). В апреле сильные снегопады не наблюдаются в Могилевской и Гомельской областях.

Таблица – Число дней с метелями на территории Беларуси за различные интервалы осреднения и их параметры распределения

Метеостанции	среднее				Cv	число Фостера, %					
	1975-2012	1975-1987	1988-1999	2000-2013		1	5	10	20	30	50
Верхнедвинск	9,4	15,1	5,6	7,4	0,7	24,2	19,8	17,4	14,6	12,4	9,4
Езерище	10,5	18,9	6,1	3,2	1,0	33,3	26,4	22,8	18,4	15,0	10,5
Полоцк	6,6	9,5	5,5	4,7	0,8	18,9	15,3	13,4	11,0	9,2	6,6
Шарковщина	4,7	10,6	1,8	0,9	1,3	17,5	13,7	11,7	9,2	7,4	4,7
Витебск	10,0	12,1	9,4	8,7	0,6	24,0	19,8	17,7	15,0	13,0	10,0
Лынтупы	5,4	10,8	1,8	2,4	1,2	19,4	15,1	12,9	10,2	8,2	5,4
Лепель	6,2	9,8	6,8	3,1	1,0	21,6	17,2	14,8	12,0	9,8	6,2
Докшицы	6,1	11,1	2,9	4,1	1,2	23,2	18,1	15,5	12,2	9,8	6,1
Сенно	4,0	7,4	1,7	2,1	1,0	12,7	10,0	8,7	7,0	5,7	4,0
Березинский заповедник	6,5	13,3	4,3	1,4	1,4	27,7	21,4	18,1	14,1	11,1	6,5
Орша	10,9	11,0	9,5	11,8	0,6	25,7	21,2	18,9	16,1	13,9	10,9
Вилейка	5,3	11,1	3,5	0,8	1,1	19,2	15,1	13,0	10,4	8,4	5,3
Борисов	7,2	15,9	2,4	2,4	1,2	26,6	20,8	17,8	14,1	11,2	7,2
Воложин	6,5	11,0	2,2	6,2	1,0	21,3	16,9	14,6	11,8	9,6	6,5
Минск	7,4	15,7	3,2	2,8	1,0	24,3	19,3	16,6	13,4	11,0	7,4
Березино	5,8	11,6	1,1	2,9	1,0	18,0	14,3	12,3	9,9	8,1	5,8
Марына Горка	6,9	10,8	3,6	5,5	0,8	19,2	15,5	13,6	11,2	9,4	6,9
Столбцы	5,2	7,5	2,8	5,5	0,9	16,1	12,9	11,2	9,1	7,5	5,2
Слуцк	11,8	18,8	7,8	8,9	0,6	28,3	23,4	20,9	17,7	15,3	11,8
Ошмяны	3,6	7,3	1,5	1,7	1,3	14,1	11,0	9,3	7,3	5,8	3,6
Лида	6,2	11,2	3,6	3,5	0,9	18,9	15,1	13,1	10,7	8,8	6,2
Гродно	4,9	8,0	2,9	3,5	0,8	13,7	11,1	9,7	8,0	6,7	4,9
Новогрудок	6,5	12,8	2,3	4,1	1,0	21,3	16,9	14,6	11,8	9,6	6,5
Волковыск	6,9	12,8	3,4	4,7	0,9	21,4	17,1	14,8	12,1	10,0	6,9
Горки	6,3	14,7	0,6	3,2	1,2	23,5	18,4	15,7	12,4	9,9	6,3
Могилев	8,2	20,6	2,8	1,9	1,2	31,1	24,3	20,8	16,5	13,1	8,2
Кличев	5,3	7,9	3,1	4,9	0,7	13,7	11,2	9,9	8,3	7,0	5,3
Славгород	7,5	14,1	4,9	3	1,0	25,0	19,8	17,1	13,8	11,3	7,5
Костюковичи	10,2	14,3	10	6,5	0,6	24,5	20,2	18,0	15,3	13,3	10,2
Бобруйск	5,8	9,8	1,5	6	1,0	19,3	15,3	13,2	10,7	8,7	5,8
Барановичи	4,5	10,1	1,6	0,5	1,4	18,8	14,5	12,3	9,6	7,5	4,5
Ивацевичи	8,2	15,5	5,5	4,9	0,8	24,3	19,7	17,2	14,2	11,9	8,2
Пружаны	4,2	8,8	1,8	1,8	1,0	13,7	10,8	9,3	7,5	6,2	4,2
Высокое	3,1	5,2	0,8	2,7	1,2	11,0	8,6	7,4	5,8	4,6	3,1
Полесская, болотная	2,8	1,8	3,3	2,5	1,4	11,1	8,6	7,3	5,7	4,4	2,8
Пинск	3,9	10,1	1,1	1,1	1,4	16,6	12,9	10,9	8,5	6,6	3,9
Брест	3,3	6,9	0,5	2,6	1,5	14,8	11,4	9,6	7,5	5,8	3,3
Жлобин	4,9	10,3	1,9	2,4	1,0	16,3	12,9	11,2	9,0	7,4	4,9
Октябрь	3,6	7,7	1,3	1,8	1,1	12,8	10,1	8,7	6,9	5,6	3,6
Гомель	6,1	9,5	3,8	4,9	0,8	17,2	13,9	12,1	10,0	8,4	6,1
Василевичи	4,6	9,2	3,3	1,6	1,1	16,7	13,2	11,3	9,0	7,3	4,6
Житковичи	5,3	13,3	1,4	0,8	1,4	22,6	17,5	14,8	11,5	9,0	5,3
Мозырь	5,2	10,8	1,2	2,9	1,1	18,2	14,3	12,3	9,8	7,9	5,2
Лельчицы	3,7	7,0	2,4	1,6	1,1	13,2	10,4	8,9	7,1	5,7	3,7
Брагин	2,6	4,3	0,9	2,4	0,9	7,7	6,2	5,4	4,4	3,6	2,6
Среднее	6,0	11,0	3,3	3,6	1,0	19,6	15,6	13,5	10,9	8,9	6,0

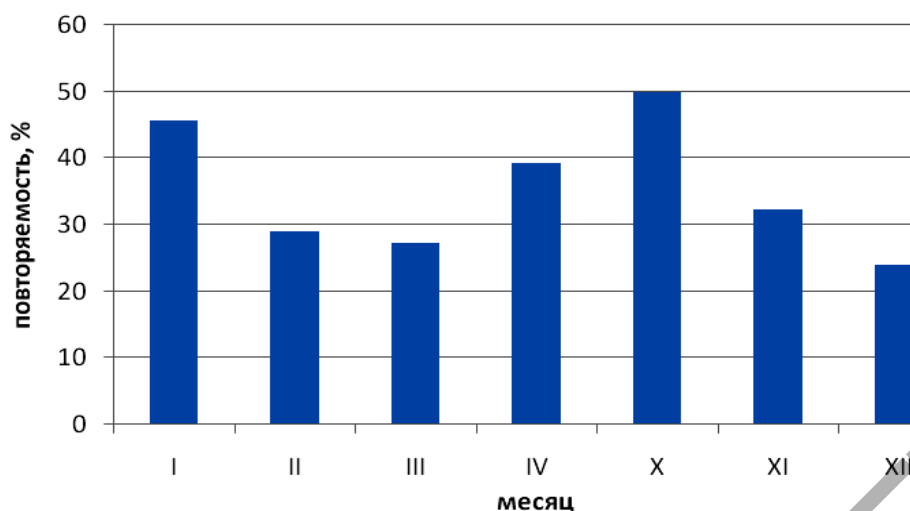


Рисунок 3 – Распределение сильного снегопада по территории Беларуси, % лет

Временной ход метелей представлен на рисунке 4. На вторую половину 70-х – начало 80-х прошлого столетия приходится максимальное количество дней с метелями, минимальное - на начало 90-х годов. Такой ход метелей связан с тем, что в последние 11 из 12 лет (включая 2006 г.) являются самыми теплыми за весь период инструментальных наблюдений за глобальной температурой приземного воздуха (с 1850 г) [5].

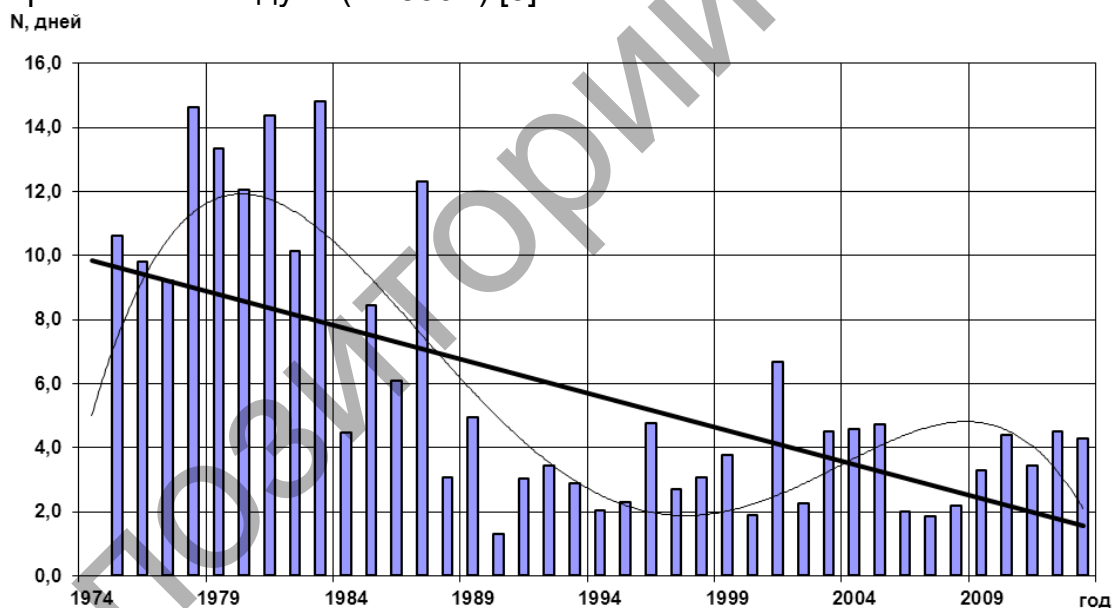


Рисунок 4 – Годовой ход среднего количества дней с метелями

Заключение

Среднее количество дней с метелями приходящихся на 1 метеостанцию, составляет около 6 дней, сильных снегопадов – 1 раз в 10 лет. Как метели, так и сильный снегопад отмечаются в холодное время года. Пространственное распределение метелей и сильного снегопада имеет долготный характер. Сильный снегопад чаще отмечается на возвышенной территории (около 3,4% от общего числа лет), чем на равнинной (около 1,3% от общего числа дней).

Список литературы

1. Хромов, С.П. Метеорологический словарь / С.П. Хромов, Л.И. Мамонтова, – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.

2. Климат Беларуси / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск : Ин-т геол. наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.

3. Сильный снег в Беларуси в марте 2008 года. Технический отчет о сильном снеге в 25 марта 2008 года [Электронный ресурс]. – Минск, 2008. – Режим доступа : <http://meteoinfo.by/press/?page=50>. – Дата доступа – 19.02.2016.

4. Логинов, В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В.Ф. Логинов. – Минск: ТетраСистемс, 2008 – 486 с.

5. Мелешко, В.П. Климат России в XXI веке. Часть 1, новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета / В.П. Мелешко [и др.] // Метеорология и гидрология 2008. № 6. – М. : ГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета». – С. 5-9.

УДК 626.83.004.1

НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ С КАМЕРНЫМ ОТВОДОМ

Громик Н.В., Водчиц Н.Н., Стельмашук С.С.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь [vig_bsty@tut/by](mailto:vig_bsty@tut.by)

Due to the smaller size of the station unit and better hydraulic properties of the conveyance system, hydraulic power station with vertical turbine pump and chamber drainage system is considered to be economically efficient.

Введение

Насосные станции водохозяйственных комплексов являются сложными гидротехническими узлами и требуют больших финансовых затрат. Эти затраты возрастают при строительстве крупных насосных станций, которые требуют значительных капитальных вложений из-за большого объема бетонных и железобетонных работ, а также устройства гидромеханического оборудования. Установка на таких станциях насосов с большим расходом в свою очередь требует значительного потребления электрической энергии. Поэтому любое уменьшение затрат является эффективным и заслуживает внимания.

Насосные станции мелиоративных систем служат для различных целей. Так, для осушительных систем они сбрасывают воду с осушаемой территории и имеют незначительный напор, но большие расходы. Для оросительных систем подачи насосных станций незначительные, но напоры большие.

Осушительные насосные станции работают сезонно, особенно большие сбросы, можно сказать, мгновенные, наблюдаются в весенние паводки и в периоды стихийных бедствий, когда происходит затопление не только сельскохозяйственных угодий, но и населенных пунктов. В это время должны сбрасываться огромные массы воды, следовательно, нужны насосы с большой единичной подачей. Напоры, как правило, в этих случаях незначительны, и поэтому такие станции komponуются осевыми насосами, отвечающими требованиям большого расхода и небольших напоров.

Исследования, проводимые различными учеными, научными коллективами, посвящены как созданию экономически эффективных конструкций насосных агрегатов, так и различных компоновок блоков насосных станций.

Нахождение оптимального сочетания водозабора, блока насосной станции и водовыпускного сооружения является актуальной задачей при строительстве гидроузла насосной станции.

Анализ существующих типов компоновки блока крупных насосных станций

Тип и конструкция здания насосной станции в основном зависит от способа соединения здания насосной станции с водозаборным сооружением (два отдельных сооружения и одно совмещенное), типа и конструкции насоса, режима водоисточника, характера грунтов и условий залегания грунтовой воды в месте расположения насосной станции и вида строительных материалов для здания насосной.

У всех вертикальных насосов отвод воды осуществляется через колено под углом 60° к оси вала и под углом 90° (так называемый малогабаритный). Подача этих насосов составляет от $0,072 \text{ м}^3/\text{с}$ до $42,0 \text{ м}^3/\text{с}$, напором от 2,5 м до 26 м.

Здания крупных насосных станций обычно «блочного» типа. В основании здания находится бетонный (армированный) блок (рисунок 1), а в нем расположена водоподводящая труба, которая имеет криволинейную ось и переменное сечение от прямоугольного до круглого у входного патрубка насоса. В настоящее время форму трубы и условия сопряжения ее с входным патрубком насоса указывают в установочном чертеже насоса, поставляемого заводом изготовителем. Иногда для того, чтобы уменьшить высоту водозаборного сооружения, всасывающую трубу выполняют наклонной к горизонту до 15° (рисунок 2). Однако в этом случае ухудшается подвод воды к рабочему колесу, что в свою очередь ведет к неравномерной работе насоса. Всасывающая труба существенно влияет на размер блока, поэтому, чтобы уменьшить его размеры, всасывающую трубу «выносят» в водозаборное сооружение (рисунок 3). Сам насос замоноличивают в бетон, оставляя лишь проемы для эксплуатационных и ремонтных работ. Такая установка насоса производится при диаметре рабочего колеса более 2-х метров.

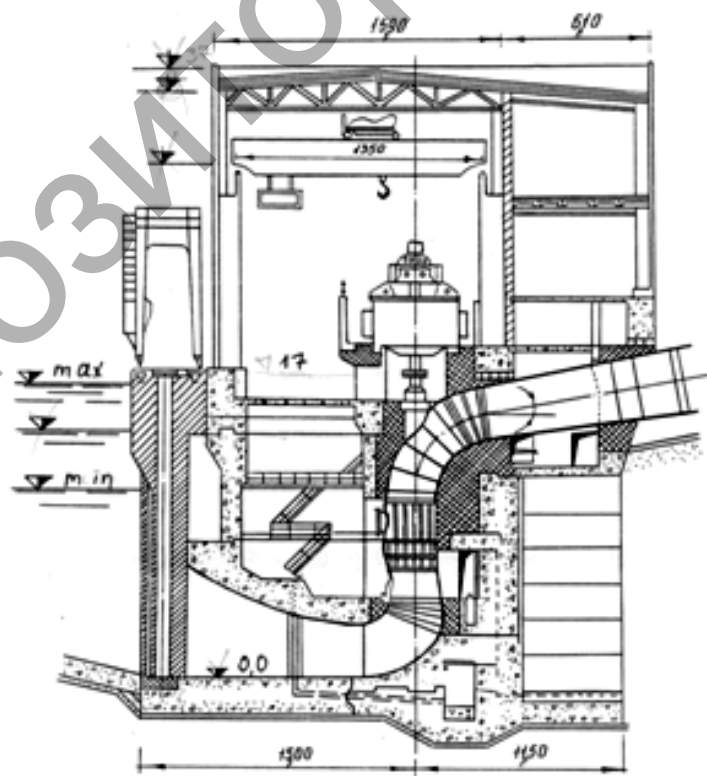


Рисунок 1 – Поперечный разрез зданий крупной насосной станции «блочного типа»

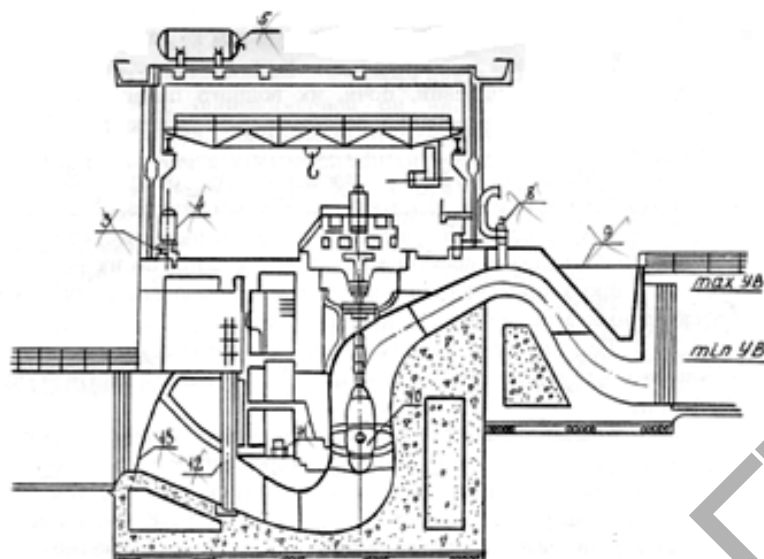


Рисунок 2 – Насосная станция с наклонной всасывающей трубой

На рисунке 3 представлен поперечный разрез одной из уникальных оросительных насосных станций (Каршинская оросительная система) с установленной подачей до $240 \text{ м}^3/\text{с}$ (шесть насосных агрегатов ОПВ-260 с двигателем мощностью 12500 кВт каждый). Высота здания станции около 37 м. , высота насоса (от дна подводной трубы до фланца вала) около 17 м. Известно, что для насосных станций с вертикальными осевыми насосами имеет место значительное увеличение строительных размеров блока насосной станции с увеличением диаметра рабочего колеса.

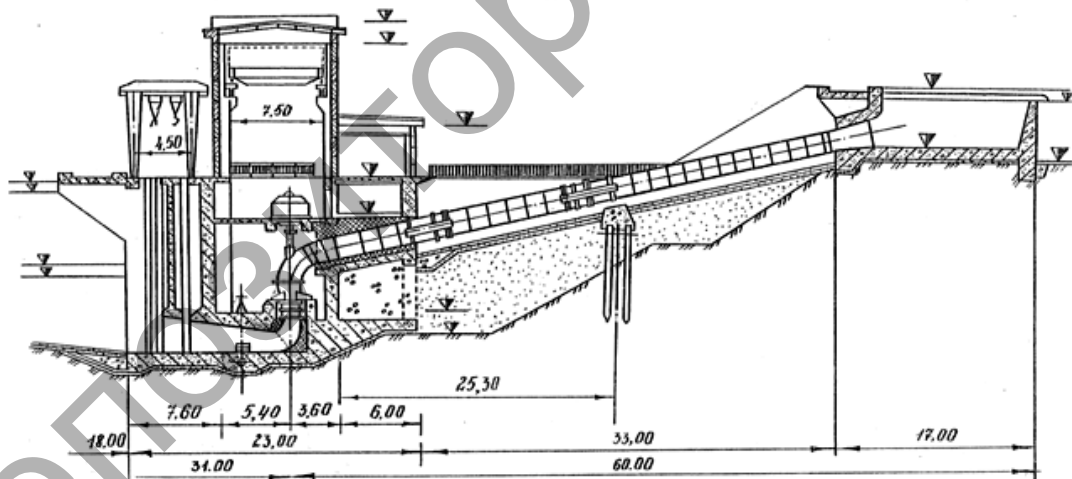


Рисунок 3 – Продольный разрез по узлу сооружений крупной насосной станции с осевыми насосами ОПВ - 260

В зарубежной практике строительства насосных станций применяется наклонное расположение насоса (рисунок 4) – такое расположение насоса применяют при неудовлетворительных условиях забора. И хотя в этом случае из-за уменьшения углов отводов уменьшаются гидравлические потери, упрощаются и удешевляются строительные конструкции, например, опорная плита, но этот вариант расположения насоса не является лучшим из-за неравномерности скоростей воды при входе на рабочее колесо. Кроме этого, необходимы специальные подшипники. В отечественном строительстве насосных станций наклонное расположение осевых насосов не нашло распространения.

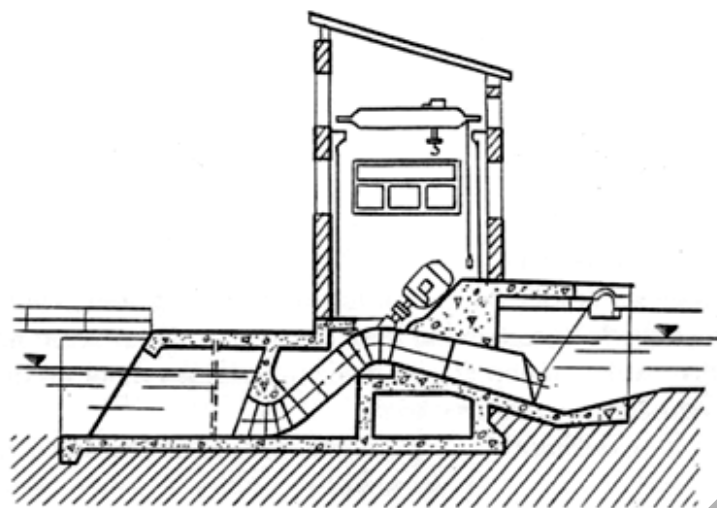


Рисунок 4 – Насосная станция с наклонным расположением насоса

Увеличением единичной производительности агрегатов и соответственно диаметра рабочего колеса насоса до (4–6) м целесообразно применять капсульные агрегаты, так как они более компактны, имеют более высокий к.п.д., их применение сокращает габариты здания, в том числе длину, на 20 % позволяет поднять подошву здания, уменьшить объем железобетона по зданию насосной станции на 15 %. Эта компоновка блока насосной станции с горизонтальными капсульными агрегатами эффективна для крупных насосных станций. Она позволяет уменьшить габариты здания насосной станции, а следовательно, и ее стоимость. Кроме того, повышаются энергетические показатели на (2..4) %. Однако эксплуатация таких агрегатов весьма затруднена, требуются специальные электродвигатели, способные работать в условиях некоторых перегрузок, защищенные от проникновения влаги, оборудованные специальной вентиляцией, имеющие небольшие габаритные размеры. Вся конструкция металлоемка.

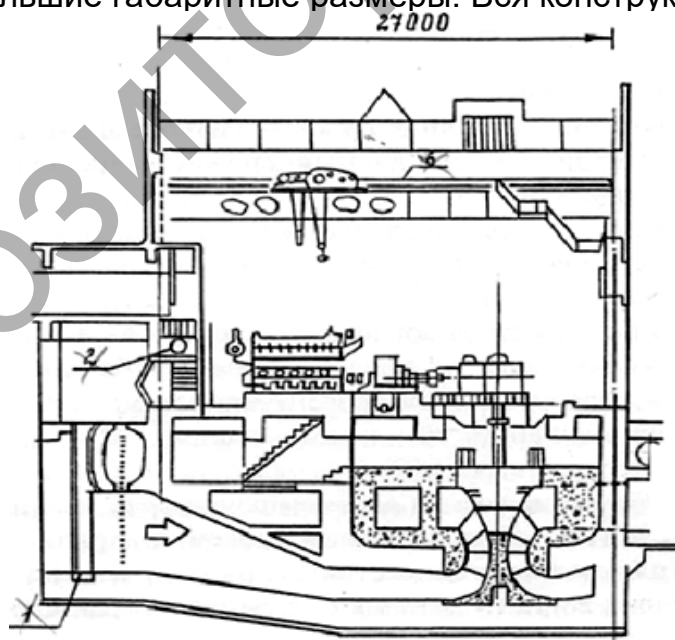


Рисунок 5 – Насосная станция САНГО на реке Никогоава (Япония)

На рисунке 5 представлена конструкция насосной станции САНГО (Япония) на реке Никогоава, которая предназначена для сброса паводковых вод из реки Эдогава в реку Накогоава. Водопроводящим и водоотводящим сооружением является канал. На данной насосной станции установлены диагональные

насосы: три насоса с подачей $Q=50\text{ м}^3/\text{с}$ каждый, один насос с $Q=30\text{ м}^3/\text{с}$ и один с $Q=20\text{ м}^3/\text{с}$. Эта насосная станция имеет напор от 0 до 9 м., т.е. большие колебания в реке, в связи с этим приняты диагональные насосы. С целью уменьшения высоты подземной части здания насосной станции, корпус насоса выполнен в виде спирали. Этот насос полностью вмонтирован в бетон, а также из бетона выполняется всасывающая труба и напорный водовод. Кроме того, части или отдельные элементы установки, в которых важное значение имеет точность размеров, а также элементы, отличающиеся изогнутыми формами или вообще внешне по форме сложные, выполнены из листовой стали толщиной 12 мм; конструктивно листовая сталь замоноличивается в бетон и образует трубопроводы и кожух насоса. Этим добиваются точности форм проточной части, а также защиты внутренней поверхности от потоков воды до начала и после эксплуатации. Сама спираль сдвоена, т.е. имеет двойной спиральный корпус, поскольку площадь поверхности спирали очень большая, то корпус разделяется на две части. Вместе с повышением жесткости бетонного основания с перемышками в качестве опорных стенок уравниваются радиальные усилия, действующие на лопасти рабочего колеса, кроме этого, уменьшается толщина плиты в качестве опорной стенки наружной бетонной плиты.

Анализируя вышесказанное, можно сделать выводы:

1. При проектировании насосных станций большой подачи используется три типа компоновки блока (напором до 20 м):

– осевым поворотнo-лопастным насосом с вертикальным валом и осевым отводом;

– капсульным гидроагрегатом;

– осевым, поворотнo-лопастным насосом диагонального отвода со спиральной камерой.

2. Намечена тенденция к укрупнению единичной мощности агрегатов и увеличению диаметра рабочего колеса D_1 до 10,3 м с целью уменьшения строительных размеров самой дорогой подземной части здания насосной станции.

3. С увеличением диаметра рабочего колеса D_1 энергетические показатели насоса возрастают примерно на 3% (при увеличении D_1 от 2,6 м до 10,3 м).

4. Указанные компоновки имеют свои недостатки: компоновка блока осевыми поворотнo-лопастными насосами с осевым отводом с $D_1 = 2,6$ м нецелесообразна из-за больших габаритных размеров здания станции; применение капсульного агрегата усложняет эксплуатацию насосной станции. Имеются трудности в изготовлении малогабаритных двигателей. Капсула должна иметь двойную оболочку, между стенками которой устраиваются вентиляционные каналы. Поэтому она металлоемка; осевой насос диагональным отводом и спиральной камерой имеет низший к.п.д. из-за увеличения гидравлических потерь в отводе. Целесообразность его применения для напоров более 10 м.

Возможности компоновки блока насосной станции осевыми насосами с камерным отводом

Такая компоновка блока насосной станции вертикальными насосами с камерным отводом сохраняет отработанную технологию монтажа насоса, кроме того, налаженное серийное производство вертикальных насосов не требует значительного переустройства технологических процессов при изготовлении насосов с $D_1=2,6$ м. Эксплуатация такой насосной станции гораздо проще по сравнению с компоновкой капсульными агрегатами.

Для сравнения расхода бетона, идущего на строительство блока насосной станции с различной компоновкой отвода, были проведены предварительные рас-

четы для четырех случаев: с капсульным агрегатом, с наклонным агрегатом, со спиральным отводом и с камерным отводом. Расчет проведен для насосов с диаметром рабочего колеса 5,0 м. Объем бетона определялся по внешнему обмеру блока и составил: для капсульного агрегата – 63 м³; для наклонного агрегата – 68 м³; для агрегата со спиральным отводом – 80 м³; для насоса с камерным отводом – 65 м³.

Из полученных результатов видно, что объем бетона при камерной компоновке несколько больше, чем при капсульной, однако меньше, чем при агрегате со спиральным отводом и, естественно, при традиционном вертикальном. Поэтому и с учетом того, что эксплуатация насосной станции, оборудованной насосами с камерным отводом, гораздо проще по сравнению с капсульной, и рекомендуется применение компоновки насосной станции с камерным отводом (рисунок 6).

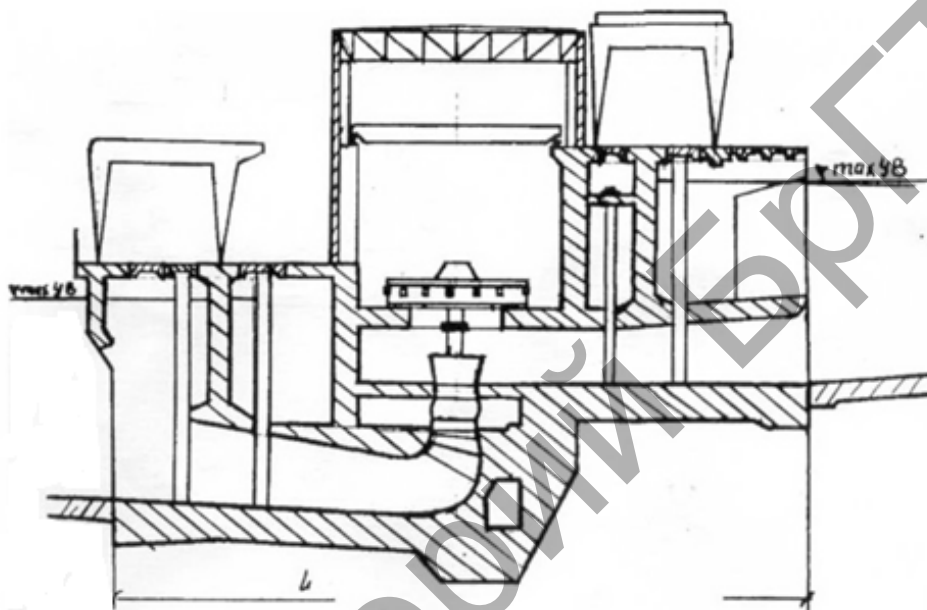


Рисунок 6 – Насосная станция с осевым насосом с камерным отводом

Такая компоновка в корне меняет водопроводящий тракт насоса и соответственно к.п.д. отвода, который в свою очередь влияет на к.п.д. насоса.

Преобразование кинетической энергии потока после колеса в давление осуществляется в отводе, который в выпускаемых серийно осевых насосах состоит из направляющего аппарата и диффузора с колесом. В направляющем аппарате преобразуется в давление большая часть скоростного напора окружной составляющей скорости, а также и некоторая часть осевой скорости благодаря конусу внешней и внутренней стенок. В диффузоре после направляющего аппарата преобразуется в давление большая часть скоростного напора осевой составляющей скорости, а также и некоторая часть окружной скорости, оставшейся после направляющего аппарата.

Относительно большая величина скоростного напора после колеса в быстроходных насосах и расширение потока в отводе обуславливают значительные гидравлические потери. Поэтому для повышения эффективности осевого насоса форма отвода и его размеры должны быть такими, при которых гидравлические потери наименьшие в рекомендуемом режиме работы насоса.

Проведенные исследовательские работы по изучению отводов осевых насосов показали, что длина диффузора перед коленом должна составлять $l = 1,4D_3$, так как изменения длины диффузора в пределах $l = (1,5...2,7)D_1$ (здесь D_1 – диаметр рабочего колеса) повышает к.п.д. насоса только на 3 %, а размеры увеличиваются значительно. Угол расширения диффузора перед коленом в значительной степени влияет на к.п.д. отвода, так изменение угла конусности

от 3° до 6° , коэффициент сопротивления отвода $\zeta_{оме} = 0,25 \dots 0,35$, к.п.д. отвода снижается при этом на (10...13) %. Наблюдается линейный характер изменения $\zeta_{оме}$ от угла θ . В применяемых насосных установках $\zeta_{оме} = 0,75 \dots 0,65$. Рекомендуемый угол конусности перед коленом должен составлять $2\theta = 8^\circ$.

При камерном отводе (рисунок б) колено в отводе насоса отсутствует и поток из диффузора выходит в камеру аналогично выходу потока из прямоосной отсасывающей трубы. В обоих случаях кинетическая энергия потока после рабочего колеса должна быть преобразована в потенциальную, для отсасывающей трубы создаётся дополнительное разрежение под колесом, чем обеспечивается повышение к.п.д. насоса. Для насоса величина преобразования скоростного напора зависит от назначения насоса. В большинстве случаев определяющей служит экономически наиболее выгодная скорость потока в водоводе, а также тип и размер насоса. Обычно десятикратное снижение скоростного напора в отводе вполне достаточно для практических целей.

Анализ камерного отвода позволяет констатировать:

1. Применение камерного отвода существенно меняет проточный тракт водовыпуска насосной станции. Нет необходимости устройства напорного трубопровода. Расход бетона при такой компоновке значительно меньше, чем при традиционной с колечатым отводом при существующей тенденции укрупнения единичной мощности насосных агрегатов.

2. Эксплуатация насосной станции при такой компоновке проще, чем при капсульных агрегатах, требующих особых условий. Это специальные капсулы для привода насоса, сложности пуска и остановки.

3. Аналогичность выхода потока в качественном отношении потоку прямоосной отсасывающей трубы позволяет применить методики расчета отсасывающих камер турбинных блоков для расчета отводящих камер насосной станции с осевым насосом.

4. Гидравлические характеристики потока за рабочим колесом при входе в отвод в значительной степени влияют на к.п.д. отвода. Аналогично отсасывающей трубе задачей отвода насоса является максимальное восстановление кинетической энергии входящего в отвод потока при минимальных гидравлических потерях.

5. Изменение режимов работы насоса во всех случаях сопровождается изменением характеристик потока после колеса, что в свою очередь сказывается на к.п.д. всего агрегата. Поэтому определение оптимальных размеров выходного диффузора, который соответствовал бы минимальным гидравлическим потерям при различных режимах работы, является главной задачей.

Как было указано в работе [1], диффузор, установленный на выходе из сети, имеет оптимальные величины коэффициента гидравлических потерь при соответствующих значениях расположения экрана от выходного сечения. Для определения влияния других факторов на коэффициент гидравлического трения ζ проводились исследования в специальной камере при различных значениях параметров этой камеры.

Отводящая камера, исследовавшаяся в настоящей работе, была выполнена прямоугольной, т.е. имела форму, наиболее отвечающую требованиям снижения ее стоимости и сроков строительства. Истечение потока из диффузоров происходило на верхнюю крышку камеры в условиях подтопления выходного сечения диффузора на глубину $h/D_1 = 5$. Выход потока был свободен со стороны нижнего бьефа, с трех других сторон поток был ограничен боковыми и торцевой стенками.

Результаты экспериментальных исследований в виде коэффициента гидравлического сопротивления диффузоров при истечении в камеру приведены в

таблице. На рисунке 7 эти результаты представлены в виде графиков $\zeta=f(W/W_p)$, где W – объем испытанных камер; W_p – объем камеры, имеющей рекомендуемые в настоящее время размеры для камерных отводов отсасывающих труб гидротурбин, в частности, $B=4,0D_1$, $C=2,9D_1$.

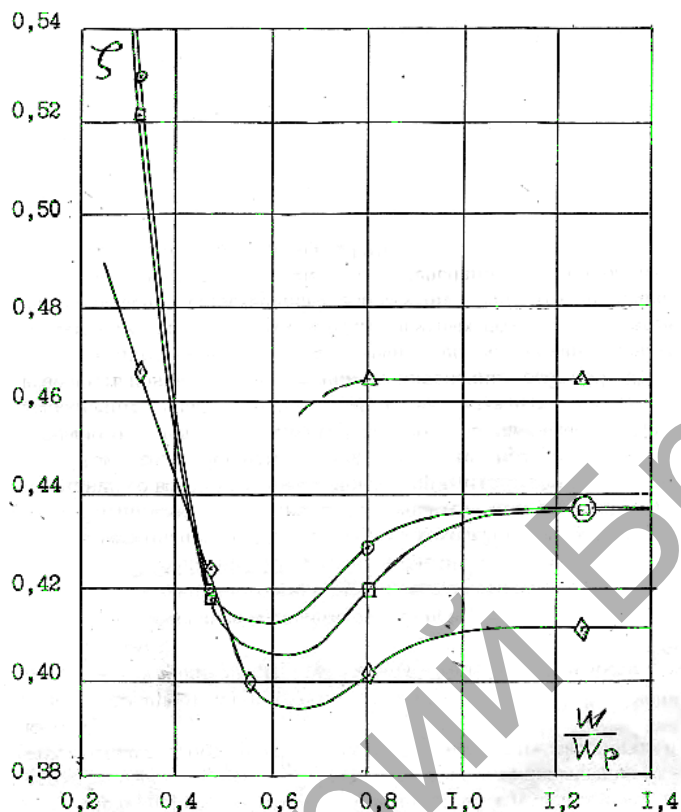


Рисунок 7 – График зависимости коэффициента гидравлического сопротивления диффузора относительно объема отводящей камеры

Анализируя приведенные данные, можно заключить что размеры камеры оказывают существенное влияние на коэффициент гидравлического сопротивления. Наиболее резкое увеличение этого коэффициента происходит при сокращении ширины камеры менее $3,2D_1$ и расстояния до торцевой стенки менее $1,7D_1$. Однако и увеличение размеров камеры сверх некоторых значений, например, расстояния до торцевой стенки более $2,9D_1$, приводит к возрастанию значений коэффициента сопротивления, но не такому значительному, как при сокращении размеров камеры.

Характер кривых $\zeta=f(W/W_p)$ оказывается одинаковым для всех испытанных вариантов, отличающихся углом раскрытия конуса и расстоянием от его выходного сечения до потолка камеры, при этом незначительный по протяженности участок этих кривых, лежащий в пределах $W/W_p=(0,5 \div 0,8)D_1$, характеризуется минимальными значениями коэффициента сопротивления. Отводящие камеры, соответствующие по размерам отмеченному диапазону W/W_p , имеют проточный тракт такой формы, что в нем отсутствуют участки с интенсивной диффузорностью и конфузорностью. Наличие участка кривых $\zeta=f(W/W_p)$ с малыми значениями коэффициента сопротивления позволяет рекомендовать для практики отводящие камеры с размерами, лежащими в достаточно узком диапазоне, а именно: $B=(2,9 \div 3,2)D_1$ $C=(1,8 \div 2,0)D_1$ $t=(0,7 \div 0,9)D_1$.

Таблица –Параметры отводящей камеры

Модель диффузора	Размеры камеры в долях D_1		Коэффициент сопротивления	
	В	С	при $t=0,6D_1$	при $t=0,8D_1$
I $\frac{L}{D_1}=1,5$	5,0	2,9	0,465	0,412
	3,2	2,9	0,465	0,402
	2,2	2,9	-	0,400
	3,2	1,7	-	0,424
	2,2	1,7	-	0,467
IV $\frac{L}{D_1}=3$	5,0	2,9	0,437	0,437
	3,2	2,9	0,429	0,420
	3,2	1,7	0,420	0,418
	2,2	1,7	0,530	0,522

Заключения

Правильный выбор размеров прямоугольной отводящей камеры позволяет добиться заметного снижения значений коэффициента гидравлического сопротивления диффузора с камерным отводом. Существуют камеры таких размеров, при которых коэффициент сопротивления минимален. Для испытанных в настоящей работе диффузоров, применяемых в качестве отводов осевых насосов, рекомендуются прямоугольные камеры следующих размеров (в долях от входного диаметра диффузора): ширина от 2,9 до 3,2; расстояние до торцевой (задней) стенки от 1,8 до 2,0; расстояние от выходного сечения диффузора до потолка (в случае насоса) или дна (в случае турбины) от 0,7 до 0,9.

Список литературы

1. Карелин, В.Я. Гидравлические характеристики прямоосных конических диффузоров/ В.Я. Карелин, Н.В. Громик, В.В. Волшанин // Гидротехническое строительство. – М., 1987. – № 3. – с.31–35.
2. Громик, Н.В. Применение диффузоров при строительстве малых ГЭС / Н.В. Громик, Н.Н. Водчиц, С.С. Стельмашук // Вестник государственного технического университета. – 2013. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – с. 23–27.

УДК 639.3(476)(083.13)

МЕРЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ЧЕРВОНОЕ

Гертман Л.Н., Рутковский П.П.

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, г. Минск, Республика Беларусь,
lubov.hertman@yandex.ru, rutkovskip@mail.ru

This article analyzes the ecological state of the lake Chervonoe (Zhitkovichi district) and the necessary measures to improve its ecological status.

Введение

Озеро Червоное, являясь ядром водно-болотного комплекса Булев Мох-озера Червоное и водохозяйственного комплекса Житковичского и Солигорского районов, в настоящее время испытывает значительно превышающую потенциал озера нагрузку.

Основными участниками водохозяйственного комплекса являются ОАО «Рыбхоз «Красная зорька», ОАО «Житковичихимсервис» РНПО «Белсельхозхимия», ОАО «Житковичский торфобрикетный завод», эксплуатирующие предприятия мелиоративных систем (ПМС).

В настоящее время озеро служит водоприемником гидромелиоративной сети осушенной территории и торфоучастков, объектом рыболовства, объектом добычи сапропелей. Рекреационное использование водоема и приозерья в силу низкой рекреационной ценности территории ограничено кратковременным сезонным отдыхом жителей окрестных населенных пунктов и любительским рыболовством.

Гидрографическая сеть в водосборе озера Червоное сильно изменена вследствие проведения мелиоративных работ в сторону значительного уменьшения водосборной площади, что привело к увеличению расходной части его водного баланса.

Первые работы по строительству каналов на водосборе озера Червоное относятся к концу XIX века. Интенсивное влияние на гидрографию бассейна начало проявляться с 30-х годов двадцатого столетия и к 70-ым годам формирование искусственной гидрографической сети на водосборе озера в основном завершилось. Преобразование гидрографической сети вызвало существенные изменения в величине площади водосбора. По данным [1] площадь водосбора озера к началу 60-х гг. составляла 397 км², исключая площадь зеркала – 43,6 км². В 2015 г. площадь водосбора озера составляла 271,53 км², а площадь зеркала – 31,77 км² [2].

Структура хозяйственной деятельности и сложившаяся к настоящему времени гидрологическая и водохозяйственная ситуация в пределах водно-болотного комплекса Булев Мох-озеро Червоное требуют анализа допустимой антропогенной нагрузки в части достаточности и возможных объемов использования водных ресурсов озера Червоное с целью удовлетворения потребностей в них водопользователей, сохранения уникального комплекса и восстановления хорошего экологического статуса водного объекта. Требуется разработка и реализация состава мероприятий, обеспечивающих удовлетворение потребностей водопользователей с учетом недопущения при этом истощения водных ресурсов и ухудшения качества воды.

Современное состояние озера

Исследования проводились в 2014-2015 гг. и заключались в комплексном экспедиционном обследовании озера и его водосбора, анализе фондовых материалов и литературных источников, расчете водохозяйственного баланса.

Как показывают исследования, приток поверхностных вод с основной площади водосбора осуществляется по двум основным незарегулированным водотокам (в многоводные сезоны) и с помощью насосных станций с мелиоративных объектов «Житковичи», «Найдо-Белевская», «Красноозерская», «Ракитня». Кроме стока с мелиоративных систем, в озеро вода поступает по естественному водотоку Деменка и канаве Тесна. Водосборы указанных элементов гидрографической сети составляют практически полный водосбор озера. Водоотведение осуществляется по Житковичскому и Озерному каналам.

Среднегодовой уровень воды в озере за период инструментальных наблюдений составил 136,21 м БС, максимальный - 136,55 м БС, а минимальный - 135,21. С 2000 года наблюдается понижение уровней.

Для оценки изменения планового положения акватории озера выполнен анализ картографического материала 1953 г. (обновление 1973 г.) и аэрокосмической информации по состоянию на 2014 год. По сравнению с 1973 г. урез воды сместился на 50-450 м к центру озера. Наиболее сильно изменились границы озера в мелководных его частях.

В 2014 г. в ходе проведения исследований при отметке уровня воды 135,35 м БС были получены следующие характеристики озера: длина озера – 10,85 км, ширина – 4,7 км, наибольшая глубина – 2,75 м, средняя глубина – 0,55 м, площадь зеркала – 39,27 км², объем воды – 21,58 млн. м³. Исследования 2015 г. в аналогичный период выявили снижение уровня воды в озере до отметки 135,03 м БС и изменение характеристик озера: длина озера – 9,95 км, ширина – 4,48 км, наибольшая глубина – 2,63 м, средняя глубина – 0,43 м, площадь зеркала – 31,77 км², объем воды – 14,86 млн. м³. Полученные в апреле и июне 2015 г. данные по гидрологическому посту на канале Житковичский свидетельствуют о снижении уровня воды в озере в течение месяца на 5 см, что составляет уменьшение объема на 2 млн м³.

Площадь зеркала озера в настоящее время представляет собой пространства, на которых сапропель выходит на поверхность без покрывающего слоя воды, что составляет до 75-85 % акватории.

Необходимо отметить, что тенденция снижения уреза воды отмечается в озере последние 5-10 лет. На этот период приходится изменение условий хозяйственной деятельности отдельных водопользователей в водосборе озера.

Главной приходной частью водного баланса озера Червоное являются осадки. Их доля в общем балансе в среднем составляет 57 %. Остальные источники питания озера – впадающие каналы мелиоративных систем и естественные водотоки, самый крупный из которых – канава Тесна (н.с. Забродье) – 8 %. В современном состоянии расходная часть водного баланса озера формируется, в первую очередь, за счет стока Житковичского канала (59 %) и испарения (34 %).

Для определения величины дефицита водных ресурсов озера Червоное с учетом удовлетворения потребностей рыбхоза «Красная Зорька» и работы торфопредприятия выполнены расчеты водохозяйственного баланса для различных вариантов стока по элементам гидрографической сети.

Расчеты показали, что в настоящее время водохозяйственный баланс озера Червоного является отрицательным. Максимальный дефицит достигает 34,04 млн м³/год и наблюдается в летний период, когда потребность в подпитке прудов рыбхоза максимальная.

В сложившейся ситуации выявлен ряд экологических и экономических проблем. Это:

Заморы рыбы, уменьшение запасов рыбы.

Уменьшение объемов промышленного вылова рыбы в озере, полученной в естественных условиях без дополнительных экономических затрат.

Невозможность использования озера как рекреационного объекта, в первую очередь для любительского рыболовства.

Пожары на осушенных залежах сапропелей в пределах бывшей акватории озера.

Недостаток воды для водоснабжения прудов ОАО «Рыбхоз «Красная зорька».

Увеличение затрат на поддержание необходимого объема и качества воды в прудах рыбхоза.

Топография района и сложившаяся гидрографическая сеть не позволяют увеличить отвод воды в озеро Червоное с карт добычи торфа без устройства механической водоподачи.

Снижение качества леса вследствие затопления леса водой, откачиваемой с карт добычи торфа, переход лесных территорий в категорию заболоченной.

При дальнейшем снижении объемов воды в озере перечисленные выше проблемы будут только усугубляться.

Меры по улучшению экологического состояния озера Червоное

В 1998 г. разработано научное обоснование и ТЭО мероприятий по экологической реабилитации озерно-болотного комплекса Булев Мох – Червоное [3, 4]. Рассматривалось 3 варианта использования озера Червоное и его водосборной территории: природный, техногенный, природно-техногенный. Был обоснован и предложен к реализации комплексный вариант – «природно-техногенный».

Однако, для достижения положительного эффекта при реализации предложенного варианта не был выполнен ряд условий, изложенных в обосновании мероприятий:

- не произведены работы по увеличению водосбора озера;
- не зарегулирован уровенный режим озера до отметки 135,8 м;
- не разработаны нормативы водоотведения из озера и водопотребления озерной воды ОАО «Рыбхоз «Красная Зорька» в увязке с существующим водным балансом озера;
- не достигнут необходимый объем добычи сапропеля, что позволило бы увеличить необходимый объем запаса воды в озере.

В тоже время

- проведены затопления отработанных карт добычи торфа, что увеличило водную акваторию в бассейне озера;
- демонтирована насосная станция №1, перекачивавшая воду с карт добычи торфа в озеро Червоное;
- установлен единый сниженный уровень воды в озере и на затопленных картах, что исключает переток воды по единственному каналу, соединяющему их и озеро Червоное;
- отвод воды с действующих карт добычи торфа осуществляется по Строевому каналу мимо озера Червоное.

Анализ сложившейся гидрологической ситуации позволил наметить ряд мероприятий по решению экологических проблем озера Червоное. Перечень первоочередных мероприятий, состав работ и ожидаемый результат приведены в таблице.

Таким образом, для достижения увеличения объема водных ресурсов в озере Червоное предлагается осуществить ряд мероприятий в комплексе, направленных на восстановление водосборной площади озера, аккумуляцию водных ресурсов в озере и снижение отведения воды на нужды водопользователей.

Таблица – Перечень первоочередных мероприятий по улучшению экологического состояния озера Червоное

№ п/п	Наименование мероприятия	Состав работ	Ожидаемый результат
1	Восстановление отвода воды с отработанных карт торфодобычи торфплощадки «Булев Мох» в озеро Червоное	Проектирование и строительство подводящего канала и ограждающей дамбы к насосной станции №1 Восстановление насосной станции № 1 и сбросного канала (ОАО «Житковичский торфобрикетный завод»)	Восстановление водосборной площади озера Червоное
2	Оптимизация изъятия воды из озера Червоное для нужд ОАО «Рыбхоз «Красная Зорька»	Строго регламентированный отбор воды на нужды рыбхоза (разработка правил эксплуатации прудов в соответствии с запасами водных ресурсов в озере и потребностями в воде рыбхоза) Реконструкция прудов ОАО «Рыбхоз «Красная Зорька» Поддержание необходимой отметки на шлюзах Житковичского канала (ОАО «Рыбхоз «Красная Зорька»)	Аккумуляция необходимого запаса водных ресурсов в озере Червоное
3	Организация переброски части стока реки Случь через озеро Белое в особо маловодные периоды	Перекачка воды из р. Случь (ПМС Житковичский)	Поддержание необходимого запаса водных ресурсов в озере Червоное
4	Организация переброски части стока по Домановичскому каналу в озеро Червоное	Проектирование и строительство трассы для переброски воды в озеро Червоное через м.с. «Ракитня» (ПМС Солигорский)	Поддержание необходимого запаса водных ресурсов в озере Червоное
5	Прекращение стока по Озерному каналу в реку Бобрик	Реконструкция шлюзов для поддержания воды на отметке 136,0 м БС (ПМС Житковичский)	Аккумуляция необходимого запаса водных ресурсов в озере Червоное
6	Изменение системы водоотведения с эксплуатируемых карт торфодобычи торфплощадки «Булев Мох» в особо многоводный период	Организация отведения сточных вод с карт торфодобычи по Россошскому и Строевому каналам (ОАО «Житковичский торфобрикетный завод»)	Аккумуляция необходимого запаса водных ресурсов в озере Червоное
7	Отказ от расширения торфодобычи на месторождении торфа «Булев Мох» (северо-восточная часть)		Аккумуляция необходимого запаса водных ресурсов в озере Червоное. Предотвращение уменьшения водосборной площади озера Червоное, снижение поступления загрязняющих веществ с территории торфодобычи
8	Перепрофилирование системы использования мелиорированных земель на польдерных системах в бассейне озера	Использование мелиорированных сельскохозяйственных земель под многолетние травы	Увеличение поступления объемов вводы с мелиорированных земель в озеро Червоное, снижение объемов поступающих загрязняющих веществ
9	Контроль за соблюдением природоохранного законодательства	Выполнение требований законодательства по ведению хозяйственной деятельности в водосборе озера Червоное Контроль за поддержанием на шлюзах Житковичского и Озерного каналов отметки 136,0 мБС	Поддержание необходимых количественных и качественных характеристик водных ресурсов озера Червоное

Заключение

При существующей антропогенной нагрузке возможен максимальный дефицит водных ресурсов озера Червоное в размере 34,04 млн м³/год. Для создания благоприятной экологической обстановки в пределах водно-болотного комплекса Булев Мох-озеро Червоное требуется реализация мероприятий, обеспечивающих удовлетворение потребностей водопользователей с учетом недопущения при этом истощения водных ресурсов и ухудшения качества воды в озере Червоное. Единственным решением экологической проблемы озера Червоное является увеличение его водных ресурсов.

Основным источником пополнения водных ресурсов озера Червоное может стать сток за счет откачки воды от карт торфодобычи ОАО «Житковичский торфобрикетный завод». Расходная часть должна регулироваться путем снижения расхода воды в Житковичском канале. Причем объем воды в Житковичском канале должен быть не менее экологического стока 0,4 м³/с и объема, необходимого для удовлетворения потребностей в воде ОАО «Рыбхоз «Красная Зорька» – около 7,1 млн м³/год. Уровень затвора шлюза должен соответствовать отметке 136,0 м БС.

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.5. ч. 1, Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Л.: Гидрометеиздат, 1966 – 715 с.
2. Оценить современное состояние оз. Червоное Житковичского района и разработать комплекс мер по улучшению его экологического состояния в пределах водно-болотного комплекса Булев Мох-озеро Червоное: отчет о НИР / ЦНИИКИВР; рук. Рутковский П.П., Корнеев В.Н. – № ГР 20150770. – Минск, 2015. – 79 с.
3. Разработать научное обоснование и ТЭО мероприятий по экологической реабилитации озерно-болотного комплекса Булев Мох – Червоное (заключ.), книга 1: отчет о НИР / ИПИПРЭ НАН Б; рук. акад. Бамбалов Н.Н. – № ГР 1997861. – Минск, 1998. – 171 с.
4. Разработать научное обоснование и ТЭО мероприятий по экологической реабилитации озерно-болотного комплекса Булев Мох – Червоное (заключ.), книга 2: отчет о НИР / ИПИПРЭ НАН Б; рук. акад. Бамбалов Н.Н. – № ГР 1997861. – Минск, 1998. – 37 с.

УДК 556.55

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ РАСШИРЕНИЯ СЕТИ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЁМОВ

Кирвель И. И., Кукшинов М. С.

Поморская Академия, г.Слупск, Польша, kirviel@yandex.by

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск Беларусь, mikuk@yandex.ru

Small water reservoirs located in the hydrographic network are closely associated with their catchment area by elements of the water balance. Their hydrological regime to the greatest extent depends on the number regime and river outflow, which feeds the reservoirs.

В наше время хозяйственная деятельность становится важным фактором в изменении глобального водообмена. Если в начале XX столетия человечество потребляло 400 км³. воды в год, то ныне нам необходимо более 5 тыс.км ежегодно и потребность эта растёт. Такая картина наблюдается и в Беларуси. Так

где же брать воду? Одной из задач комплексного использования местного стока является строительство прудов и водохранилищ. В мире только в водохранилищах в год накапливается несколько сотен км воды. Каждый год в мире водопотребление возрастает на 90 км³, причём всё большая часть воды изымается надолго из его естественного круговорота. Она аккумулируется в водохранилищах и прудах, испаряется с их поверхностей и с поливных полей, увеличивая атмосферные осадки. В перспективе, по данным Белгипроводхоза, площадь орошаемых земель в Беларуси должна составить около 530 тыс.га. Для этого потребуется около 950 млн. м³ и 1300 млн. м³ воды в маловодные годы 75 % и 95 % обеспеченности соответственно. Забор воды из прудов составит около 300 млн. м или 25 % общего объёма водопотребления в год 95 % обеспеченности. Для этих целей предусматривалось создание только около 1750 единиц прудов, полезным объёмом 700 млн. м³ и площадью водного зеркала около 42 тыс га. На основании водохозяйственных расчётов установлено, что для орошения 100 га овощей необходим пруд объёмом 200-220 тыс.м³ (Масловский и др., 1975). В 2014-2015 гг. рыбхозы республики испытывали большой дефицит воды. Поэтому расчет наполнения водоёмов требует научного обоснования. Изменения климата ставит перед человечеством задачу более разумного применения воды, внедряя безводные и беззатратные технологии, лимит её использования, предотвращение от загрязнений и усовершенствование технологий очистки сточных вод, многочисленных потерь при транспортировке и т. д.

В наполнении прудов, помимо стока водотоков и склонового стока с прилегающего водосбора, участвуют атмосферные осадки, выпадающие на зеркало пруда, подземные воды, а при хозяйственном использовании прудов еще имеет место сброс сточных вод в пруды и подкачка дополнительного количества воды для поддержания уровня воды в них. Все эти источники составляют приходную часть водного баланса прудов, уравнение которого имеет вид:

$$P_o + P_b + P_p + O + P_v = C + I + \Phi + Z \pm \Delta v \pm H, \quad (1)$$

где P_o – приток воды из основного водотока; P_b – приток воды на участке пруда с прилегающих склонов, из водотоков; P_p – приток подземных вод; O – осадки на зеркало; P_v – подача в пруд дополнительного количества воды; C – сброс воды; I и Φ – соответственно потери воды на испарение и фильтрацию; Z – забор воды из пруда на хозяйственные нужды; Δv – изменение запаса воды в водоеме; H – невязка баланса.

В уравнение (1) не включены ледовые составляющие, так как весенний подъем уровня воды в прудах происходит еще при ледоставе и оседания льда на берегах не происходит.

Сток малых водотоков (площадью водосбора менее 5-10 км²), наполняющих пруды, изучен очень слабо и основные сведения о нем относятся к воднобалансовым станциям. Согласно «Ресурсам...» (1966), сток рек с площадью водосбора менее 50 км² отличается от такового более крупных рек. Например, среднемноголетний сток в бассейне р. Березины изменяется от 7,0 до 4,0 л/(с·км²), а сток рек с площадью водосбора менее 50 км² в среднем равен 6,7 л/(с·км²). Также наблюдается в бассейне других рек: в бассейне р. Сож соответственно 6,5-4,0 л/(с·км²) и 6,8 л/(с·км²), в бассейне р. Птичь – 7,0-4,0 и 6,3 л/(с·км²) и т.д. Поэтому воспользоваться картой стока рек для оценки стока малых водотоков нельзя. Ближе по величине к стоку малых водотоков будет весенний сток рек, в формировании которого участвуют в основном поверхностные воды. В северной части республики (севернее линии Минск – Могилев) его величина равна 100-120 мм, а в южном – 50-100 мм.

Исследования института озераведения РАН на малых водотоках (площадью менее 2 км²) Латгальской возвышенности, природные условия на которой сходны с таковыми Белорусского Поозерья, показали, что годовой сток водотоков изменялся в зависимости от характера гидрографической сети, площади водотоков и их использования. Годовой слой стока естественных водотоков составлял 51-115 мм (1,6-3,8 л/(с·км²)), канализированных – 21-160 (0,7-5,1 л/(с·км²)), старых дренажных каналов – 64-69 мм, новых – 195-460 мм. Слой годового стока увеличивался с ростом площади водосбора водотока, характеризующей степень дренирования водотоком грунтовых вод. Влияние площади водосбора на сток более всего проявляется в зимний, летний и осенний сезоны ($r > 0,8$), когда возрастает роль грунтового питания в формировании стока водотоков. Ручьи, вытекающие из озер, имели больший сток по сравнению с притоком озер (3,6-9,0 л/(с·км²)). Весной в ненарушенных ручьях проходило 64-90% годового стока, а в канализированных – 66-100%. Годовой сток ручьев был несколько меньше такового реки-аналога (5,4 л/(с·км²)) с площадью водосбора 99 км². Изучение формирования стока на водосборе малых водотоков представляет самостоятельную задачу и требует организации ландшафтных исследований водосборов и измерения расходов в створах, замыкающих ландшафтно-гидрологический участок (Прыткова, Великорецкая, 1991).

При воднобалансовых исследованиях прудов сток основного водотока измеряется, а склоновый сток с прилегающего водосбора определяется методом водного баланса, составленного для дней, когда выпадали осадки, а подъем уровня воды в прудах превышал их величину (Прыткова, 1981).

Основное поступление воды в пруды из водотоков происходит весной, когда на малых реках с площадью водосбора менее 100 км² в разных частях республики происходит от 40 до 72% годового стока (Ресурсы..., 1966). О значительной неравномерности распределения стока в году на малых реках можно заключить на основе сопоставления расходов воды в период весеннего половодья и летом. Так, на р. Гуйка у Радошковицей с площадью водосбора 97 км² и длиной 18 км весенний сток достигал 25,3 м³/с, а летом был в 211 раз меньше (0,12 м³/с). То же самое на р. Поросица у г. Горки (площадь водосбора 86 км², длина 24 км) весенний расход (25,5 м³/с) был в 410 раз больше летнего (0,062 м³/с). На реке Кривлянка (площадь водосбора 113 км², длина 19,3 км) при годовом слое стока 203 мм на весну приходится 37-40 % годового стока, на лето-осень – 39-42 % и на зиму – 18-27 % (Шишонок и др., 2002). На малых реках с малым годовым стоком распределение стока в году еще более неравномерное (рисунок 1) и зависит от погодных условий зимы и весны. Поэтому в определенные годы половодье может не сформироваться (Кирвель, 2005).

В летний период многие из малых рек пересыхают, что обуславливает необходимость аккумуляции весеннего стока в прудах с целью его дальнейшего использования в маловодный период. В Полесье отсутствие стока наблюдалось на реках с площадью водосбора 11-1280 км² (Волчек, Калинин, 2002).

Пруды наполняются грунтовыми водами из постоянных водоносных горизонтов в берегах и водой родников. Периоды, когда пруды получают грунтовое питание можно установить на основе совместного анализа графиков хода уровня прудовых и грунтовых вод (Прыткова, 1981, 1988). Величину грунтового питания могут характеризовать невязки водного баланса за период, когда уровень грунтовых вод стоял выше уровня воды в пруду. По свидетельству многих авторов, грунтовые воды заполняют 25-35% объема прудов (Сухарев, 1976; Смольянинов, 1972).

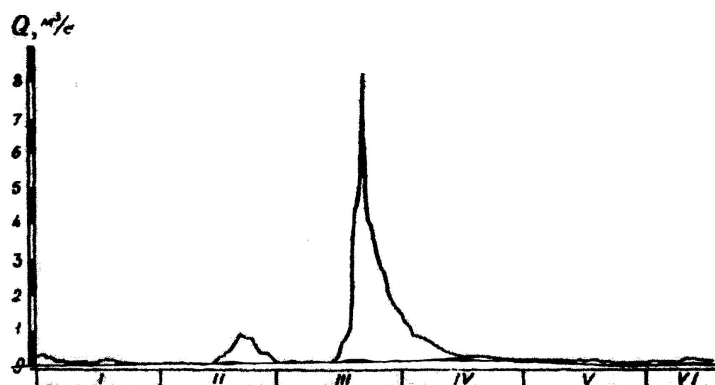


Рисунок 1 – Гидрограф р. Волга – в.п. Ильковичи ($r = 153 \text{ км}^2$) в средний по водности год

Грунтовое питание рек можно характеризовать величиной минимального месячного стока, который на одних реках наблюдается зимой, на других – летом и составляет от 14 в бассейне р. Припяти до 51 % от годового в западной части республики. При воднобалансовых расчетах пруда грунтовое питание с прилегающего водосбора можно принять равным минимальному стоку питающего пруд водотока.

Не последнюю роль в питании прудов играют родники. Небольшой родник, дебит которого в течение летне-осеннего периода составлял 0,4-1,6 л/с, давал в год 30-40 тыс. м³ воды, что в два раза превышало объем ниже расположенного пруда (Прыткова, 1981). Осадки на зеркало пруда принимаются по показаниям береговой метеостанции. При заполнении прудов во время весеннего половодья важно, чтобы объем изъятия местного стока не нарушил экологические условия в нижнем бьефе прудов. Для этого необходимо рассчитать эксплуатационные ресурсы, сохранив природоохранный расход, в качестве которого принимают расход воды, соответствующий отметке выхода воды на пойму (Фашевский, 1989; Тараканова, 1993). Обеспеченность таких расходов зависит от расположения водоема в той или иной природной зоне (таблица 1).

Таблица 1 – Осредненные значения обеспеченности расходов воды в реке при начальном затоплении поймы (по Таракановой, 1993)

Площадь водосбора, км ²	Природная зона			
	Степная	Лесостепная	Лесная	Горно-таежная
<500	3	15	50	40
500-1000	15	45	35	35
>1000	15	50	30	30

Эксплуатационный (экологически допустимый) объем изъятия местного стока определяется по разности между естественным и природоохранным стоком, т.е.

$$WЭ = WE - WП.С., \quad (2)$$

где $WЭ$ – эксплуатационные ресурсы, WE – естественный сток, $WП.С.$ – природоохранный сток.

Значения объемов природоохранного стока в период весеннего половодья приведены в таблице 2.

Из таблицы следует, что природоохранные объемы стока растут вместе с увеличением естественного стока, т.е. при переходе из степной зоны в лесостепную. В лесной зоне при площади водосбора 20 км² и величине природоохранного стока 4 млн. м³ (или 2,6 л/(с·км²)) по всей территории Беларуси есть свободные для эксплуатации расходы воды.

Таблица 2 – Объемы природоохранного стока ВП.С. в период половодья (млн. м³) (по Таракановой, 1993)

Площадь водосбора, км ²	Природная зона			
	Степная	Лесостепная	Лесная	Горно-таежная
20	0,5	0,5-4	0,5-4	4-20
50	0,8-13	1-13	3-17	7-40
100	2-10	5-19	10-42	15-82
200	3-14	5-30	15-70	15-165
500	6-25	10-100	30-200	30-340
1000	20-94	20-250	80-500	140-800
2000	20-140	70-400	90-800	200-1600

Насыщенность прудами отдельных водотоков Беларуси сопоставима с таковой в степных районах России. Поэтому пруды Беларуси имеют не только хозяйственное значение, но и как гидрологические объекты в той или иной степени воздействуют на прилегающую территорию и изменяют сток малых водотоков.

Принято считать, что пруды уменьшают сток водотоков, на которых они расположены, за счет разницы между испарением с суши и с водной поверхности пруда. Однако уже первые воднобалансовые исследования малых озер и прудов лесной зоны (Прыткова, 1988; Прыткова, Широков, 1992) показали, что сброс воды из водоемов превышает сток водотока выше водоема. Следовательно, на участке этих водоемов происходит не уменьшение, а увеличение стока за счет таких элементов приходной части водного баланса, как боковая приточность, осадки на зеркало, приток грунтовых вод. Более того, по длине водотока при каскадном размещении прудов происходит увеличение стока в связи с поступлением фильтрационных вод из выше расположенных прудов (Барбар, 1968; Прыткова, 1971, 1981). Поэтому рекомендуемый для оценки влияния прудов на сток коэффициент уменьшения стока (Методические указания..., 1958) фактически отражает только влияние заполнения прудов на сток, но недействительное изменение стока на участке пруда. Его значение вычисляется по формуле:

$$R = 1 - \frac{W}{Q_e} = 1 - \frac{W}{W + Q_3} = \frac{Q_3}{Q_e} \quad (3)$$

где Q_e – объемы естественного стока, млн. м³; Q_3 – объемы наблюдаемого зарегулированного стока, млн. м³; W – объем ежегодных изъятий из естественного стока, приравненный к общему объему прудов, млн. м³.

Объем задержанного прудами стока оказывает наибольшее влияние на сток р. Припяти, для которой относительная емкость водоемов (отношение объема прудов к объему стока) в зависимости от водности года составляет 2,96-8,25 % и увеличивается с уменьшением последней (таблица 3). Другой рекой является Зап. Буг, где также заметно влияние наполнения прудов на сток рек ($W/Q_e = 2,30-4,44$ %). Пруды на других реках изымают из стока менее 1 % в многоводный год и несколько больше – в маловодный.

Зарегулированность в бассейнах Днепра и Немана определяется прудами колхозно-совхозного сектора и составляет соответственно 23 и 16 % от общего объема прудов в республике. В бассейнах Западной Двины и Западного Буга водорегулирующего значения пруды практически не имеют. Зарегулированность составляет 6 и 8 % от общей зарегулированности прудами по республике соответственно и определяется прудами рыбхозов, что обусловлено наличием многочисленных озер, рек и водохранилищ в бассейнах.

Таблица 3 – Показатели зарегулированности местного стока прудами

Характеристики	Бассейны					В целом по Беларуси
	Зап. Двины	Немана	Зап. Буга	Днепра	Припяти	
Общий объем, млн. м ³	34,39	86,97	40,03	129,72	263,29	560,4
Годовой объем стока (млн. м ³) обеспеченностью						
25%	8280	10300	1740	13600	8870	42790
50%	7010	9260	1430	11600	6970	36270
95%	4270	6680	900	7350	3190	22390
Относительная емкость водоема (%) при стоке обеспеченностью						
25%	0,41	0,84	2,30	0,95	2,96	1,30
50%	0,49	0,93	2,80	1,12	3,78	1,54
95%	0,80	1,30	4,44	1,76	8,25	2,50
Коэффициент уменьшения годового стока (%) обеспеченностью						
50%	1,00	0,99	0,97	0,99	0,97	0,99
95%	0,99	0,99	0,96	0,99	0,93	0,98

Относительная емкость прудов является показателем фактически возможного изъятия поверхностного стока (Воскресенский, 1956), в целом по республике составляет в средний по водности год 1,54 % а в маловодный – 250 % (Кирвель, 1979, 1992, 2004). В ряде верховьев рек Полесья зарегулированность достигает 15-25 % их годового объема стока (верховье р. Птичь, Лань, Случь, Ореса и др.) (Широков, Гриневич, Заремба, 1983).

Учитывая малую зарегулированность местного стока прудами, можно утверждать, что дальнейшее строительство прудов с сезонным регулированием стока возможно на всей территории Беларуси. Из общего объема среднегодового местного стока – 36,4 км³ в прудах задерживается 0,56 км³ (1,5%), в водохранилищах – 2,65 км³ (6,7%). Если принять во внимание, что на поддержание санитарных расходов в реках, согласно нормам охраны природы, необходимо 12 км³ стока, то фонд искусственных водоемов можно увеличить в несколько раз (Широков, Кирвель, 1987). Однако суммарная емкость искусственных водоемов в бассейне малой реки не должна превышать 70 % объема годового стока 95 % обеспеченности (Булавко, Плужников, 1982). При спусках в нижний бьеф в меженный период не допускается повышение уровня воды в реке более, чем на 30 см с целью недопущения процесса переработки русла. При этом природоохранный расход в реке должен быть не менее 75-80 % минимального среднемесячного расхода 95 %-ной обеспеченности (Широков, Плужников, 1981; Kirvel и др.) Для предотвращения уменьшения минимального стока малых рек необходимо устройство водоемов с интервалом между регулируемыми сооружениями (Кирвель и др., 1989; Кирвель, 1998; Фацевский, 1989). При этом полное прекращение стока малой реки – явление недопустимое. Для его предотвращения необходимы попуски из прудов в межень, поддерживающие проточность малой реки и улучшающие ее санитарное состояние. Сохранение в реках 75-100 % минимальных суточных расходов 95 % обеспеченности (в естественных условиях) позволяет удовлетворительно учитывать интересы охраны природы (Кирвель, 1980; Фацевский, 1989; Шахов, Черняк, 2000).

Список литературы

1. Барбар, Я.Л. Исследование гидрологического режима водоемов на местном стоке в условиях моренно-холмистого рельефа Латвийской ССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук / Я. Л. Барбар. – Елгава, 1968. – 24 с.
2. Булавко, А.Г., Плужников, В.Н. Использование водных ресурсов Белоруссии в сельском хозяйстве / А. Г. Булавко, В. Н. Плужников. – Минск, 1982. – 103 с.

3. Волчек, А.А., Калинин, М.Ю. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск: Изд. центр БГУ, 2002. – 440 с.
4. Воскресенский, К.Л. Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на малых реках, ручьях и временных водотоках / К. Л. Воскресенский. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 468с.
5. Кирвель, И.И. Влияние прудов на местный сток в Белорусской ССР // Комплексное использование водных ресурсов / И. И. Кирвель. – М., 1979. – Вып. 7. – С. 84-88.
6. Кирвель, И.И. Влияние прудов на местный сток в республике Беларусь // Технологические аспекты преобразований географической среды / И. И. Кирвель. – Дебrecен-Сосновец, 1998. – С.67-72.
7. Кирвель, И.И. Пруды как антропогенные водные объекты, их особенности и режим / И. И. Кирвель. – Минск, БГПУ, 2005. – 234
8. Кирвель, И.И., Лопух, П.С., Широков В.М. Благоустройство малых водосборов искусственными водоемами / И. И. Кирвель, П. С. Лопух, В. М. Широков. – Минск: Изд-во Бел НИИТИ, 1989. – 61 с.
9. Kirvel, I., Volchak, A., Kukszynov, M., Ocena regulacji odpływu rzek Białorusi za pomocą sztucznych zbiorników. Gdańsk, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego 2014, s. 212-219.
10. Методические указания управлениям Гидрометслужбы №50. – Л., 1958. – 34 с.
11. Прыткова, М.Я. Гидрологический режим водотоков бассейна р. Томузловки // Заилнение водохранилища «Волчьи Ворота» и цепочек прудов на его водосборе / М. Я. Прыткова. М.: Наука, 1971. – С. 34-76.
12. Прыткова, М.Я. Осадконакопление в малых водохранилищах / М. Я. Прыткова. Л.: Наука, 1981. – С. 152.
13. Прыткова, М.Я. Гидрологический режим озер // Изменение структуры экосистем озер в условиях возрастающей биогенной нагрузки. – Л.: Наука, 1988. – С. 55-70.
14. Прыткова, М.Я., Великорецкая, Н.И. Ландшафтно-гидрологический подход к изучению стока с водосборов малых озер // Антропогенные изменения экосистем малых озер (причины, последствия, возможности управления): Материалы Всесоюзного совещания / М. Я. Прыткова, Н. И. Великорецкая. – С-Пб., 1991. – Книга 1. – С. 108-111.
15. Прыткова, М.Я., Широков, В.М. Влияние малых водохранилищ и прудов на гидрологический режим водотоков и прилегающую территорию // Водные ресурсы / М. Я. Прыткова, В.М. Широкова. – 1992. – №5. – С. 138-145.
16. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т.5. – Ч. 1-2. – 719 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – Т.5. – Ч. 1-2. – 1108 с.
18. Смольянинов, В.И. Комплекс водорегулирующих мероприятий для борьбы с эрозией и искусственного наполнения подземных вод в условиях Центрально-Черноземных областей / В.И. Смольянинов. – Воронеж, 1972. – 126 с.
19. Сухарев, И.П. Регулирование и использование местного стока / И.П. Сухарев. – М.: Колос» 1976. – 272 с.
20. Тараканова, В.В. Резервы изъятия стока малых рек в весенний период // Мелиорация и водное хозяйство / В.В. Тараканова. – 1993. – №2. – С. 23-24.
21. Фащевский, Б.В. Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока / Б.В. Фащевский. – Минск: ЦНИИКИВР, 1989. – 22 с.
22. Шахов, И.С., Черняк, В.Я. Экологические ограничения использования стока рек // Мелиорация и водное хозяйство / И.С. Шахов, В.Я. Черняк. – 2000. – №2. – С. 37-38.
23. Широков В.М., Гриневич А.Г., Зарембо, Т.Д. и др. Вопросы использования и создания водохранилищ в Полесье // Проблемы Полесья / В.М. Широков, А.Г. Гриневич, Т.Д. Зарембо. – Минск: Наука и техника, 1983. – Вып. 8. – С. 262-271.
24. Широков, В.М., Кирвель, И.И. Пруды Белоруссии / В.М. Широков, И.И. Кирвель. – Минск: Ураджай, 1987. – 126 с.
25. Широков, В.М., Плужников, В.Н. Водные ресурсы Белоруссии и пути их использования. Влияние хозяйственной деятельности на природу Белоруссии / В.М. Широков, В.Н. Плужников. – Минск, 1981. – С. 6-14.
26. Шишонок, Н.А., Чижиков, Ю.А., Савчик С.Ф. и др. Особенности функционирования малых речных систем Беларуси (на примере р. Кревлянка) // Прикладная лимнология / Н.А. Шишонок, Ю.А. Чижиков, С.Ф. Савчик. – 2002. – Вып. 3. – С. 76-81.

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ РЕК БЕЛАРУСИ И ВЬЕТНАМА

Колобаев А. Н., Фам Нгок Киен

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, aletin@list.ru

Main principles of integrated water management in small rivers of Belarus and Vietnam, which are different by the intensive development of irrigation and limited water resources.

Введение

Прогнозируемое изменение климата [1] и растущие требования эколого-безопасного водопользования [2] определяют целесообразность строительства и эксплуатации водохозяйственных комплексов (ВХК) не только в бассейнах больших и средних рек, но и в водосборах малых рек, особенно при интенсивном использовании их водных ресурсов и сравнительно высокой вероятности затоплений территорий в отдельные годы и периоды. Поэтому целью настоящей работы является обоснование состава и основных параметров водохозяйственного комплекса применительно к бассейнам малых рек Республики Беларусь и Социалистической Республики Вьетнам. Под «основными параметрами» подразумеваются: емкость водохранилища комплексного назначения, площади земель, орошаемых за счет регулирования речного стока, объемы воды, подаваемой на нужды орошения, водоснабжения населения, промышленности и рыбного прудового хозяйства, а также попуски воды в нижний бьеф водохранилища для охраны природы, рекреации, любительского рыболовства, предотвращения затоплений и подтоплений пойм и прилегающих территорий. Для достижения поставленной цели решались задачи по определению условий формирования состава водохозяйственного комплекса, выбору или разработке новых методов оптимизации основных параметров ВХК с учетом реальных возможностей информационного обеспечения процесса принятия решений, формулированию условий применения предлагаемых методов.

Обоснование состава водохозяйственного комплекса

Несмотря на различия климатических и физико – географических условий Республики Беларусь и Социалистической Республики Вьетнам основные характеристики водных ресурсов и потребностей в воде (в их относительном выражении) имеют много общего. Во-первых, потребности в воде на орошение зависят от выпадающих осадков и, как показано в [3,4,5,6], не только статистически, но и физически связаны с величинами речного стока, во-вторых распределение (по годовым и месячным интервалам времени) речного стока малых рек примерно одинаково [5]. Кроме того, в бассейнах рек Беларуси и Вьетнама достаточно высока вероятность затоплений ценных пойменных земель и прилегающих к ним территорий.

На малых реках воздействие хозяйственной деятельности, как правило, проявляется четко и в сравнительно короткие сроки. В большинстве случаев оно зависит от деятельности лимитирующего водопользователя, являющегося ведущим участником ВХК. Применительно к бассейнам малых рек режим может быть:

- орошение;

- рыбное прудовое хозяйство;
- водоснабжение промышленности, городского и сельского хозяйства (с забором воды не только из рек, но и подземных источников, гидравлически связанных с реками);
- борьба с наводнениями (предотвращение длительных затоплений пойм с плодородными почвами и других земель за пределами пойм);
- обеспечение минимальных расходов воды в руслах рек для охраны природы, рекреации, любительского рыболовства, водного туризма, сохранения реки как ландшафта природы, а в исключительных случаях и для разбавления отводимых в реку сточных вод, которые по объективным причинам временно не могут быть очищены до нормативных значений.

Судоходство и лесосплав на малых реках как в Беларуси, так и во Вьетнаме не осуществляется. Гидроэнергетика может быть участником ВХК, но не ведущим, поскольку в Беларуси, особенно в Полесье, создание ГЭС на малых реках практически невозможно (по морфометрическим характеристикам), а во Вьетнаме малые ГЭС в наиболее благоприятных створах уже построены: к настоящему времени введено в эксплуатацию 473 малых ГЭС из запланированных 1239. В 2013 году Парламентом Вьетнама принято постановление [7], согласно которому из списка планируемых исключено 424 проекта, а для строительства остальных 342 ГЭС требуется дополнительное экономическое обоснование с учетом экологических и социальных условий. Строительство новой ГЭС может оказаться выгодным при ее включении в состав водохозяйственного комплекса малой реки.

Рыбное прудовое хозяйство не является лимитирующим участником ВХК, так как наполнение рыбоводных прудов производится в многоводные периоды. Требования рыбного прудового хозяйства, как правило, не противоречат требованиям других участников ВХК. Во Вьетнаме этот вид водопользования менее актуален, так как основной улов рыбы производится в море и в устьях больших рек, а пресноводные рыбы выращиваются не только в наливных прудах, но и в рисовых чеках.

Следовательно, в бассейнах малых рек как Беларуси, так и Вьетнама в зависимости от гидрологических, физико-географических, социально-экономических и других местных условий ведущим (лимитирующим) участником ВХК реально может быть: 1) орошение, 2) водоснабжение, 3) охрана природы и 4) борьба с наводнениями. При этом борьба с наводнениями даже в большей степени, чем рыбное прудовое хозяйство не является конкурентом первых трех водопользователей. Наоборот, создание водохранилищ для срезки пика катастрофических расходов воды дает возможность увеличить подачу воды из верхнего бьефа и попуск воды в нижний бьеф водохранилища в интересах других водопользователей.

Основополагающим связующим звеном между участниками ВХК является водохранилище, осуществляющее перераспределение речного стока во времени согласно требованиям водопользователей. Именно с помощью стокорегулирующих водохранилищ и русловых прудов (те же водохранилища, но меньшего объема) появляется возможность обеспечить противоречивые требования различных участников ВХК. Поэтому определение пределов эффективного регулирования речного стока является важнейшей задачей водохозяйственного планирования и проектирования. Не случайно, начиная со второй половины прошлого столетия [8], и до наших дней [9,10,11,12] оптимизации полезной емкости водохранилищ комплексного назначения уделяется пристальное внимание. К настоящему времени разработано большое количество корректных в теоретическом плане экономико–математических моделей [9,10,11]. Однако их внедрение сдерживается вследствие отсутствия или недопустимо высокой

погрешности необходимых для оптимизации исходных данных и прежде всего данных о зависимостях экономических показателей от водохозяйственных параметров. В этих условиях целесообразно использование общих принципов установления основных параметров ВХК в зависимости от планируемых целевых водохозяйственных показателей, учитывающих требования всех водопользователей, а также внеэкономических критериев оптимизации.

Требования охраны природы сводятся к установлению минимально необходимых расходов (объемов) воды в реке для экологических и других вышеупомянутых целей. Обоснование этой величины практически представляет собой нахождение компромисса между экологией и экономикой. Ее решение зависит от того, сколько средств то или иное государство реально способно потратить на экологические мероприятия для гарантии устойчивого социально-экономического развития. Совершенно очевидно, что эта задача должна решаться на государственном уровне, а не на стадии планирования управлением конкретного речного бассейна, тем более малого. Ее решению посвящено огромное количество научных работ во многих странах мира. В конечном итоге по результатам этих работ разрабатываются и утверждаются национальные нормативы и стандарты. В большинстве стран мира величина минимально необходимого расхода воды, оставляемого в руслах рек, принимается в процентах от расчетных гидрологических характеристик в лимитирующие периоды времени. В Республике Беларусь для летнего периода этот норматив установлен в размере 75 % от минимального месячного речного стока 95%-ой обеспеченности, а в Социалистической Республике Вьетнам – равным среднему расходу воды сухого (маловодного) сезона года 90%-ой обеспеченности. При обосновании оптимальной емкости водохранилищ это требование является обязательным и должно учитываться как жесткое ограничение.

Требования коммунально-бытового и промышленного водоснабжения характеризуются двумя основными планируемыми (или прогнозируемыми) параметрами: объем забора речных вод и ущерб (уменьшение) речного стока вследствие забора подземных вод, гидравлически связанных с речными [13]. Потребности в воде городского и сельского населения определяются на основе укрупненных удельных показателей на одного жителя. Эти потребности удовлетворяются в первую очередь, считаются заданными, подлежащими безусловному выполнению. Потребности в воде на нужды промышленности, определяемые в зависимости от удельных показателей на единицу продукции, объема этой продукции, водохозяйственных балансов предприятий или статистических данных о водопотреблении рассматриваемых и аналогичных предприятий, в принципе могут быть переменными (в сравнительно небольших пределах изменяться в большую или меньшую сторону). Однако на практике это трудно осуществимо по причине отсутствия достоверной информации об экономических (а иногда и социальных) последствиях недовыпуска промышленной продукции, а тем более ее выпуска в увеличенном объеме. Поэтому в оптимизационных расчетах требования водоснабжения, как и требования охраны природы, следует учитывать в виде ограничений.

Требования борьбы с наводнениями зависят от допустимой степени риска, которая подлежит серьезному экономическому обоснованию, что представляет собой отдельную крупную проблему, решаемую за рамками настоящей работы. Необходимый для борьбы с наводнениями объем водохранилища определяется из условия недопущения превышения заданных (по экологическим и другим ограничениям) уровней воды в нижнем бьефе при прохождении паводка расчетной обеспеченности. При обосновании полезного объема водохранилища комплексного назначения целесообразно проанализировать не один, а несколько вариантов аккумуляции воды в водохранилище с целью срезки пика

паводка. В частности, предлагается рассматривать следующие варианты обеспеченности (вероятности превышения) максимальных расходов воды в расчетный период паводка:

1) речной сток 5%-ой обеспеченности, величина которого чаще всего используется как в Беларуси, так и во Вьетнаме при планировании мероприятий по защите территорий от наводнений;

2) речной сток 10%-ой обеспеченности и соответственно практически минимальная величина объема водохранилища, достаточная при проведении комплексных мероприятий по борьбе с наводнениями, включающих, например, строительство дамб обвалования [15];

3) речной сток 1%-ой обеспеченности, рекомендуемый в особо ответственных случаях, когда затопления территорий могут привести к гибели людей или серьезным экологическим последствиям.

Естественно, необходимый для борьбы с наводнениями полезный объем водохранилища (установленный применительно к одному из вышеупомянутых вариантов) является минимальным для ВХК и может быть выше для удовлетворения требований других водопользователей.

По величине безвозвратного водопотребления из всех участников ВХК первое место в большинстве стран мира занимает орошение. Например, во Вьетнаме на нужды орошения используется более 80 % от общего количества используемой воды. Вьетнам – второй по величине мировой экспортер риса. В структуре водопользования Республики Беларусь долевое участие орошения значительно ниже. Однако в бассейнах малых рек Белорусского Полесья доля орошения может превышать 40 % [16], а в связи с прогнозируемыми сценариями изменения климата [1] этот процент будет только увеличиваться. Потребности в воде на нужды орошения определяются на основе данных о планируемых площадях орошаемых земель, составе сельскохозяйственных культур и нормах орошения по каждой культуре. При сопоставлении вариантов развития орошаемого земледелия можно ориентироваться на доминирующую культуру (например, рис во Вьетнаме). Тогда требуемые для орошения объемы воды могут определяться в зависимости от площадей орошаемых земель, которыми можно варьировать. Соответственно изменению площадей орошения изменяется величина подачи воды на орошение, от которой зависит объем водохранилища. Минимальное его значение определяется, исходя из обязательных требований других вышеупомянутых участников ВХК, а максимальное – с учетом предотвращения переработки русл малых рек [17]. В пределах этого диапазона находится оптимальное значение, соответствующее принятому критерию оптимальности. Вопросы оптимизации емкости водохранилища комплексного назначения и площадей орошаемых земель (в пределах площадей, пригодных для орошения) рассматриваются в отдельном докладе одного из авторов данной работы.

Таким образом, обоснование состава ВХК в бассейнах малых рек предлагается производить в следующей последовательности:

1) на планируемый расчетный период, который в принципе должен быть увязан со стратегией или планом общегосударственного социально-экономического развития, определяются потребности в воде населения, промышленности и (при необходимости) рыбного прудового хозяйства, а также объемы воды, оставляемые в руслах рек для охраны природы, обеспечения выполнения межгосударственных соглашений, рекреационных и других целей;

2) для расчетного маловодного года составляются водохозяйственные балансы [19] (за год в целом, каждый месяц, а во Вьетнаме, при наличии соответствующих исходных данных, и за декаду вегетационного периода) по бассейну реки или ее расчетному створу, за который принимается плотина водохранилища, нижняя граница города или промышленного центра:

3) по результатам составления водохозяйственных балансов определяется размер дефицита или избытка воды и производится расчет полезной и соответственно полной емкости водохранилища для покрытия расчетного дефицита воды, а при избытке воды производится расчет площади орошаемых земель за счет естественного речного стока;

4) на основании гидрографа максимального расчетного стока и требований недопущения превышения уровней воды в период половодья или паводка устанавливается необходимый объем аккумуляции речного стока в водохранилище для срезки пика катастрофических расходов воды; если этот объем меньше полезного объема, необходимого для покрытия расчетного дефицита воды, то он принимается равным вычисленному по п.3;

5) варьируя значениями полезной емкости водохранилища и площадей орошения в интервале их минимальных и максимальных значений (определенных с учетом пп. 3 и 4) вычисляется предложенный в [18] критерий оптимальности, минимальное значение которого будет соответствовать оптимальной емкости водохранилища и оптимальной площади орошения.

Заключение

Приведена общая схема обоснования состава ВХК с учетом особенностей малых рек Вьетнама и Беларуси, в которых лимитирующим водопользователем является орошение. Показано, что большинство параметров ВХК, определяемых согласно действующим национальным стандартам, являются ограничительными условиями для оптимизации важнейших параметров: емкости водохранилища комплексного назначения и площади орошаемых земель.

Предложенный в [18] критерий оптимизации в виде отношения суммы естественного и регулируемого речного стока на единицу орошаемой площади реализуем при отсутствии достоверной исходной экономической информации.

При наличии достоверных исходных данных о технико-экономических показателях состав и основные параметры ВХК оптимизируются по стандартному критерию минимума дисконтированных затрат или максимума дохода за планируемый интервал времени.

Список литературы

1. Логинов, В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата. Причины и следствия :В.Ф. Логинов. – Минск. Тетра Системс, 2008.– 240 с.
2. Яцык, А.В. Водогосударська екологія: у 4 т., 7 кн. – К : Генеза, 2004. - Т. 4.– Кн. 6–7. – 680 с.
3. Лихацевич, А.П. Сельскохозяйственные мелиорации / А.П. Лихацевич, М.Г. Голченко, Г.И. Михайлов; под ред. А.П. Лихацевича, - Минск : ИВЦ Минфина, 2010. – 464 с.
4. Методика определения режима орошения культур – Продовольственная сельскохозяйственная организация ООН –Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations FAO, Rome, Italy. 1998. – 280 с.
5. Фам Нгок Киен. Обоснование объемов и режимов подачи воды на орошение в зависимости от стока рек предгорных районов Вьетнама. – Наука и техника. – 2015, № 2. – С. 61-66.
6. Волчек, А.А., Шешко, Н.Н. Оценка экологического стока реки Ясельда в створе водохранилища Селец: материалы Международной научно – практической конференции «Современные проблемы очистки сточных вод и охраны ресурсов поверхностных вод в Приграничье». – Брест, 24-25 сентября 2015, с. 12-2.
7. Постановление Парламента Вьетнама: Решение об усилении управления, планирования, строительства, эксплуатации гидроэнергетики - номер: 62/2013 / QN13 // Официальное сообщение - № 1007 + 1008 / Дата 30-12-2013 // с. 67-70

8. Проектирование схем комплексного использования водных ресурсов. Перевод с англ. – М.: Энергия, 1966. – 334 с.
9. Воропаев, Г.В., Исмаилов, Г.Х., Федоров, В.М. Моделирование водохозяйственных систем аридной зоны СССР. – М. Наука, 1984. - 313 с.
10. Косолапов, А.Е. Совершенствование процесса управления водными ресурсами бассейна реки на основе автоматизированных информационно – советующих систем. Автореферат докторской диссертации. – Екатеринбург: РосНИИВХ, 1996. –34 с.
11. Пряжинская, В.Г., Ярошевский, Д.М., Левит-Гуревич, Л.К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. – М : Физматлит. 2002. – 496 с.
12. Вода России. Экономико-правовое управление водопользованием. Под ред. А.М. Черняева. – Екатеринбург : Аква-пресс, 2000. – 408 с.
13. Черепанский, М.М. Гидрогеологические прогнозы влияния отбора подземных вод на речной сток // Природные ресурсы. – 1999. – № 3., С. 53–69
14. Вьетнамский национальной регламент: QCVN 04-05: 2012/BNNPTNT/ Национальный технический регламент о гидротехнических сооружениях - Основные условия для проектирования. – Ханой 2012. – 47 с.
15. Перехрест, В.С., Плужников, В.Н. Водохозяйственные проблемы использования и сохранения малых рек // Проблемы использования и охраны водных ресурсов. – Минск: Наука и техника, 1986. – С. 30–43.
16. Мухавец: энциклопедия малой реки / А.А. Волчек и др. Брест: Академия, 2006. – 344 с.
17. Михневич, Э.И. Деформация русел канализованных рек Белорусского Полесья и меры по их предотвращению / Э.И. Михневич // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития: сб. научн. Трудов: в 2 т. – Брест: Академия, 2006.– Том 2. С.479–485
18. Фам Нгок Киен. Критерии оптимизации параметров водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама/ Наука и техника. – 2016 – N⁰². – С. 124–128.
19. Колобаев, А.Н. Рациональное использование и охрана водных ресурсов – Минск : БНТУ, 2005 – 172 с.

УДК 504.453/556.53

УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО РЕЖИМА ВОДОТОКОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ

Корнеев В.Н., Гертман Л.Н., Титов К.С., Булак И.А.

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, г. Минск, Республика Беларусь,
v_korn@rambler.ru, lubov.hertman@yandex.ru, ktsitou@gmail.com, i_bulak@tut.by

The article describes the approaches to the determination of quantitative characteristics of the watercourses water regime to ensure their ecological functioning

Введение

Стратегическая цель в области сохранения водного потенциала страны состоит в улучшении качества водных ресурсов, сбалансированных с потребностями общества [1, 2].

При разработке программ устойчивого функционирования водохозяйственных систем различного уровня основными элементами, характеризующими возможности эффективного использования речного стока, являются характеристики водного ре-

жима водотоков, определяющие его экологическое функционирование - при изъятии части речного стока в реке должен оставаться необходимый минимум, обеспечивающий нормальное функционирование водной экосистемы с возможностью ее самовосстановления.

С целью совершенствования технической нормативной правовой базы Республики Беларусь в области регулирования хозяйственной деятельности при управлении водными ресурсами, включая планирование и проведение инженерных мероприятий в бассейнах рек и водопользование, разработан проект технического кодекса установившейся практики (далее – технический кодекс). Технический кодекс устанавливает порядок расчета допустимых пределов изменения характеристик водного режима рек для обеспечения их экологического функционирования с целью регулирования хозяйственной деятельности на них.

Положения технического кодекса будут распространяться на источники воздействия на водный режим водотоков, включая водозаборы поверхностных вод, ГЭС, ГАЭС, АЭС, другие гидротехнические инженерные сооружения и мероприятия в бассейнах рек. Требования технического кодекса будут применяться при регулировании хозяйственной деятельности в бассейнах рек Республики Беларусь, включая трансграничные участки рек Западная Двина, Неман, Виляя, Днепр, Припять, Западный Буг.

Методы исследования

Технический кодекс разработан по результатам работ по заданию Государственной научно-технической программы «Природные ресурсы и окружающая среда». Целью работ по заданию было проведение расчетов уровня и скоростного режима трансграничных участков крупных рек Беларуси и уточнение характеристик их водного режима обеспечивающих экологическое функционирование.

Для гидрологических постов рек Неман, Виляя, Западная Двина, Днепр, Припять, Западный Буг на основе многолетних наблюдений за гидрологическим режимом на ближайших к трансграничным участкам стационарных постах рассчитаны значения экологического стока – лимитирующие расходы и минимальные уровни воды. Для определения современных морфометрических и гидравлических характеристик трансграничных участков рек проведены экспедиционные исследования. В результате обработки полученных данных определены современные координаты характерных поперечных сечений, характеристики скоростного режима (поля продольных осредненных скоростей) и расходы воды, характеристики русловых процессов, а также общие характеристики прилегающих к водотокам территорий. По результатам камеральных и экспедиционных исследований, гидрологических расчетов, включая водохозяйственные балансы, а также гидравлических расчетов с использованием математических моделей трансграничных участков основных рек выполнено обобщение характеристик экологического стока этих участков.

Установлено, что измеренные в ходе экспедиционных исследований в 2014-2015 гг. расходы воды на трансграничных участках соответствуют мало-водным и особо маловодным условиям летне-осенней межени, что представляет особую ценность полученных результатов в части принципиального экспериментального подтверждения и уточнения величин экологического стока.

Результаты исследования

Проведенный комплекс работ позволил разработать алгоритм определения количественных характеристик водного режима водотоков, обеспечивающих их экологическое функционирование, что легло в основу проекта технического кодекса.

Определение количественных характеристик водного режима водотоков, обеспечивающих их экологическое функционирование, должно основываться на использовании результатов гидрологических и гидравлических расчетов.

Гидрологические расчеты выполняются для обоснования минимального необходимого расхода воды в водотоке с использованием:

- расчетных гидрологических характеристик;
- лимитирующих гидрографов внутригодового распределения стока для маловодных периодов;
- водохозяйственных балансов.

Определение расчетных гидрологических характеристик предполагает определение минимальных среднемесячных расходов 95 % вероятности превышения на основании методик, приведенных в ТКП 45-3.04-168-2009 (02250) [1] и П1-98 к СНиП 2.01.14-83 [2]. При определении экологического стока используется требование необходимости сохранения в водотоке 75 % минимального среднемесячного расхода летне-осенней или зимней межени. За величину экологического стока принимается большее из значений, определенных для условий летне-осенней и зимней межени по расчетным гидрологическим характеристикам.

Определение лимитирующих гидрографов внутригодового распределения стока для маловодных и особо маловодных лет выполняется согласно Рекомендаций по расчету минимально допустимых расходов воды, не подлежащих изъятию из рек в условиях Республики Беларусь [3] или по методике расчета внутригодового распределения стока при наличии гидрометрических наблюдений для года с минимальными среднемесячными расходами за летне-осеннюю и зимнюю межень с использованием метода компоновки в соответствии с П1-98 к СНиП 2.01.14-83 и [2]. При отсутствии гидрометрических наблюдений следует использовать тот же метод с привлечением изученного объекта – аналога, находящегося в сходных с неизученным физико-географических условиях. В качестве экологического ограничения принимается 75 % от большей величины из значений минимальных расходов воды за периоды летне-осенней и зимней межени, определенных по лимитирующим гидрографам стока.

В качестве экологического ограничения принимается большая из величин расчетных гидрологических характеристик и лимитирующих гидрографов внутригодового распределения стока для маловодных и особо маловодных лет.

Расчет водохозяйственного баланса проводится на основании полученных характеристик экологического ограничения (стока). Порядок разработки и оформления водохозяйственных балансов производится в соответствии с ТКП 17.06-03-2008 (02120) [4].

Определение расходов воды, необходимых для обеспечения рекомендуемого скоростного режима, может выполняться посредством расчёта:

гидравлической характеристики для заданного поперечного сечения: зависимостей расхода воды от уровня воды $Q(h)$ и на ее основании - расхода воды от средней скорости течения $Q(v)$; либо

водного режима для заданного участка водотока с определением расходов воды, уровней воды и скоростей течения вдоль заданного участка.

Экологический сток определяется для заданного поперечного сечения реки (заданного участка реки) как значение минимального расхода воды $Q(v)$, при котором обеспечиваются необходимые условия проточности. Минимальное значение средней в поперечном сечении скорости для рек бассейна Припяти рекомендуется не менее 0,1 м/с; для остальных бассейнов рек – не менее 0,2 м/с.

Дополнительно выполняется учет русловых процессов при определении величины экологического стока путем расчета для заданного поперечного сечения незаиляющих скоростей течения и сравнения с ними средних скоростей течения.

Расчет зависимости расхода воды от уровня (глубины) воды $Q(h)$ с определением зависимости скорости потока от расхода воды $V(Q)$.

Зависимость $Q(h)$ определяется не менее, чем для пяти характерных уровней воды (рекомендуемое количество – 10) по формуле (1):

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (1)$$

где Q – расход воды, m^3/c ; ω – площадь поперечного сечения, соответствующая заданной глубине, определяется по координатам поперечных сечений, либо по ширине $B(m)$ и средней глубине $h(m)$ поперечного сечения как произведение средней глубины $h(m)$ на ширину $B(m)$, m^2 ; R – гидравлический радиус, равный отношению площади поперечного сечения ω к смоченному периметру этого поперечного сечения P , m ; i – гидравлический уклон; C – коэффициент (скоростной множитель) Шези, который для открытых безнапорных потоков определяется с использованием следующих формулы (2) если $R \geq 1$ либо (3), если $R < 1$:

$$C = 7,696 \ln R + \frac{1}{n}, \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1,18\sqrt{n}}. \quad (3)$$

где n – коэффициент шероховатости, определяется по таблице 1.

Средняя скорость в поперечном сечении V определяется по формуле:

$$V = \frac{Q}{\omega} \quad (4)$$

Обозначения параметров принимать по формуле (1).

Данный способ требует точного значения величины уклона и является достаточно упрощенным в связи с тем, что позволяет определить среднюю скорость для конкретного поперечного сечения реки, а не изменение скоростного режима на участке реки по его длине.

Расчет водного режима для участка водотока осуществляется в соответствии с п.6.1 ТКП 17.06-06-2012 (02120) [5].

В результате расчетов определяются значения расходов воды, уровней воды, средних в сечении скоростей течения по всей длине рассматриваемого участка водотока с заданным шагом по его длине от 0,01 км до 1,0 км.

Уточнение характеристики экологического стока по характеристикам русловых процессов, основным показателем которых является незаиляющая скорость течения $U_{\text{незаи.}}$, определяемая по зависимости (5):

$$U_{\text{незаи.}} = e \sqrt{R}, \quad (5)$$

где e – коэффициент, определяемый по формуле (6); R – гидравлический радиус, m ;

Таблица 1 – Значения коэффициентов шероховатости

№ п/п	Характеристика поперечного сечения реки	Коэффициенты шероховатости
1	Естественное русло в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением)	0,025-0,033
	То же, но без слова весьма	0,025-0,033
	То же с камнями	0,03-0,04
2	Периодические потоки (большие и малые при очень хорошем состоянии поверхности и форме ложа)	0,033
	То же, но без слова очень	0,033
3	Земляные русла сухих логов в относительно благоприятных условиях	0,04
4	Русла периодических водотоков, несущих во время паводка заметное количество наносов с крупногалечниковым или покрытым растительностью ложем. Периодические водотоки, сильно засоренные и извилистые	0,05
	Чистое извилистое ложе с небольшим числом промоин и отмелей	0,033-0,045
6	То же, но слегка заросшее и с камнями	0,035-0,05
	Значительно заросшие участки рек с очень медленным течением и глубокими промоинами	0,05-0,08
	То же, но без слова значительно	0,05-0,08
7	Очень сильно заросшие участки рек болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и др.)	0,075-0,15
	То же, но без слов очень сильно	0,075-0,15
8	Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые растительностью (трава, кустарник)	0,05
9	Поймы весьма значительно заросшие со слабым течением и большими глубокими промоинами	0,08
	То же, но без слов поймы весьма	0,08
10	То же, но с сильно неправильным косоструйным течением, заводями и др.	0,1
	То же, но без слова сильно	0,1
11	Поймы лесистые с очень большими мертвыми пространствами, местными углублениями, озерами и пр.	0,133
	То же, но вместо слов с очень большими, ... со значительными мертвыми пространствами...	0,133
12	Глухие поймы, сплошные заросли (лесные, таежного типа)	0,3

$$e = 0.01 \frac{w_{cp.}}{\sqrt{d_{cp.}}} \frac{0,0225}{n}, \quad (6)$$

где $w_{cp.}$ – гидравлическая крупность частиц среднего диаметра $d_{cp.}$, определяется согласно таблице 2, мм/с; $d_{cp.}$ – средний диаметр частиц грунта для поперечных сечений, определяется по данным анализа гранулометрического состава проб донных отложений реки, мм; n – коэффициент шероховатости, определяется по таблице 1.

Таблица 2 – Гидравлическая крупность частиц среднего диаметра [6]

Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность, мм/с	Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность, мм/с
0,001	0,0008	0,1	8,0
0,005	0,021	0,2	21,0
0,01	0,08	0,5	61,0
0,05	2,1	1,0	100,0

Полученная по формуле (5) с учетом формулы (6) незаилающая скорость $U_{\text{незаи.}}$ является ориентировочным значением для определения экологического стока.

Экологический сток при средней скорости течения, превышающей значение незаилающей скорости, обеспечивает нормальное функционирование участка водотока.

Комплексная оценка количественных характеристик водного режима, обеспечивающих их экологическое функционирование, выполняется по результатам проведенных расчетов.

По полученным с использованием гидрологических расчетов величин экологического стока и соответствующим этим гидрологическим условиям водохозяйственным балансам в случае отрицательного баланса (дефицита баланса) разрабатываются рекомендации по совершенствованию управления водопользованием с целью уменьшения дефицита баланса.

Таблица 3 – Характеристики водного режима основных рек Республики Беларусь, обеспечивающие их экологическое функционирование

Наименование реки, створа реки, период наблюдений водного режима	Расстояние от устья, км	Экологический сток (расчётные характеристики)		
		Расход воды, м ³ /с	Уровень воды, м БС	Средняя скорость течения, м/с
Река Западная Двина				
ТС «Российская Федерация – Беларусь»	686,5	31,0	138,46	0,38
г. Сураж (1878 г. – н.в.)	681,0	31,8	136,84	0,20
г. Витебск (1876 г. – н.в.)	622,0	41,3	124,60	0,19
г. Полоцк (1936 г. – н.в.)	474,0	58,0	108,34	0,21
г. Верхнедвинск (1954 г. – н.в.)	395,0	62,5	99,92	0,23
ТС «Беларусь – Латвия»	370,8	70,0	97,82	0,26
Река Неман				
ТС «Беларусь - Литва»	465,5	63,0	82,0	0,37
г. Гродно (1877 г. – н.в.)	514,0	56,7	91,60	0,40
Река Виляя				
ТС «Беларусь - Литва»	236,2	21,5	111,25	0,32
н.п. Михалишки (1945 г. – н.в.)	272,0	20,8	118,61	0,21
Река Днепр				
ТС «Российская Федерация – Беларусь»	1637,7	21,8	154,65	0,54
г. Орша	1588,0	23,4	149,55	0,23
г. Речица	1168,0	98,9	114,60	0,47
ТС «Беларусь – Украина»	1075,5	174,0	107,75	0,55
Река Припять				
трансграничный створ «Украина – Беларусь»	557,0	6,1	136,47	0,35
г. Пинск (мост Любанский) (1979 г. – н.в.)	518,0	16,2	133,24	0,22
г. Мозырь (1876 г. – н.в.)	171,0	93,4	111,25	0,20
г. Наровля (1930 г. – н.в.)	133,0	99,4	110,94	0,17
ТС «Беларусь – Украина»	48,0	115,4	101,40	0,46
Река Западный Буг				
ТС (н.п. Томашевка) – вход	378,1	24,5	152,97	0,30
ТС (н.п. Новоселки) – выход (1978 г. – н.в.)	225,0	48,0	120,11	0,16

Примечания: н.с. – настоящее время; ТС – трансграничный створ

По гидравлическим расчетам величины экологического стока увеличиваются до выполнения условий обеспечения необходимой проточности водотока и условий незаиления, если при предложенных по результатам гидрологических расчетов расходах воды эти условия не выполняются.

При регулировании хозяйственной деятельности в бассейнах рек Республики Беларусь рекомендуется соблюдать экологические ограничения (поддержание определённых расходов, уровней и скоростей) для обеспечения в реках экологического стока.

Экологические ограничения по характеристикам экологического стока для основных трансграничных рек Республики Беларусь: Западная Двина, Неман, Виляя, Днепр, Припять, Западный Буг - представлены в таблице 3.

Заключения

Мероприятия по оптимизации водного режима для соблюдения экологических ограничений (обеспечения необходимого санитарного попуска) должны быть предусмотрены в следующих случаях:

- определения оптимальных характеристик водохранилищ, отметок НПУ, ФПУ и УМО;
- обоснования и соблюдения режима наполнения ложа водохранилища при размещении ГЭС и ГАЭС;
- оптимизации управления эксплуатации водохранилищами, включая накопление водных ресурсов в верхнем бьефе в условиях половодий и паводков и санитарные попуски из водохранилищ в засушливые периоды с учетом НПУ и диапазона уровней от ФПУ до УМО;
- размещении польдерных систем – территорий, огражденных дамбами для предохранения от затопления водами реки и для аккумуляции поверхностных вод расчетной вероятности превышения (обеспеченности) в самой пойме реки;
- выдаче разрешений на специальное водопользование и комплексных природоохранных разрешений.

Состав этих и других мероприятий зависит от конкретных проектных решений и определяется при разработке проектной документации. Для возможности проведения необходимых расчетов разработан проект технического кодекса установившейся практики, который находится на стадии согласования в установленном порядке.

Список литературы

1. ТКП 45-3.04-168-2009 Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения.
2. П1-98 к СНиП 2.01.14-83 Определение расчётных гидрологических характеристик
3. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды «Рекомендации по расчету минимально допустимых расходов воды, не подлежащих изъятию из рек в условиях Республики Беларусь», № 3 от 8 января 2003 г.
4. ТКП 17.06-03-2008 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок оформления водохозяйственных балансов
5. ТКП 17.06-06-2012 Правила определения прогнозных показателей количественных и качественных характеристик водного режима при создании плотин и водохранилищ на реках
6. Шамов, Г.И. Речные наносы / Г.И. Шамов. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1959. – 378 с.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ СКОРОСТЕЙ ВОЛНОВОГО ПОТОКА ПО ПРОФИЛЮ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ

Левкевич В.Е.

Государственное научное учреждение «Институт экономики НАН Беларуси», г.Минск, Республика Беларусь, eco2014@tut.by

The results of the study of the distribution of the flow velocities of the wave in the coastal zone of dynamic equilibrium profile. The data of theoretical calculations and field measurements obtained for a number of reservoirs of Belarus.

Введение

При формировании профиля равновесия и в частности профиля динамического равновесия особую значимость приобретает характер распределения скоростей волнового потока по профилю и его влиянию на динамику и форму отмели. В настоящей работе показано распределение волновых скоростей полученных для береговой зоны водохранилищ Беларуси.

Основная часть

В соответствии с известной схемой развития ветрового волнения в прибрежной зоне водохранилищ, по соотношению глубин и высот волн выделяются следующие зоны волнения: I – зона глубокой воды, II – зона трансформации волны при подходе к берегу; III – зона обрушения; IV – зона наката волны на откос [1]. При разрушении волны наибольшие скорости волнового потока на откосе профиля равновесия возникают в точке В, соответствующей зоне опрокидывания волны (рисунки 1 - 2) [2-5].

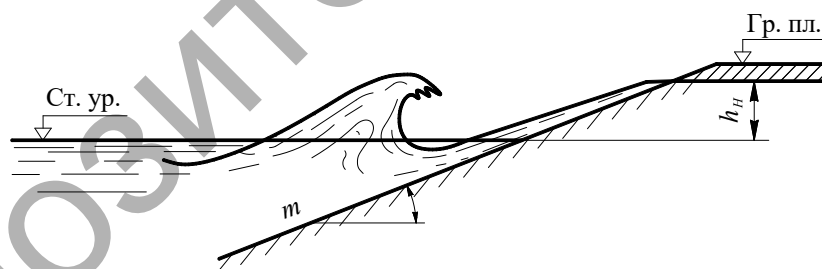


Рисунок 1 – Схема воздействия ветровой волны на откос

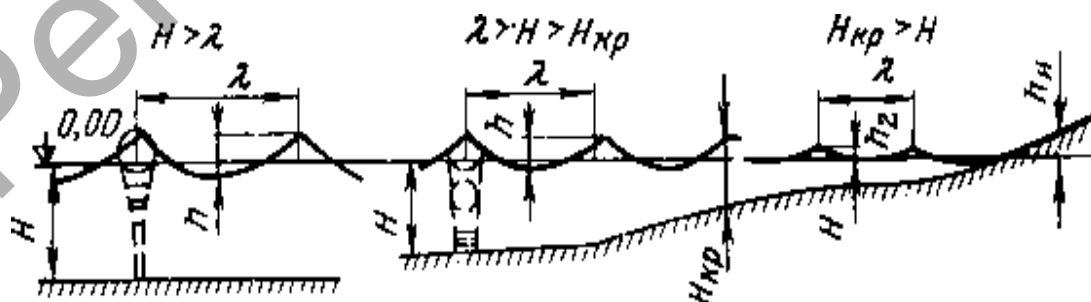
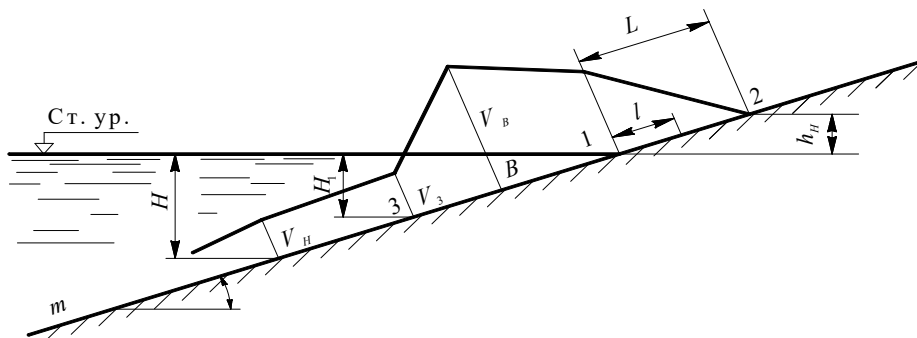


Рисунок 2 – Схема развития ветрового волнения [1]

Распределения скоростей волнового потока при его разрушении на откосе может быть отображено в виде эпюры распределения скоростей [3-5] (рисунок 3).



L – расстояние между точками 1 и 2; l – расстояние от точки 1 до расчетной точки; H – глубина до минимальной скорости волны в зоне наката; h_n – высота наката; B – точка максимального давления; V_n – скорости волны в зоне наката; H_1 – глубина в точке 3; V_3 – скорость в точке максимального давления; m – заложение откоса; α – угол заложения откоса.

Рисунок 3 – Распределение скоростей волнового потока по откосу

Ширина зоны воздействия ветрового волнения на откос определяется параметрами волнения: высотой и длиной. В условиях водохранилищ Беларуси ширина зоны воздействия волнового потока на откос (береговую отмель) ограничена зоной забурунивания, опрокидывания и наката. Ширина ее составляет от 2,5-3,5м до 5,5 – 10.0м. Высота наката волны на откос h_n зависит от параметров волны, крутизны откоса, наличия шероховатости и непроницаемости откоса, а также угла подхода волны. Для определения высоты наката волны на откос известно ряд эмпирических зависимостей по-разному учитывающих перечисленные факторы. Из числа наиболее распространенных можно отметить следующие формулы: Н. Н. Джунковского, Б. А. Пышкина, А. Г. Сидоровой, П.А. Шанкина, а также СН 92– 60 и ТКП [1-7].

Значения высоты наката волн на откосы, полученные по приведенным формулам и вычисленные при одних и тех же исходных данных, дают заметное расхождение. Это можно объяснить структурой формул, которые в одних случаях учитывают факторы крутизны волны, а в других нет. Расхождения в высоте наката становятся особенно заметными с увеличением высоты волны. Наибольшее расхождение дают формулы Н. Н. Джунковского, Б.А. Пышкина, и СТБ, причем во всех случаях получаются заниженные значения. Занижение составило 23-37%. Две формулы - П.А. Шанкина и СН 92- 60 практически дают одинаковые результаты в любом диапазоне крутизны волн, но с завышениями. Сравнение осуществлялось с данными натуральных наблюдений за накатом волны, полученных на Петровичском водохранилище. Высота наката волн по формуле А. Г. Сидоровой незначительно отклоняется от результатов, полученных по формуле П.А. Шанкина, но учет влияния шероховатости и проницаемости по ней затруднителен как по технике вычисления, так и по некоторой неопределенности при подстановке размера абсолютной шероховатости. Натурная проверка высот наката волны на песчаный показала, что формулы СН 92-60 и П.А. Шанкина дают наиболее близкое совпадение вычисленных значений h_n с наблюдаемыми величинами. Отклонение h_n от фактических, измеренных в натуральных условиях $h_{ни}$ составляет 8-10%. Поэтому для водохранилищ малой и средней протяженности высоту наката волны рекомендуется определять по этим формулам. Были выполнены расчеты скоростей волнового потока и получено их распределение по профилю равновесия в контрольных точках 1, 2 и 3 (рисунок 3) [2]:

$$v_1 = \frac{10k_w \sqrt{g}}{2\pi + m} \sqrt[6]{h^2 \lambda} \quad (1)$$

$$v_1 = v_1 \left(1 - \frac{l}{h_n \sqrt{1 + m^2}} \right), \quad (2)$$

$$h_n = \frac{2 k_{ш}}{m} h \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}, \quad (3)$$

$$v_3 = \frac{n\pi h}{\sqrt{\frac{\pi\lambda}{g} sh \frac{4\pi H_1}{\lambda}}}, \quad (4)$$

$$H_1 = \frac{1,22}{m^{0,8}} \sqrt{h\lambda}, \quad (5)$$

где: $k_{ш}$ – эмпирический коэффициент шероховатости; g – сила ускорения свободного падения, m/c^2 ; h_n – высота наката волны, м; m – коэффициент заложения откоса; h – высота расчетной 1% волны; λ – длина волны, м.

При накате волны на откос скорости потока воды имеют переменное значение. Для ряда характерных точек по откосу, которыми являются точки В, 1, 2 и 3, были вычислены значения скоростей волнового потока. Ниже в таблице 1 приведены значения и распределение по профилю расчетных волновых скоростей, полученных для откосов и естественных берегов, подверженных переработке по ряду водохранилищ Беларуси.

Как видно из таблицы 1, в зонах разрушения и опрокидывания волны значения волновых скоростей превышают размывающие и допускаемые размывающие скорости для песчаных несвязных грунтов, что вызывает переработку и размыв верховых откосов дамб и плотин и уположенных откосов и абразионных берегов (рисунок 4).

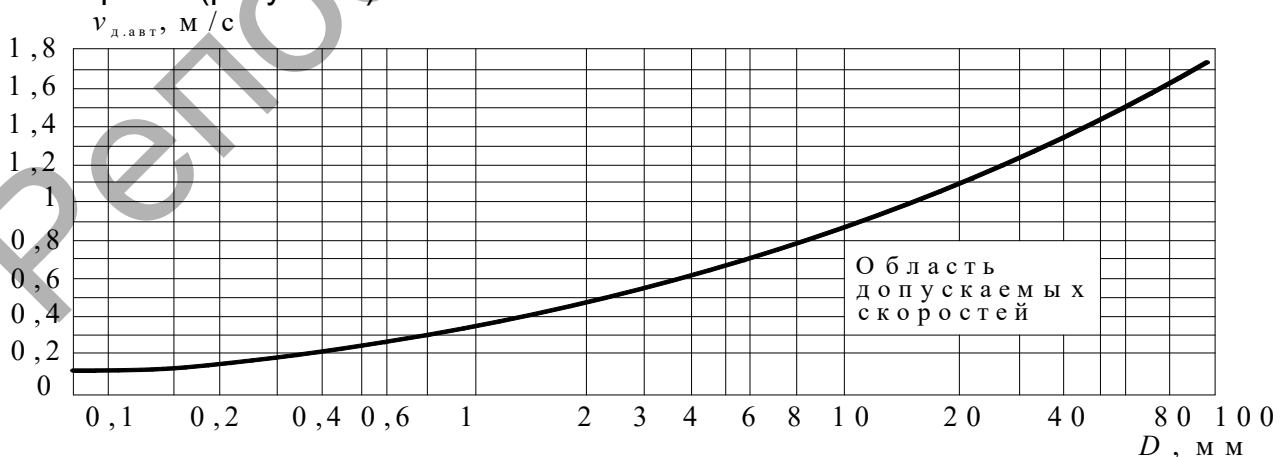


Рисунок 4 – График допускаемых неразмывающих донных скоростей [2 - 5]

Таблица 1 – Значения расчетных скоростей волнового потока на профиле равновесия

Водохранилище	Берег, тип процесса, грунты	Средний диаметр частиц грунта, d_{50} , мм	Волновые скорости, в контрольных точках м/с		
			v_1	v_2	v_3
1	2	3	4	5	6
Вилейское	Левый берег, уположенный пляжный песчаный откос. Объект: «Реабилитационный детский центр «Надежда – XXI век». Незначительная местная переработка, перемещение материала переработки вдоль уреза	0,51	5,12	5,09	0,34
Заславское	Правый берег. Склон сложен песчаным грунтом различной крупности. Разрушение берега, волновая сортировка материала переработки, вольбереговое перемещение наносов	0,51	5,07	4,82	0,34
Смолевичское	Правый берег. В районе насосной станции. Разрушение швов между плитами крепления, просадка плит крепления, вынос грунта из-под плит Переработка откоса. Волновая сортировка материала размыва.	0,38	4,64	4,42	0,30
Дубровское	Левый берег. Местные локальные размывы. Берег сложен песчаным грунтом. Присутствует волновая сортировка грунта отмели.	0,47	4,75	4,52	0,31
Жодинское	Состояние откоса удовлетворительное. Присутствует переработка коренного берегового склона по правому берегу.	0,41	4,97	4,72	0,33
Волма	Локальное разрушение грунтового песчаного откоса земляной плотины	0,39	4,75	4,52	0,31
Петровичское	Левый берег, подверженный переработке. Размываемый грунт-песчаный. Волновая сортировка с активным вдольбереговым переносом материала переработки	0,47	5,12	4,87	0,34
Краснослободское	Активная переработка верхового уположенного откоса земляной плотины, сложенного песчаным грунтом. Перемещение материала в поперечном направлении по отмели.	0,41	4,98	4,73	0,33
Солигорское	Левый берег водохранилища. Переработка с аккумуляцией материала по профилю.	0,36	5,12	4,87	0,34
Осиповичское	Левый берег. Вторичная переработка склона. Грунты разнородного состава. Пески различной крупности, супеси.	0,35	4,43	4,21	0,28

Воздействие волнового потока на грунт, образующий подводную часть склона ведет к волновой сортировке материала переработки по крупности по ширине отмели и переносу частиц грунта в виде влекомых наносов вдоль уреза.

При формировании профиля равновесия значительную роль играет физико-механический состав размываемых волновым потоком грунтов. Необходимо отметить тот факт, что наряду с вдольбереговым движением наносов на водохранилищах присутствует и поперечное перемещение материала переработки.

Как показали натурные исследования автора на водохранилищах, находящихся в эксплуатации небольшой период времени, вдольберегового перемещения материала переработки не происходит, так как отсутствует широкая береговая отмель, а при этом доминирует поперечное перемещение, при котором наносы смещаются к основанию подводного склона [8-9]. Это подтверждается практически полным отсутствием аккумулятивных форм на молодых водохранилищах таких как: Цнянское, Дубровское, Раубичское, Гродненской ГЭС и ряде других, имеющих небольшой срок эксплуатации.

Под воздействием ветрового волнения в приурезовой зоне подводной части отмели за счет взвешивания частиц происходит движение обломочного материала – наносов по профилю, что ведет к их естественной сортировке по ширине отмели и дифференциации частиц грунта по крупности. Эта сортировка происходит как за счет взвешивания и затем выноса мелкозернистых частиц, так и за счет аккумуляции более крупных. Как показали натурные исследования, перемещение материала происходит во взвешенном и сальтирующем состоянии. Ширина зоны взвешивания и перемещения наносов составляет для условий волнения, которое наблюдается на водохранилищах Беларуси составляет около 2—3 м от границы уреза. Объем взвешенных частиц в общем объеме вдольберегового потока наносов на водохранилищах незначителен (мутность волнового потока составляет 250...450 мг/м³). Проведенные автором экспериментальные исследования с использованием разработанного комплекта наносоуловителей специальной конструкции в береговой зоне Петровичского и Заславского водохранилищ при штормовых условиях позволили получить результаты, подтвердившие наличие подвижного слоя наносов на профиле и получить расход влекомых наносов в приурезовой зоне в период формирования профиля динамического равновесия. Ниже на рисунке 5 приведена конструкция наносоуловителя [8]. Каждый наносоуловитель состоит из внешнего цилиндра – 1 с конусом – 2 и бортиком – 3, установленного непосредственно в точке измерений, внутреннего цилиндра – 4 с перегородками – 5, делящими весь объем на 4 равных сектора, бортиком – 6 и заглушкой – 7, поплавка-индикатора – 8. Для регистрации движения наносов вдоль берега на внутреннем цилиндре – 4 установлены лепестки – 9, позволяющие регистрировать вдольбереговое перемещение наносов. Наносоуловители в натуральных условиях устанавливались в следующей последовательности: первый – в зоне наката волны, второй – на урезе, третий – в зоне разрушения волны, четвертый – в зоне трансформации волны и пятый – в глубоководной зоне на краю береговой отмели. Измерения расхода и направления движения наносов выполнялись в осенний период (август - сентябрь), поскольку именно в данный период года преобладают ветра максимальной силы и повторяемости. Измерение осуществлялось следующим образом: в предварительно погруженные в грунт подводной части отмели внешние цилиндры – 1 одновременно опускались внутренние цилиндры – 4 и открывались заглушки – 7, затем через контрольное время извлекались внутренние цилиндры – 4, из каждой секции которого доставалась проба наносов. Полученные пробы высушивались, в лабораторных условиях, взвешивались и определялись объемы наносов в каждом секторе наносоуловителей - а также суммарный объем наносов и направление перемещения по профилю равновесия.

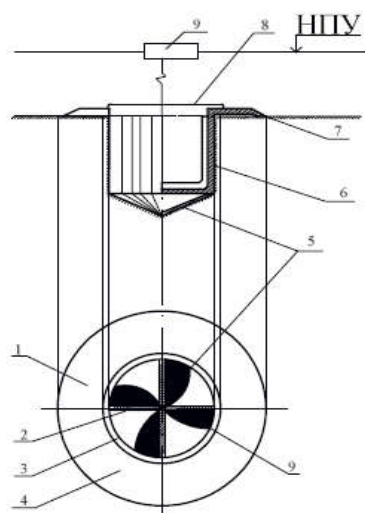


Рисунок 5 – Конструкция и схема установки наносоуловителя на отмели

В период натурального эксперимента по изучению перемещения наносов производилось наблюдение и регистрация скорости и направления ветра при помощи полевого ветромера "8Ю01-М" с анемометром. Скорость ветра измерялась в створе измерения перемещения и расхода наносов на высоте 2 м от плоскости поверхности. При помощи минимально-максимально ветровой вехи, установленной в подводной части отмели водоема, определялось значение элементов ветрового волнения – высота волны $h_{1\%}$ в режиме и соответствующая длина волны.

По результатам натуральных экспериментов строились эпюры распределения продольного вдольберегового Q_x и поперечного Q_y расходов наносов по отмели, а также изменение характеристик их гранулометрического состава (рисунок 6). Величины равнодействующих значений расходов потока наносов показаны в виде векторов R_{xy} в каждой зоне волнения. Приведенное соотношение эпюр расходов наносов является характерным и имеет особенности, присущие всем водохранилищам страны:

- ширина зоны активного движения наносов по отмели (в подводной и надводной частях) составит для условий водохранилищ Беларуси при ветровом волнении, характеризуемом $h_{1\%} = 0,4 \dots 0,85\text{м} - 5,5 - 10,0\text{м}$;
- максимальный расход наносов Q_x приурочен зоне разрушения волны на урезе воды;
- поперечное движение наносов с расходом Q_y имеет знакопеременное направление в зоне разрушения волны и объясняется повышенной турбулентностью волнового потока с образованием потока наката на откос и обратного течения в водоеме.

Приведенные особенности распределения потока наносов при их движении по профилю сказываются на конечной форме и параметрах профиля равновесия, вырабатываемого в несвязных песчаных грунтах.

Уравнения распределения коэффициентов неоднородности (η_0), а также характерного диаметра частиц (d_{50}) наносов по ширине отмели, которые описывают дифференциацию частиц в береговой зоне, в общем виде могут быть записаны:

а) для водохранилищ со значительной сработкой уровней

$$\left. \begin{aligned} \eta_B &= \eta_0 \left[\sum_{i=1}^n (B_{Ht} + B_{nt}) \right] \exp[d_1 - c_1(B_{Ht} + B_{nt})] \\ d_{50} &= d_{50,0} \left[\sum_{i=1}^n (B_{Ht} + B_{nt}) \right] \exp[d_2 - c_2(B_{Ht} + B_{nt})] \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

б) для водохранилищ с относительно постоянной отметкой уровней верхнего бьефа

$$\left. \begin{aligned} \eta_B &= \eta_0 \exp[-c_1(B_{nt})] B_{nt}^{d1} \\ d_{50} &= d_{50,0} B_{nt}^{d2} \exp(-c_2 B_{nt}) \end{aligned} \right\} (7)$$

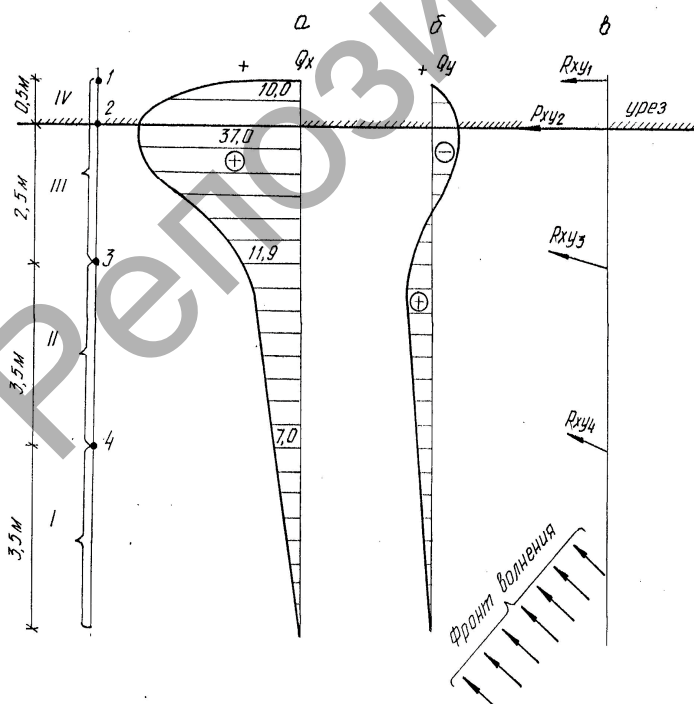
где η_0 , $d_{50,0}$ — соответственно коэффициент неоднородности и средний диаметр исходного, размываемого грунта; B_{Hh} , B_{nt} — ширина надводной и подводной части отмели, $d_{50,0} = (0,5 - 2,0)$ мм, $\eta_0 = (5,0 - 20,0)$.

Наряду с изучением перемещения наносов автором выполнялись также исследования по изучению высотных деформаций отмели при совместном действии ветрового волнения и колебания уровней в различных геологических и гидрологических условиях. Рассматривался наиболее сложный случай - развитие отмели в условиях водохранилища со значительными колебаниями уровня в верхнем бьефе.

В качестве объекта исследования было выбрано одно из опорных тестовых водохранилищ — Заславское. Наблюдения велись на юго-восточном участке берега, подверженном абразии (участок №4), береговой склон которого сложен песками с включением гравия и имеет абразионный уступ высотой 1,0–2,5 м. В наблюдаемых условиях гидрологический режим характеризуется колебаниями уровня в безледный период до 1,0 м, наибольшей повторяемостью волн высотой 0,3...0,4 м ($P = 80\%$) и максимальной высотой волны 1,20 м. Исследования проводились в двух створах, на которых при помощи реперов и высотных марок, выполненных из металла были закреплены характерные точки на отмели в различных зонах волнения. В период наблюдений было выполнено 11 съемок при различных положениях уровня верхнего бьефа.

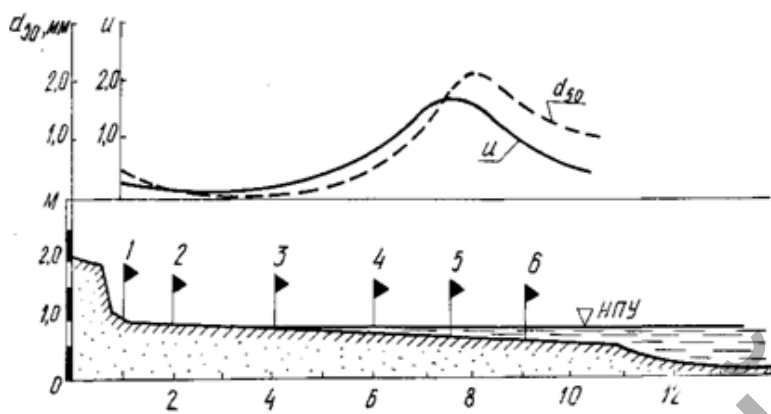
В результате обработки и анализа полученных материалов установлено:

– деформации отмели происходят в приустьевой зоне шириной около 8,0 м, причем вертикальные деформации составляют до 4,0 см в течении сезона, в этой же зоне происходит наибольшая сортировка материала переработки (рисунок 7);



а) – вдольбереговая составляющая потока влекомых наносов;
 б) – поперечная составляющая вдольберегового потока наносов;
 в) – равнодействующие потока наносов в различных зонах волнения.
 1,2,3,4,5 – точки установки наносоуловителей;
 I, II, III, IV – зоны волнения
Рисунок 6 – Эпюры расходов наносов в береговой зоне Заславского водохранилища. Участок 4. створ 5

- контур изменения высотных деформаций по ширине отмели носит ограниченный характер и приурочен к приурезовой зоне, ширина развития деформации определяется величиной колебания уровней совместно с волнением;
- наибольшие изменения высотных отметок наблюдаются при стоянии уровней близких к нормальному подпорному уровню (НПУ) и приурочены к основанию берегового уступа с постепенным уменьшением к внешнему краю отмели;
- при длительном стоянии уровня на одной отметке наблюдается относительная стабилизация локальных процессов размыва и аккумуляции с наибольшими значениями деформаций;
- в зоне отмели кроме высотных деформаций происходит размыв и перемещение материала разрушения берегового склона в продольном и поперечном сечении, которое ведет к образованию местных аккумулятивных форм.



1,2,3,4 – контрольные точки

Рисунок 7 – Развитие вертикальных деформаций отмели и изменение d_{50} и U по ширине отмели (водохранилище Дрозды)

Форма всех аккумулятивных образований в плане и в поперечном сечении определяется в общем случае параметрами волнового режима, колебанием уровней в верхнем бьефе, геоморфологическим строением береговой зоны, топографией подводного склона и литологическими особенностями склона. Зависимость формы профиля равновесия и ширины зоны сортировки материала переработки от параметров ветрового волнения объясняет образование на поверхности подводной части профиля равновесия самоотмостки из крупнофракционного материала, находящегося в статическом равновесии.

Заключение

1. Исследованиями установлено, что наряду с вдольбереговыми течениями, обеспечивающими движение наносов вдоль уреза на малых водохранилищах Беларуси присутствует и поперечное перемещение материала переработки, которое вызывается волновыми течениями и гидродинамикой береговой зоны. Под воздействием ветрового волнения по ширине отмели происходит движение обломочного материала, что ведет к естественной сортировке по крупности в зависимости от зоны трансформации волнения в береговой зоне и распределения скоростей волнового потока.

2. Волновая сортировка грунта происходит как за счет выноса мелкозернистых частиц, так и за счет аккумуляции более крупных.

3. Ширина зоны взвешивания наносов составляет 2...3 м от уреза воды. Ширина зоны наката изменяется от 2,5-3,5 м до 5,5 – 10,0 м в зависимости от параметров ветрового волнения.

4. Расчет скоростей волнового потока и их распределения по профилю равновесия показал, что наибольшие значения скоростей составляют в зоне разрушения волны от 4,73 до 5,12 м/с (Вилейское, Солигорское и др.). Значения скоростей превышают размывающие, что ведет к сортировке и перемещению по профилю материала переработки в виде потока наносов.

Список литературы

1. Пышкин, Б.А. Динамика берегов водохранилищ / Б.А. Пышкин. – Киев: «Наукова думка», 1973. – 416 с.
2. Канарский, В.С. Устойчивость и прочность откосов земляных сооружений / В.С. Канарский. – М. : Энергоиздат, 1982. – 146 с.
3. Шайтан, В.С. Исследование ветровых волн на водохранилище/ В.С. Шайтан. – Москва : Гостстройиздат, 1962.
4. Цайтц, Е.С. Действие волн на откос из несвязанных грунтов: Автореферат. Дис... канд.тех.наук / Е.С. Цайтц. – Киев., 1958. – 21с.
5. Максимчук, В.Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ / В.Л. Максимчук. – Киев, 1981. – 112с.
6. ТКП45-3.04-170-2009 Гидротехнические сооружения. Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов) // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
7. СНиП 2.06.08-87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
8. Левкевич, В.Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В.Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 306 с.
9. Левкевич, В.Е. Динамика береговых процессов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В.Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.

УДК 054.666

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ АГРЕССИВНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ КОРРОЗИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Левчук Н.В., Василевская М.В.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, marilu141@gmail.com

The corrosion processes that can occur during the interaction of external environment with concrete and reinforced concrete, is very diverse. Significant effect on building structures are the aggressive ions as cabinet-, hydrogen carbonate ions, and sulfate ions. The combined influence of carbonates and sulfates exerts a potentiating effect on the corrosion processes of concrete. In addition the joint presence of sulfate - and carbonate-ions in the environment contributes to the formation of thaumasite in the cement stone formed and accumulated throughout the existence of the facility.

Введение

В последние десятилетия развитие таких отраслей промышленности, как нефтеперерабатывающая, целлюлозно-бумажная, химическая и др., внедрение новых химических и биологических технологий в производственные процессы в зарубежной и отечественной промышленности, приводят к росту числа предприятий с агрессивными технологическими средами. Такое увеличение уровня производительности способствует существенному изменению состава атмосферного воздуха, природных, промышленных сточных вод и окружающей среды в целом.

Состав атмосферного воздуха характеризуется повышенным содержанием кислотных оксидов (CO_2 , SO_2 , SO_3 , H_2S т.д.), усиливающих агрессивность окружающей среды по отношению к бетонам и арматуре железобетонных конструкций. Степень агрессивного воздействия, а также характер коррозионных повреждений зависит не только от химической природы - состава агрессивной среды, но и от влажности газовой среды, температуры окружающей среды, условий контакта (в условиях напорной фильтрации или при свободном омывании) и других факторов [1]. Содержащийся в атмосфере углекислый газ во влажной среде реагирует с гидратными соединениями цементного камня бетонных и железобетонных конструкций. Наиболее химически активным в этих реакциях является гидроксид кальция, способствующий образованию карбонатных и гидрокарбонатных новообразований в поровом пространстве цементного камня.

Атмосферные осадки содержат небольшое количество сульфат-ионов, хлорид-ионов, а также растворенного в воде углекислого газа, однако в городских условиях, где содержание дымовых и выхлопных газов больше, значение pH атмосферных вод снижается до 5,5 [2]. Слабокислая среда атмосферных осадков, попадающих на поверхность бетонных конструкций, может вызывать коррозионные повреждения бетона за счет химического взаимодействия компонентов цементного камня с агрессивными ионами атмосферных вод с образованием растворимых продуктов коррозии или с выделением труднорастворимых соединений, снижающих прочностные характеристики самого бетона.

Существенное влияние на коррозионную стойкость цементных композитов и бетонов на их основе оказывают фактический состав природных или промышленных сред, в которых основную роль агрессивных ионов играют карбонат - или гидрокарбонат-ионы, а также сульфат-ионы. Так, установлено, что на степень агрессивности сульфатных природных вод значительное влияние оказывает содержание в них временной жесткости (бикарбонатной щелочности). Влияние содержания бикарбонатных ионов (HCO_3^-) проявляется в уменьшении интенсивности процесса сульфатной коррозии [3].

В последнее время появились исследования, которые показывают, что при температурах ниже 10°C в коррозионном разрушении бетона одновременно с сульфатной коррозией может играть определенную роль и образование сульфокарбосиликата – таумасита, имеющего формулу $\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. Образование таумасита обнаружено в старых сооружениях, в которых бетон одновременно с сульфатной коррозией за счет растворения в атмосферной влаге сернистого и серного ангидридов подвергается карбонизации. Одновременное присутствие в цементном камне сульфатов и карбонатов также способствует образованию наряду с этtringитом и таумасита, который создает рыхлую структуру цементного камня, тем самым приводя к частичному или полному разрушению бетона [4].

В естественных условиях редко встречаются коррозионные повреждения одного вида. Это связано с тем, что производственные сточные воды предприятий, а также грунтовые воды загрязнены продуктами и отходами различных органических и неорганических веществ, действие которых на конструкции из бетона и железобетона неоднозначно.

Углекислота содержится во всех природных водах в большем или меньшем количестве. При pH больше 8,5 количество ее мало и практически малоощутимо. Углекислота является малорастворимым слабым электролитом, поэтому в воде устанавливается равновесие между ионами HCO_3^- и молекулами CO_2 . Если количество CO_2 превышает равновесие, то оно способно реагировать с цементным камнем с образованием новых количеств CaCO_3 , т.е. такая

углекислота будет агрессивной по отношению к бетону. Увеличенное количество CO₂ сверх равновесного создает условия для растворения защитной карбонатной пленки на поверхности бетонных композитов, а растворенный в воде углекислый газ приобретает агрессивные свойства. В этом случае последовательность разрушения бетона, по В.М. Москвину, протекает следующим образом:

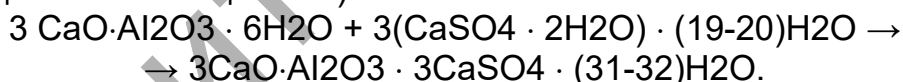
Зона I – «зона разрушения» (насыщенная бикарбонатом вода взаимодействуя с гидроксидом кальция цементного камня образует малорастворимый осадок карбоната кальция);

Зона II – «зона уплотнения» (в этой зоне происходит сужение каналов, по которым движется вода), далее фильтрующая насыщенная углекислотой вода растворяет цементный камень по механизму коррозии первого вида, т.е. начинается

Зона III – «зона выщелачивания».

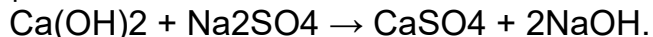
В природных, производственных водах имеют место сульфаты в виде солей Na₂SO₄, CaSO₄ и др. В реках и пресных озерах содержание их обычно не превышает 60 мг/л; в минерализованных грунтовых водах 5000 и более мг/л; в морской воде – около 2700 мг/л, а в производственных водах иногда более 10000 мг/л. Установлено, что при концентрации сульфат-иона в растворе, соприкасающимся с бетоном, начиная с 250 мг/л происходит взаимодействие с составляющими цементного камня, что обуславливает образование микродефектов и микротрещин бетонной матрицы [1].

При соприкосновении сульфат-ионов с бетоном повышается растворимость составляющих цементного камня, и происходят обменные процессы, сопровождающиеся кристаллизацией продуктов новообразований в порах бетонной матрицы. При этом происходит накопление малорастворимых продуктов реакции или веществ, способных при фазовых переходах к полимеризации с увеличением удельного объема твердой фазы [5]. Эти процессы, в свою очередь, приводят к расширению бетона и появлению трещин. Например, при воздействии раствора сульфата кальция алюминат кальция взаимодействует с CaSO₄ с образованием объемных кристаллов гидросульфатоалюмината кальция (этtringита, «цементной бациллы»):



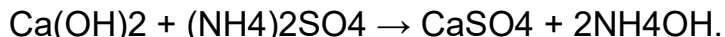
Это приводит к возникновению внутренних напряжений, которые могут превысить предел прочности при растяжении и тем самым вызвать трещины и последующее разрушение.

Если в растворе присутствует сульфат натрия, то вначале с Na₂SO₄ реагирует гидроксид кальция по схеме:



Затем образуется этtringит из CaSO₄ по приведенной выше схеме.

Особый интерес представляет сульфат аммония. Взаимодействие его с Ca(OH)₂ протекает по схеме:



Образующийся аммиак частично растворим в воде, а часть его выделяется в виде газа, вследствие чего коррозия ускоряется. При высокой концентрации этого соединения идет не только сульфатная коррозия, но и растворение цементного камня в результате обменных реакций.

Таким образом, для обеспечения сульфатостойкости бетона неважно, с каким катионом связан в агрессивном растворе сульфат-ион. Сравнительная агрессивность сульфатов с различными катионами позволила все основные сульфаты, связанные с различными катионами, по степени агрессивности распределить на следующие три группы [1]:

- Слабоагрессивные (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+});
- Умеренноагрессивные (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ni^{2+});
- Сильноагрессивные (NH_4^+ , Al^{3+} , Fe^{3+}).

Первостепенное значение имеет время действия агрессивного раствора и концентрации агрессивных ионов для расчета сроков службы конструкций из бетона и железобетона в жидких агрессивных средах.

Следует отметить, что, несмотря на огромные исследования коррозионных процессов как в нашей стране, так и за рубежом, вопрос о повышении стойкости бетонных и железобетонных конструкций остается актуальным. Поэтому исследования по изучению состояния цементного камня в условиях формирования карбонатной коррозии являются важной задачей при получении материалов устойчивых к воздействию агрессивной сульфатной среды.

Методика экспериментальных исследований

Исследования проводились на бетонных образцах кубах размером $2 \times 2 \times 2$ см, выполненных из цементного камня на основе портландцемента, затворенного коллоидным раствором гидроксида алюминия, полученного электрохимическим способом. Контрольные образцы затворялись водой. Размеры образцов приняты из соображений возможности в короткие сроки получить исследуемые зависимости. После этого образцы твердели в условиях недоступных для влаги при температуре $18^\circ C$ в течение 7 суток. Затем образцы погружались в водопроводную воду ($pH=6-7$), в которую из аппарата Киппа поступал углекислый газ до изменения значения pH до 5,5. Через 3 суток после выдержки образцов в воде, содержащей CO_2 , измеряли значение pH на pH -метре HANNA и определяли содержание ионов Ca^{2+} .

Количественное определение водорастворимых ионов кальция проводили методом комплексометрического титрования с трилоном Б в присутствии индикатора мурексида. Для этого приготовили 0,5 л 0,05 М раствора трилона Б по фиксаналу. Индикатор использовали в твердом виде. Аликвоту 10 мл приготовленного раствора переносили в колбу на 250 мл, затем добавили 5 мл 20 %-ного раствора $NaOH$, 85 мл дистиллированной воды и на кончике шпателя 30-40 мг мурексида. Титровали 0,05 М раствором трилона Б до перехода окраски с красной в фиолетовую. Для каждой пробы проводили не менее 3 титрований и по среднему объему трилона Б рассчитывали нормальность ионов кальция в пробе из вытяжки каждого образца.

Химический состав раствора затворения при водоцементном соотношении 0,4 представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Процентный состав раствора затворения образцов цементного камня

№ образца	Образец раствора затворения	Процентный состав раствора затворения
1	Контрольный образец	100 % вода
2	Раствор затворения 1	75% вода / 25 % колл. $Al(OH)_3$
3	Раствор затворения 2	50% вода / 50 % колл. $Al(OH)_3$
4	Раствор затворения 3	25% вода / 75 % колл. $Al(OH)_3$
5	Раствор затворения 4	100 % колл. $Al(OH)_3$

Результаты экспериментальных данных по содержанию ионов Ca^{2+} в растворе затворения и изменение pH при пропускании углекислого газа представлены в таблице 2.

Результаты полученных исследований показывают, что при увеличении концентрации углекислого газа во влажной среде и уменьшении pH , увеличивается содержание ионов кальция в вытяжках контрольных образцов с 4,3 до 4,8 мг-экв/л. Причем при увеличении концентрации коллоидного гидроксида алюминия снижается концентрация ионов кальция в воде без CO_2 с 4,3 до 4,1 мг-экв/л, а в присутствии CO_2 - с 4,8 до 4,55 мг-экв/л.

Таблица 2 – Изменение содержания ионов Ca²⁺ и pH в воде после выдержки образцов в течение 3 суток

№ образца	Содержание ионов Ca ²⁺ без CO ₂ , мг-экв/л	pH раствора без CO ₂	Содержание ионов Ca ²⁺ после пропускания CO ₂ , мг-экв/л	pH раствора после пропускания CO ₂
1	4,3	6,6	4,8	5,8
2	4,2	6,7	4,75	5,6
3	4,2	6,6	4,71	5,5
4	4,2	6,7	4,70	5,5
5	4,1	6,7	4,55	5,5

Уменьшение содержания ионов Ca²⁺ в водных вытяжках указывает, во-первых, на связывание ионов кальция в труднорастворимые соединения, что подтверждается более высокими значениями pH. Во-вторых, полученные данные позволяют сделать вывод о том, что образующийся в результате гидратации минералов портландцементного клинкера гидроксид кальция в поровых пространствах цементного камня при достаточных количествах CO₂ и воды способен реагировать с образованием нерастворимого карбоната кальция, переходящего в растворимый гидрокарбонат кальция, способствуя коррозионным процессам «выщелачивания извести». Увеличение содержания алюминатов при гидратации минералов портландцемента, по результатам эксперимента, позволяет снизить содержание ионов кальция в воде, однако при увеличении концентрации CO₂ процесс образования гидрокарбонатов происходит интенсивнее.

Заключение

В заключении отметим, что коррозионные процессы, которые могут протекать при взаимодействии внешней среды с бетоном и железобетоном, весьма разнообразны. Существенное действие на строительные конструкции оказывают такие агрессивные ионы, как карбонат-, гидрокарбонат-ионы, а также сульфат-ионы. Совместное влияние карбонатов и сульфатов оказывает потенцирующее действие на процессы коррозии бетонов. Кроме того, совместное присутствие сульфат- и карбонат-ионов в окружающей среде способствует образованию таумасита в цементном камне, формирующемся и накапливающимся на протяжении существования сооружения. Использование модифицирующих добавок, как показали результаты исследований, способствует снижению содержания ионов кальция в водных вытяжках и, как следствие, замедлению процессов коррозии.

Такие выводы в дальнейшем будут учитываться и при исследовании сульфатной коррозии бетонных образцов на основе напрягающих цементов, проводимых на кафедре технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Список литературы

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1980. – 536с.
2. Левчук, Н.В. Влияние внешних экологических факторов на бетонные конструкции / материалы Международн. науч.-практ. конф., Брест, 18-20 апр. 2012 г. // УО «Брестск. гос. техн. ун-т»; под ред. А.А. Волчека [и др.]. – Брест, 2012. – 208 с.
3. Материаловедение в строительстве: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / И.А. Рыбьев [и др.]. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 528с.
4. Федосов, С.В. Сульфатная коррозия бетона. / С.В. Федосов, С.М. Базанов. – М.: Изд. АСВ, 2003. – 192 с.
5. Рояк, Г.С. Рекомендации по способам защиты бетона в условиях сульфатной агрессии / Г.С. Рояк, И.В. Грановская, Т.Л. Трактирниковая. – М.: Стройиздат, 1984. – 279 с.

АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШУМОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЧЕЛОВЕКА

Левчук Н.В., Гуляко Е.А.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, Helena171085@mail.ru

The article is supposed analyze noise impacts businesses on the human body and the environment. Noise - just unpleasant, unwanted sound or set of sounds, disturbing perception of the useful signals and breaking the silence, have a harmful or irritating effect on the human body, reducing its efficiency. The simplest sign of the damaging effects of excessive noise at the next person: if you raise your voice conversation.

Введение

В современном мире жизнедеятельность человека проходит в техносфере. Основными силовыми факторами техносферы являются акустические параметры, в том числе слышимый шум, сопровождающий работу строительных машин, транспортных средств, различных видов производственного и технологического оборудования и других технических устройств.

Шум – всякий неприятный, нежелательный звук или совокупность звуков, мешающих восприятию полезных сигналов и нарушающих тишину, оказывающих вредное или раздражающее воздействие на организм человека, снижающих его работоспособность [1].

Для характеристики шума применяют значения уровня интенсивности звука, измеряемого в децибелах (дБ). Интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости человека, равна 10-12 Вт/м² на частоте 1000 Гц. Диапазон частот различаемых человеком находится в пределах от 16 Гц до 20 кГц. Кроме того, принято разделять диапазон слышимости на следующие области: низкочастотную (16–400 Гц), среднечастотную (400–1000 Гц) и высокочастотную (1000–20 кГц). Если интенсивность звуковых волн одинаковая, то высокочастотный звук воспринимается человеком как наиболее неприятный.

Шум, распространяющийся от источников, характеризуется значением уровня интенсивности звука, измеряющегося в децибелах:

$$L_H = 10 \lg(I_{эв} / I_0), \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости человека и равна значению 10-12 Вт/м² на частоте 1000 Гц.

Поскольку интенсивность звука пропорциональна квадрату звукового давления, то для характеристики восприятия человеком звуковых воздействий используется уровень звукового давления:

$$L_D = 20 \lg(P_{эв} / P_0), \quad (2)$$

где P_0 – пороговое звуковое давление, ощущаемое человеком и равное значению 2×10^{-5} Па на частоте 1000 Гц [2].

Человек, с точки зрения воздействия на него шума, является достаточно ранимым существом. Согласно ТКП 45-2.04-1574-2009 “Защита от шума. Строительные нормы проектирования” допустимый уровень звуковых помех, не препятствующий нормальному речевому общению людей в рабочем помещении объемом до 500 м³, должен быть не менее 60 дБ. Предельный уровень производственного шума лишь в течение нескольких часов для незащищенного слуха человека составляет 100 дБ, но при каждодневной длительной работе ведет к развитию у него профессиональ-

ного заболевания – шумовой глухоты. Допустимый уровень шумового воздействия в дневное время – не более 55 дБ, в ночное – не более 45 дБ [1].

Статистика утверждает, что в 95% случаев люди не предполагают о том, что шум наносит вред. Порог, при котором шум оборачивается во вред, очень низок 80 дБ. Простейший признак губительного воздействия повышенного шума на человека является повышение голоса при разговоре [3].

Таким образом, вредное воздействие шума на человеческий организм можно коротко свести к следующему: функциональные расстройства центральной нервной системы; повреждения нервных структур; сердечно-сосудистой системы; органов дыхания; органов пищеварения; иммунной системы, системы кроветворения; к невротическому и астеническому синдромам; раздражительности, общей слабости, головной боли, головокружению, повышенной утомляемости, расстройствам сна, ослаблением памяти.

Нами были сделаны шумовые замеры при строительстве жилого дома расположенного по ул. Героев обороны Брестской крепости, 29/1 в г. Бресте в квартале многоэтажной жилой застройки.

Целью настоящей работы являлось определение на базе расчетов достаточности размера санитарно-защитной зоны в пределах границ выделенной площадки для строительства 84-квартирного жилого дома по ул. ГОБК, 29/1 в г. Бресте, обеспечивающих снижение уровня негативного воздействия по физическому фактору воздействия (шуму) до установленных гигиенических нормативов на существующий объект – жилая застройка.

Территория планируемой застройки жилого дома по ул. ГОБК, 29/1 с севера граничит с ТРУП «Брестское отделение Белорусской железной дороги «Брестгрузтранслогистик», с запада – с производственной базой ОАО «Специализированная передвижная колонна 1» и ООО «Дробот», с востока – расположены жилые дома, с юга – жилые дома и проезжая часть улицы ГОБК.

Основными, одновременно работающими источниками шумового воздействия на территории рассматриваемых производственных площадок ТРУП «Брестское отделение Белорусской железной дороги «Брестгрузтранслогистик», ООО «Дробот», ОАО «Специализированная передвижная колонна 1» в г. Бресте является действующее технологическое оборудование.

В ремонтных мастерских и гаражах ТРУП «Брестское отделение Белорусской железной дороги «Брестгрузтранслогистик», ООО «Дробот» имеется следующее технологическое оборудование, являющееся основным источником шума: поршневой компрессор СБ4/с-100.АВ510, гильотина, сварочный аппарат – 2 шт., камера сушки, металлорежущий станок, токарный станок, сверлильный станок, шлифовальный станок.

На производственной площадке ОАО «Специализированная передвижная колонна 1» (ОАО «СПМК-1») действующее технологическое оборудование, являющееся основными источниками шума, отсутствует, основным источником шума является шум от линейного источника - транспортного шума.

В качестве препятствий для распространения шума рассмотрим все существующие здания и сооружения на производственных площадках ТРУП «Брестское отделение Белорусской железной дороги «Брестгрузтранслогистик», ООО «Дробот», ОАО «Специализированная передвижная колонна 1» в г. Бресте, в том числе существующее ограждение высотой 2 м, установленное по границам участков.

Расчет шума, проникающего из закрытого гаража, мастерских на территорию объединенной производственной площадки выполнен с использованием встроенного модуля программы «Эколог-Шум» «Расчет шума, проникающего из помещения на территорию» (версия 1.0).

Расчет производился для дневного времени (7 – 23 ч) для семи расчетных точек, все семь из которых расположены по существующим границам предприятий ООО «Дробот», ТРУП «Брестское отделение Белорусской железной дороги «Брестгрузтранслогистик», ОАО «Специализированная передвижная колонна 1», непосредственно ориентированы в сторону жилого дома.

Характеристика уровня акустического воздействия в расчетных точках представлены в таблице 1.

Результаты расчета шума показывают, что уровень звука с учетом звукопоглощения его части стенами, полом и потолком, а также поглощением его части существующими зданиями, существующим ограждением на пути его распространения, создаваемый: 1) существующим технологическим оборудованием; 2) движением грузовых поездов по железнодорожным путям к месту разгрузки с учетом заезда и движения автотранспорта по территории производственных площадок ООО «Дробот», ТРУП «Брестское отделение Белорусской железной дороги «Брестгрузтранслогистик», ОАО «Специализированная передвижная колонна 1»; 3) движение автомобилей по территории парковки проектируемого жилого дома в семи расчетных точках, расположенных по границам предприятий, ориентированных непосредственно в сторону проектируемого жилого дома, не превышает допустимые уровни звука.

Таким образом, результаты расчета позволяют принять размер санитарно-защитной зоны производственных площадок ООО «Дробот», ТРУП «Брестское отделение Белорусской железной дороги «Брестгрузтранслогистик», ОАО «Специализированная передвижная колонна 1» со стороны проектируемого жилого дома в пределах существующих границ площадок предприятий с точки зрения соблюдения гигиенических нормативов по физическому фактору воздействия – шуму.

При проведении измерений шума ГУ «Брестский ЗЦГиЭ», (протокол измерения шума от 15.07.2014 № 03-ПШ. КГ-2014/4849) в дневное время в трех контрольных точках на границе площадок предприятий ООО «Дробот», ТРУП «Брестское отделение Белорусской железной дороги «Брестгрузтранслогистик», ОАО «Специализированная передвижная колонна 1» со стороны проектируемого жилого дома выявлено, что эквивалентный фактический уровень звука составляет 46, 43, 42 дБА при нормативном 55 дБА (для жилой застройки) [4].

Заключение

Размер санитарно – защитной зоны для предприятий устанавливается в соответствии с санитарной классификацией на основании СанПиН «Требования к организации санитарно-защитных зон предприятий, сооружений и иных объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду», утвержденных постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 15 мая 2014 г. № 35: п.427 базовый размер санитарно-защитной зоны предприятия автосервиса по ремонту и обслуживанию грузовых автомобилей до 10 постов; легковых автомобилей свыше 10 постов – 100 м (участок размещения проектируемого объекта граничит с землями ТРУП «Брестское отделение Белорусской железной дороги «Брестгрузтранслогистик», ООО «Дробот»), п. 419 автомобильные стоянки, парковки для хранения грузового междугородного автотранспорта, грузовые терминалы – 100 м (участок размещения проектируемого объекта граничит с землями производственной базы ОАО «Специализированная передвижная колонна 1»).

Таблица 1 – Характеристика уровня акустического воздействия

Тип помещений и территорий	Время суток, ч	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни эквивалентного звука LA
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Дневное время (с 7 до 23 ч)											
Измеренные точки расположены по границам производственных площадок ООО «Дробот», ТРУП «Брестское отделение Белорусского государственного университета «Брестгрудтранслогистик», ОАО «Специализированная передвижная колонна 1» со стороны проектируемого жилого комплекса «С33», предлагаемая граница С33											
РТ 1	С 7 до 23 часов	51,1	50,4	49	42	36,1	31,5	26,7	21,5	16,7	39
РТ 2		51,9	51,1	49,5	42,6	36,6	31,9	27,1	21,4	16,2	39
РТ 3		51,9	50,7	48,2	40,7	34,3	29,2	23,7	17,2	10,5	37
РТ 4		52,6	51,8	49,7	42,6	36,4	31,5	26,1	19,9	13,5	39
РТ 5		52,2	51,3	49,1	42,1	36,1	31,4	26,5	20,5	14,7	39
РТ 6		51,3	49,3	45,9	38	31,5	26,4	20,8	12,5	0,1	35
РТ 7		55,2	54,7	53,3	46,4	40,4	35,9	31	25,5	20,4	43
Измеренные уровни звука на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам (согласно СНПиГН «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»)											
Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям школ, амбулаторий, поликлиник, домов престарелых, пансионатов, интернатов для инвалидов и инвалидов, учреждений образования, библиотек	С 7 до 23 часов	90	75	66	59	54	50	47	45	43	50
Вывод:		Превышений допустимых уровней нет									

Расчетный размер санитарно-защитной по фактору шумового воздействия подтвержден расчетами уровней шума на границе расчетной СЗЗ со стороны проектируемого жилого дома.

Для снижения уровня городского и транспортного шума широко используются средства архитектурно-планировочного и строительного характера. Нормативные значения уровней шума могут быть достигнуты в результате применения рациональной планировочной структуры, четкой организации движения транспортных потоков и других вспомогательных шумозащитных мероприятий.

К планировочно-строительным средствам борьбы с транспортным шумом относится строительство и улучшение автомобильных дорог. Особое внимание уделяется шумозащитным сооружениям: земляным насыпям, шумозащитным экранам, устанавливаемым вдоль транспортных магистралей.

Важную роль в защите от шума играют зеленые насаждения. Деревья высотой 7-9 м снижают общий уровень шума на 6-13 дБ летом и 2-6 дБ зимой, а полоса насаждений шириной 30-40 м уменьшает шумовое давление на 18-25 дБ [3].

Список литературы

1. ТКП 45-2.04-154-2009 «Защита от шума. Строительные нормы проектирования» [текст]. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2009. – 39 с.
2. СН 2.2.4/2.1,8,562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых общественных зданий и на территории жилой застройки» [текст]. – М.: Минздрав России, 1996. – 11 с.
3. Комкин, А.И. Шум и его воздействие на человека / А.И. Комкин. – М.: Новые технологии, 2004. – 216 с.
4. Программа для расчета шума “Эколог - Шум” версия 2.3

УДК 556.535.5

ХОД И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКЕ СЛУПИ В СЛУПСКЕ В ГОДЫ 1960-2013

Лукашевич Я.С.

Университет им.Адама Мицкевича в Познани, г. Познань, ул. Dziegielowa 27., 61-680. e-mail: janluk@amu.edu.pl, jan.tadeusz.lukaszewicz@gmail.com

This article presents the variability and a changeability of the ice phenomena on the Słupia River based on the data recorded in the water gauge station in Słupsk during the period from 1960 to 2013. The work aims to characterize and analyze the ice phenomena and risks associated with them occurred in the climate changes on the southern Baltic Seashore zone. This work presents and describes the time when the ice phenomena appeared (the date when the river froze), the duration of the ice covers the river and the date of thaw. There is shown and described the structure and form of the ice cover which appeared during the various phases as the phase of freezing, ice duration and the phase of thaw on the river.

Введение

В статье представлен анализ процесса изменчивости ледовых явлений на реке Слупии на основе данных, полученных на гидрометеорологической станции в Слупске в период с 1960 по 2013 годы. Автор изучает и описывает период появления ледового покрытия (дата замерзания реки), его продолжительность и время оттепели, представляет характеристику структуры и формы ледяного покрова во время различных его фаз, таких как фаза замерзания, фаза продолжительности обледенения реки и фаза оттепели.

Благоприятным условием для возникновения ледовых явлений на реке является падение температуры воздуха ниже 0°C, что непосредственно приводит к потере тепла водных масс. Важным условием является снижение скорости воды в реке (потеря турбулентного потока), а также наличие холодных водных масс с большой долей суспензий (особенно минеральных суспензий), частицы которых являются ядрами конденсации (Lambor, 1948, 1959). Первичные формы льда, которые обычно появляются в первой фазе замерзания реки, донного льда и шуги, принято называть внутриводным льдом (Dobrowolski, 1923). Донный лед, в зависимости от характера реки, может выступать или в виде оболочки плотной структуры, покрывающей дно неравномерно, в зависимости от его формы, или в виде губчато-пушистых наростов, расположенных, главным образом, в тех областях, где движение воды менее турбулентно (Dobrowolski, 1923), (Głodek, 1964, 1975).

Шуга является начальным этапом формирования ледяного покрова. После того, как донный лед в результате движения воды или свойств ее плавучести отрывается от дна и всплывает одновременно с шугой, наблюдается явление, называемое движением внутриводного льда (Głodek, 1964). Очень часто донный лед может блокировать сечение русла, создавая ледяной затор. Донный лед всплывает в виде дисков разного размера, окруженных с внешней стороны белым ободком. Диски в первой фазе являют собой рыхлую массу кристаллов льда, но постепенно начинают формировать плотную массу (тонкий ледяной покров). Этот процесс развивается постепенно в двух направлениях: вертикально (утолщение слоя льда) и горизонтально (по направлению к середине реки). На начальном этапе процесс происходит вдоль берегов, образующих границу льда. Это связано с уменьшением скорости потока воды, трением воды о дно и границы русла реки (Mikulski, 1965).

Постепенно происходит частичное замерзание реки, которое начинает влиять на изменение характера потока и может вызвать наслоение льдин. Частичное замерзание реки начинается с появлением берегового льда, а заканчивается полным замерзанием реки (Głodek, 1964). Увеличение ледяного покрова осуществляется путем кристаллизации воды, которая находится в непосредственном контакте со льдом. Последним этапом является исчезновение ледяного покрова, что связано с его таянием в связи с повышением температуры воды. Это явление сопровождается таянием льда и образованием дрейфующих льдин. В местах слияния рек при возникновении природных или антропогенных препятствий накапливается большое количество льда, что, в свою очередь, может привести к наводнениям (Mikulski, 1965).

Климатические условия Польши, интенсивность замерзания реки и продолжительность ледяного покрова, как правило, подвержены высоким колебаниям. Различия в образовании и продолжительности ледовых явлений зависят от географического положения реки, гидрологических условий и климата. Замерзание реки изменяет гидрологические характеристики (изменение состояния и течения воды) и изменяет скорость оттока из бассейна, а также оказывает существенное влияние на экосистему реки. Кроме того, можно отметить, что анализ ряда наблюдений ледовых явлений показал, что они не являются достаточно изученным индикатором климатических изменений (Magnuson и др., 2000). Таким образом, значительное влияние ледовых явлений оправдывает актуальность исследований в этой области, и этим обусловлено большое количество исследований, связанных с наличием ледовых явлений на реках Польши: Dobrowolski (1923), Zubrzycki (1927), Kolberg (1861 г.), Słowikowski (1892 г.), Łomniewski (1935), Paczoska (1938), Lambor (1948, 1959), Голек (1957, 1964), Wokroj (1954), Wiśniewski (1975), Karabon (1980), Majewski (1985, 1987, 2009), Grześ (1991, 1999), Grześ, Pawłowski (2006), Pawłowski (2008a, б), Pawłowski, Sobota (2012).

Цель работы

Целью работы является характеристика и анализ ледовых явлений на фоне климатических изменений в южном поясе Балтийского моря. Анализ ледовых явлений выполнен на основе данных за период с 1960 по 2013 год, т.е. за 53 года.

Наблюдение ледовых явлений на реках Польши, как правило, осуществляется одновременно с измерениями уровня воды, поэтому они проводятся на гидрометрических станциях. До 1983 года Институт метеорологии и водного хозяйства пользовался следующим делением форм (типов) ледовых явлений, наблюдаемых на реках: шуга, береговой лед, плавучий лед, ледяной покров и частичное замерзание реки. С 1983 года Институт метеорологии и водного хозяйства использует новое, более детальное разделение, которое включает в себя следующие виды (формы) ледовых явлений: 1-шуга, 2-льдина, 3-береговой лед, 4-ледяной покров, 5 - ледяной затор, 6-береговой лед и шуга, 7-береговой лед и льдина, 8-шуга и льдина, 9 - затор донного льда.

Заключение

Изменение климата происходит в южном поясе Балтийского моря, что выражается повышением температуры воздуха, и это значительно влияет на сокращение продолжительности ледовых явлений на реке Слупия, что особенно заметно за последние два десятилетия. Ледовые явления начинаются позже и заканчиваются раньше.

Ледовые явления и в особенности анализ их последовательности и течения подтверждает, что они являются индикатором изменения климата, что доказывают результаты исследования. Если ледовые явления на реке не появляются, это означает, что среднегодовая температура воздуха превышает $8,5^{\circ}\text{C}$. Значения температуры воздуха могут отличаться в зависимости от географического положения реки. Это может стать основой для дальнейших исследований в этой области и продолжения данного исследования, проведенного Magnuson и др. (2002).

При повышении температуры типы явлений, наблюдаемых на реке, также изменятся. В более поздний период наблюдения ледяной покров, плавучий лед, ледяные заторы на реке не зафиксированы, наблюдаются более мягкие формы – береговой лед и внутриводный лед

Выводы

Самая большая продолжительность ледовых явлений на реке Слупия (гидрометрическая станция в Слупске) с 1960 по 2013 составляла 79 дней, что было отмечено в 1963 году, а самая короткая два дня в 1999 году (рисунок 1).

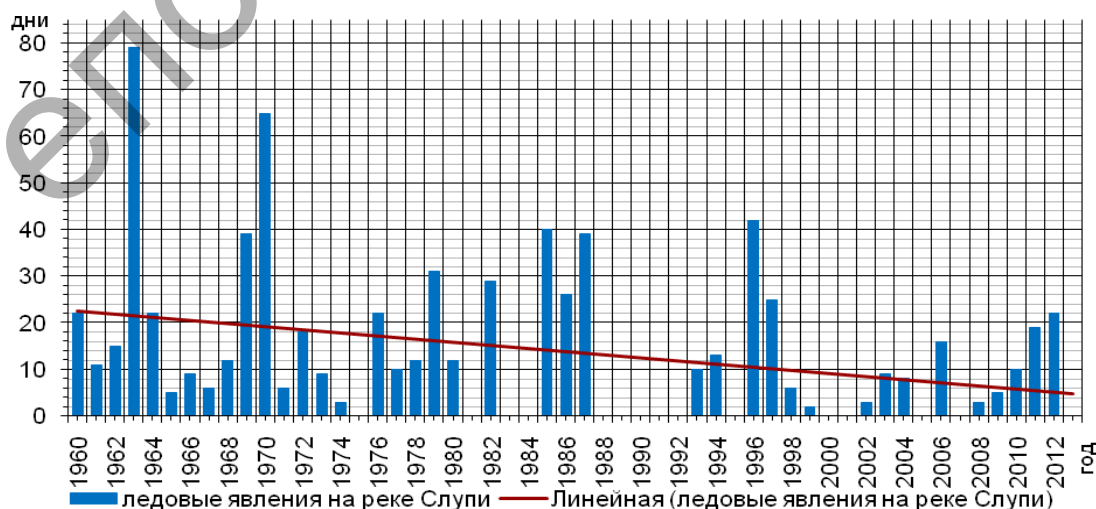


Рисунок 1 – Количество ледовых явлений на реке Слупи в годы 1960-2013

Из всех возможных форм и видов льда на реке чаще всего появлялись одновременно береговой лед и шуга на протяжении 310 дней, что составляет 42% от всех наблюдаемых форм в течение 53 лет. Второй наиболее распространенной формой был сам береговой лед 213 дней (29%). На третьем месте наиболее распространенной формой была сама шуга, 167 дней (23%). Еще одним ледовым феноменом стало появление одновременно берегового льда и льдины 22 дня (3%): сама льдина наблюдалась в течение 10 дней (1%), ледовой затор на реке 8 дней (1%), одновременно шуга и льдина 4 дня (1%). Менее всего проявлялся постоянный ледяной покров, который на протяжении всего рассматриваемого периода наблюдался только один раз (1 день), что является долей процента. А такая форма, как затор донного льда, не наблюдался вовсе. В рассматриваемый период (53 года) в течение 14 лет ледовых явлений на реке не наблюдалось, что составляет 26%. В остальные 39 лет (74%) ледовые явления появлялись (рисунок 2).

Самая большая продолжительность ледовых явлений в период исследования приходится на январь 342 дня (47%), дальше следует февраль 224 дня (30%), затем декабрь 134 дня (18%) и март 32 дня (4%), (рисунок 3). Стоит отметить, что ледовые феномены не появляются на реке в весь зимний период, например, в ноябре или апреле. Можно предположить, что это связано со спецификой климатических условий в долине реки. Станция, на которой вели наблюдения ледовых явлений, расположена в прибрежной зоне Балтийского моря, термическое влияние которого оказывает существенное влияние на относительное удлинение и сдвиг периодов перехода времен года (позже начинаются и позже заканчиваются), в то время как лето и зима длятся сравнительно короткое время. По этой причине температура воздуха в области понижается медленнее, чем в остальной части метеорологических станций (Baranowski, 2008).

Наличие моря обуславливает незначительное колебание суточной и годовой амплитуд температуры воздуха, в основном летом и зимой. Морские зимы мягче, чем в остальной части страны, а весна более холодная, чем осень (Woś A., 1996).

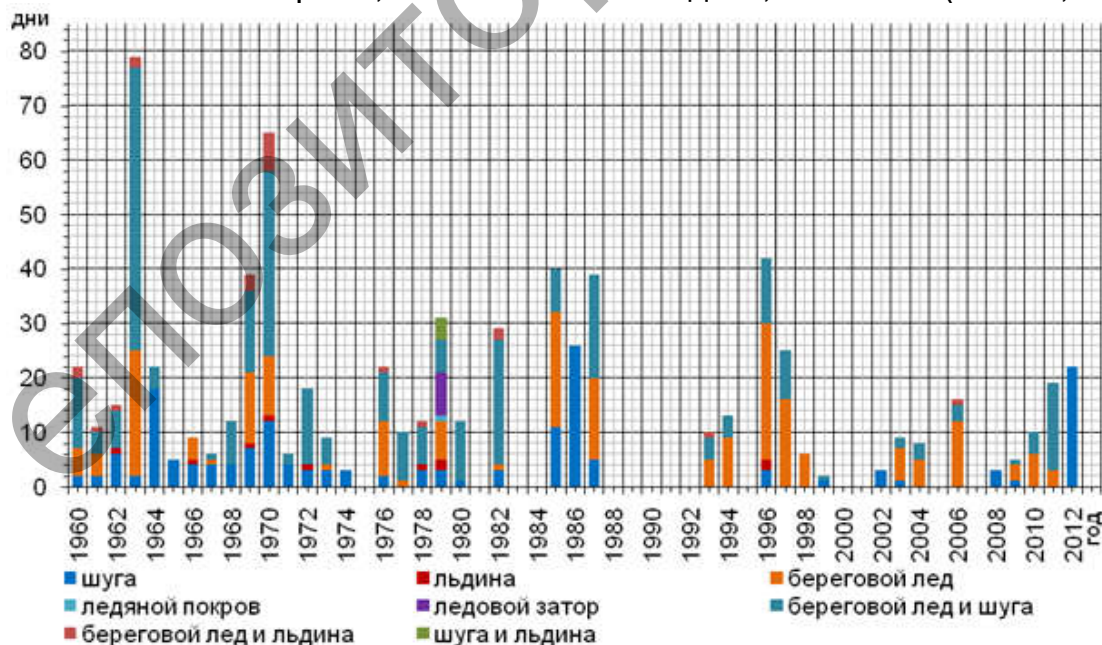


Рисунок 2 – Типы и формы льда на реке Слупи в годы 1960-2013

Описанные тенденции температуры воздуха и ее воздействия на регион Балтийского моря могут оказать существенное влияние на ход, характер и распределение ледовых явлений на реке. Это влияние отражает процентное распределение явлений в отдельные месяцы зимнего периода (рисунок 3). Сред-

ний годовой ход температуры воздуха также может изменить в значительной степени количество дней, в какие появляются ледовые явления на реке, и их тип (рисунок 4.)

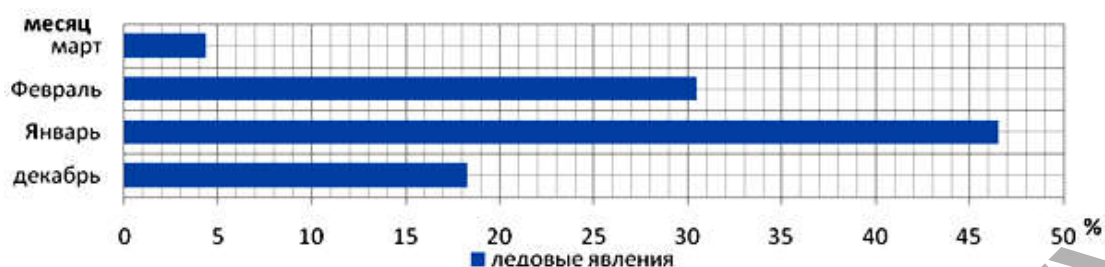


Рисунок 3 – Ледовые явления в месяцах в годы 1960-2013

В декабре наиболее выраженной формой льда был береговой лед с шугой в течение 73 дней (54%), затем сам прибрежный лед – 39 дней (29%), шуга – 17 дней (13%) береговой лед и плавучий лед – 3 дня (2%), плавучий лед наблюдался в течение 1 дня (1%).

Декабрь – это единственный месяц, в котором можно было наблюдать постоянный ледяной покров на реке. Это произошло только однажды, в 1979 году (рисунок 2)

В январе можно наблюдать большинство ледовых явлений на реке Слупии 7 форм (типов) льда. Это также единственный месяц, когда был замечен ледовой затор.

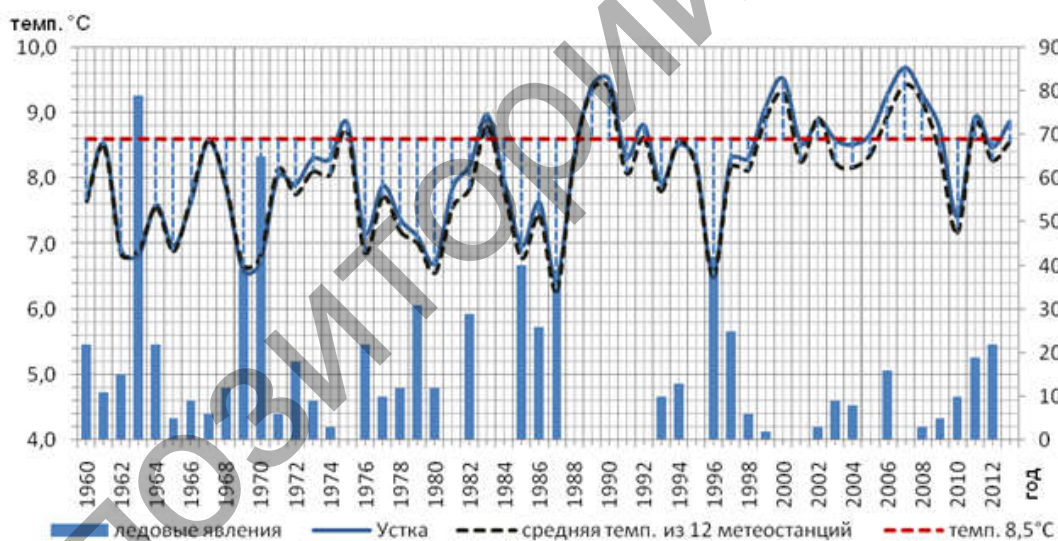


Рисунок 4 – Ход ледовых явлений на фоне изменений температуры воздуха в годы 1960-2013

Распределение ледовых явлений на реке в течение месяца января выглядит следующим образом: береговой лед с шугой – 166 дней (48%), береговой лед – 113 дней (33%), шуга – 38 дней (11%), береговой лед и льдина – 11 дней (3%), ледовой затор – 8 дней (2%), шуга и льдина – 4 дня (1%), и самальдина – 3 дня (1%). Январь также является одним из двух месяцев (вместе с февралем), в котором были зарегистрированы ледовые явления в течение всего месяца (31 день), которые имели место в 1963 г. К годам с достаточным количеством наблюдаемых ледовых явлений относятся 1969, 1970, 1979, 1985, 1987, 1997 и 2006 (рисунок 5).

Следующий месяц с наиболее разнообразными ледовыми явлениями - февраль (5 видов льда на реке). В феврале было зарегистрировано наибольшее

шее число дней с ледовыми явлениями на реке. Распределение ледовых явлений в феврале выглядит следующим образом: шуга – 93 дня (41%), шуга и береговой лед – 65 дней (29%), береговой лед – 53 дня (24%), береговой лед и льдина – 8 дней (4%), и самальдина – 5 дней (2%). Месяцем с наименьшим количеством зафиксированных ледовых явлений стал март. Отмечены только 3 формы: шуга – 20 дней (61%), береговой лед – 7 дней (21%), береговой лед и шуга – 5 дней (15%).

Самой ранней формой ледовых явлений были шуга и береговой лед в период 1960-1994 гг., которые появились в первой половине декабря, например, в 1994 году 1 декабря, а в 1960 году 6 декабря. В последующие годы 1995-2013 ледовые явления появлялись не раньше 17 дня месяца (рис.5). В январе ледовые феномены часто присутствовали в первый день месяца – в 1962, 1963, 1969, 1970, 1973, 1977, 1979, 1993, 1996, 1997 и были следствием появления ледовых явлений в декабре (расширение). В феврале ледовые явления чаще всего подходят к концу.

Лед сохраняется в основном во второй половине месяца, часто в последнюю неделю. Это прослеживается в 1963, 1964, 1965, 1968, 1970, 1986, 1996 и 2012. Преобладающей формой льда в этом месяце является шуга, но также наблюдается плавучий лед. Наслоение льдин в феврале является самым длительным процессом по количеству дней, второй месяц, в котором наблюдается это явление, январь. Незначительное наслоение льдин также происходит в декабре. Ледовые явления наблюдаются на реке в те годы, в которые зафиксирована самая низкая температура воздуха, 1963, 1964, 1969, 1970, 1971, 1986, 1987 и 2011 г.г. (рисунок 4).

После 1995 году ледовые явления появляются на реке все позже, а исчезновение ледяного покрова происходит быстрее, чем в первые десятилетия исследуемого периода (рисунок 5). Значительное влияние на это имеет существенное повышение температуры воздуха, зафиксированное в последние десятилетия. Особенно заметное повышение температуры воздуха наблюдалось в 1988. (рисунок 4). Влияние повышения температуры воздуха на течение ледовых явлений подтверждается многочисленными климатическими исследованиями. Особенно заметны тепловые изменения зимой (Kirschenstein, Baranowski, 2009).

На течение и характер ледовых явлений влияют не только специфические климатические условия в долине реки Слупия. Это главным образом обусловлено наличием Балтийского моря, а также вышеупомянутого положения долины реки и типа питания реки, а также ее геоморфологии и гидрологии. Реки, расположенные в поясе южно-балтийского Поморья, характеризуются подавляющим преобладанием подземного типа питания (70-75%) над поверхностным (Orszynowicz 1973, Paszczyk, 1975, Tomaszewski, 2001, Bogdanowicz 2004, Wrzesiński, Brychczyński, 2014).

Подземные воды имеют самую высокую плотность, а это, в свою очередь, влияет на температуру массы воды, наименьшее значение которой 4°C. Это важный фактор, так как температура воздуха существенно влияет на частоту и фазовость, а также формирует интенсивность проявления ледовых явлений на реке (ослабляя их). На течение ледовых явлений могут повлиять и такие факторы, как выравнивание оттока в течение года, обусловленное климатом и характеризующееся достаточно равномерным распределением осадков в течение года, а также присутствие в верхних участках реки резких спусков до 7% (Florek и др., 1989). Одним из очень важных элементов является влияние такой антропогенной деятельности, осуществляемой в долине реки, как строительство гидротехнических сооружений. Работа осуществляется в русле реки, изменения которого могут существенно изменить гидрологические характеристики реки: изменение потока воды, его скорость и падение.

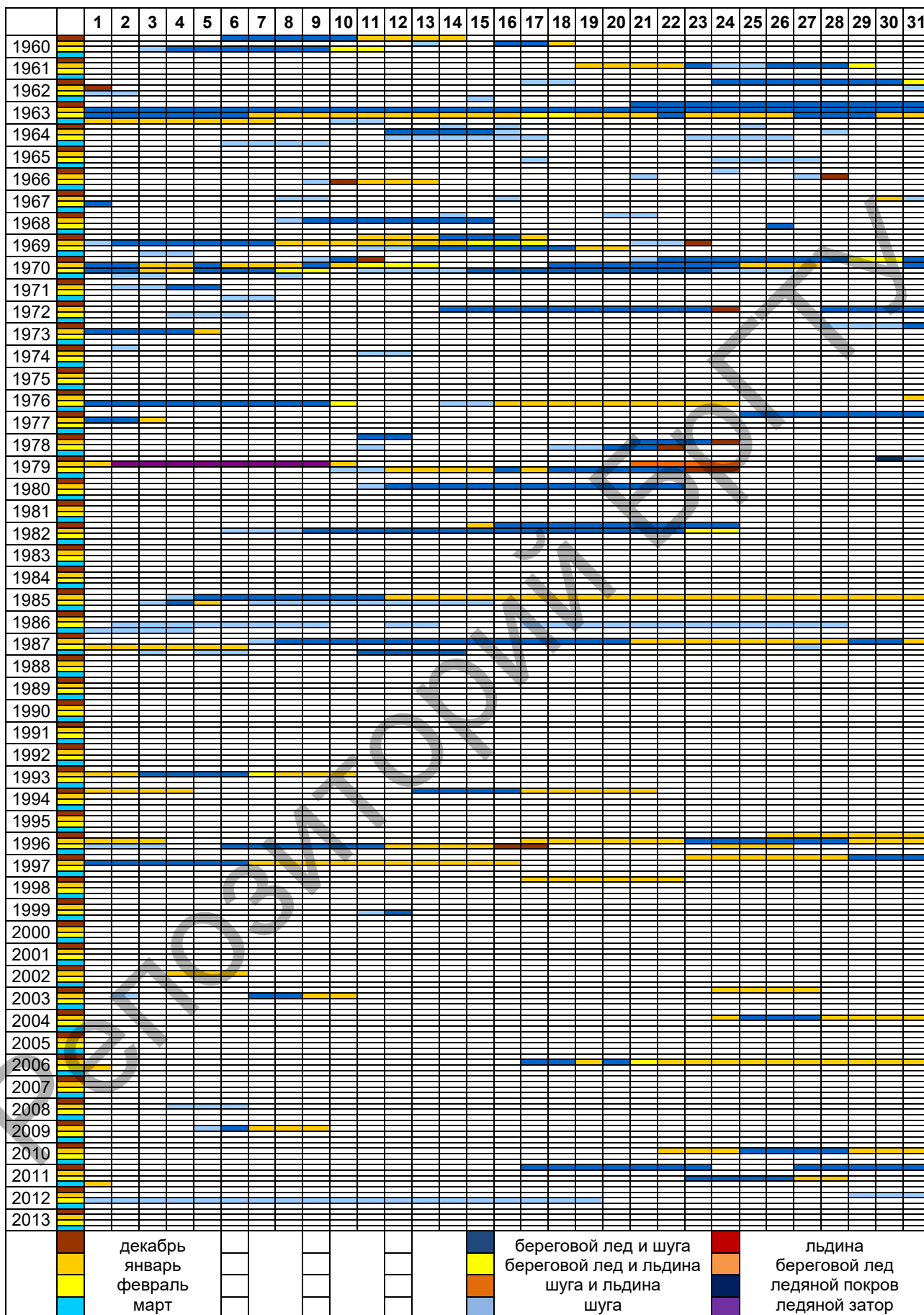


Рисунок 5 – Ход ледовых явлений в делении на дни

Список литературы

1. Bogdanowicz R., 2009. Zasoby rzek Przymorza i ich zmienność, [w:] R. Bogdanowicz, J. Fac-Beneda (red.), Zasoby i ochrona wód - Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 47-62.
2. Dobrowolski A. B., 1923. Historia naturalna lodu (Natural history of ice). Wydawnictwo Kasy Pomocy im. J. Mianowskiego, Warszawa.
3. Gołek J., 1957. Zjawiska lodowe na rzekach polskich (Ice phenomena on Polish rivers). Prace PIHM, 48, Wydawnictwa Komunikacyjne, Warszawa.
4. Gołek J., 1964. Zlodzenie rzek polskich (Ice formation of Polish rivers). Prace PIHM, 63, Wydawnictwa Komunikacyjne, Warszawa.
5. Grześ M., 1991: Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle – mechanizmy i warunki (Ice jams and floods on the lower Vistula River). IGiPZ PAN, Warszawa.
6. Grześ M., 1999: Rola zjawisk lodowych w kształtowaniu koryta dolnej Wisły (Impact of ice phenomena on the river bed of the Lower River). Acta Universitatis Nicolai Copernici, Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, Geografia, 103, Wydawnictwo UMK, Toruń: 113–128.
7. Grześ M., Pawłowski B., 2006. Metody identyfikacji zatorowych odcinków rzek. In: Idee i praktyczny uniwersalizm geografii: geografia fizyczna (Concepts and practical universality of geography: physical geography), P. Gierszewski, M.T. Karasiewicz (eds.), Dokumentacja Geograficzna, 32, IGiPZ PAN, Warszawa: 94–98.
8. Karabon J., 1980. Morfogenetyczna działalność wód wezbraniowych związana z zatorami lodowymi w dolinie Wisły Środkowej (Morphogenetic impact of high water caused by ice jams in the Middle Vistula River valley). Przegląd Geologiczny, 9 (329), Warszawa: 512–515.
9. Kirschenstein M, Baranowski D., 2009, Wahania roczne i tendencje zmian temperatury powietrza w Koszalinie [w:] Słupskie prace geograficzne nr 6, Wyd. Akademii Pomorskiej w Słupsku, Słupsk, s 167-178
10. Kolberg W., 1861. Wisła, jej bieg, własności i spławność (The Vistula, its course, properties and navigability), 2. W Drukarni J. Jaworskiego, Warszawa.
11. Lambor J., 1948. Geneza lodu prądowego i jego pojawianie się na rzekach środkowoeuropejskich zlewniska Morza Bałtyckiego (The genesis of current ice and its appearance on the Central-European rivers of the drainage basin of the Baltic Sea). Wiadomości Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, I, 3, Warszawa: 213–244.
12. Lambor J., 1959. Zjawiska lodowe na śródlądowych drogach wodnych w Polsce (Ice phenomena on the inland waterways in Poland). Prace i Studia Komitetu Gospodarki Wodnej, Prace Hydrologiczne, II, 1, Warszawa: 121–138.
13. Łomniewski K., 1935. Zjawiska i okres lodowy w prawym dorzeczu górnej Wisły (Ice phenomena and freeze period in the right-bank basin of the Upper Vistula River). Sprawozdania Dyrekcji Państwowego Gimnazjum, Wejherowo.
14. Magnuson J.J., Robertson D.M., Benson D.J., Wynne R.H., Livingstone D.M., Arai T., Assel R.A., Barry R.G., Card V., Kuusisto E., Granin N.G., Prowse T.D., Stewart K.M., Vuglinski V.S., 2000. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. Science, 289/2000: 1743-1746.
15. Majewski W., 1985. Opory przepływu wywołane pokrywą lodową. In: W. Majewski (ed.), Powódź zatorowa na Wiśle w rejonie zbiornika „Włocławek” w zimie 1982 r. (Ice jam flood on the Vistula in the region of the Włocławek reservoir in the winter of 1982). Komitet Gospodarki Wodnej PAN, Seria Monografie, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa: 218–225.
16. Majewski W., 1987. Wpływ pokrywy lodowej na charakterystykę hydrauliczną zbiorników przepływowych na rzekach nizinnych na przykładzie zbiornika Włocławek (The effect of the ice cover on the hydraulic characteristics of the flow-through reservoirs on lowland rivers, based on the example of the Włocławek reservoir). Prace Instytutu Budownictwa Wodnego PAN, 15, Gdańsk.
17. Majewski W., 2009. Przepływy w korytach otwartych z uwzględnieniem zjawisk lodowych (Flows in open channel and ice phenomena). Monografie IMGW, Warszawa.
18. Mikulski Z, 1965. Zarys hydrografii Polski (Outline of hydrography in Poland). PWN, Warszawa.
19. Orsztynowicz J., 1973. Odpływ podziemny rzek polskich, Gospodarka Wodna, 5.

20. Paczoska Z., 1938. Zamarzanie rzek w Polsce (River freezing in Poland). Wiadomości Służby Hydrograficznej, 5, Warszawa.
21. Paszczyk J.L., 1975. Rola wód podziemnych w odpływie rzeczonym i bilansie wodnym Polski, Lublin.
22. Pawłowski B., 2008a. Wieleletnia zmienność przebiegu zjawisk lodowych na Wiśle w Toruniu (Multiyear variability of ice phenomena in the Vistula River in Toruń). Gospodarka Wodna, 2, Wydawnictwo SIGMA-NOT, Warszawa: 49–53.
23. Pawłowski B., 2008b. Zmienność geometrii koryta dolnej Wisły w okresie zlodzenia rzeki (Changeability of geometry of the riverbed of the Lower Vistula River in freeze period). Gospodarka Wodna, 7, Wydawnictwo SIGMA-NOT, Warszawa: 276–280.
24. Pawłowski B., Sobota I., 2012. Zlodzenie dolnej Wisły powyżej zapory we Włocławku zima 2011 r. (Freezing of the Lower Vistula River upstream of the Włocławek dam in the winter of 2011). Gospodarka Wodna, 2, Wydawnictwo SIGMA-NOT, Warszawa: 74–77.
25. Słowikowski J., 1892. Charakterystyka Wisły i o zjawiskach towarzyszących zamarzaniu rzek (Characteristics of the Vistula and concerning phenomena accompanying the freezing of rivers). Pamiętniki Fizjograficzne, 22, Warszawa: 181–214.
26. Tomaszewski E., 2001. Szezonowe zmiany odpływu podziemnego w Polsce w latach 1971-1990, Acta Geographica Lodziensia, 79.
27. Wiśniewski B., 1975. Ochrona przed zlodzeniem i zatorami, przebieg i zakres występowania w Polsce. In: A. Arkuszewski, In: A. Arkuszewski, A. Byczkowski (eds.), Ochrona przed powodzią (Flood protection), 3-4. Wydawnictwo Czasopism Technicznych NOT, Warszawa 123-232
28. Wokroj J., 1954. Powodzie zatorowe i walka z nimi (Ice jam flood and its control). Gospodarka Wodna, 4, Warszawa: 141– 142.
29. Woś A., 1996. Zarys klimatu Polski, Wyd. Wyd. 2, UAM, Poznań.
30. Wrzesiński D., Brychczyński A., 2014. Zróżnicowanie reżimu odpływu rzek w północno-zachodniej Polsce. Badania Fizjograficzne R.V. seria A. Geografia fizyczna (A65). s 261-274.
31. Zubrzycki T., 1927. Okres lodowy na wodach płynących Polski (Freeze period in flowing waters in Poland). Prace Meteorologiczno-Hydrologiczne, IV, Warszawa.

УДК 635.9.635.92(075.8)

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ЛЕГКИХ И СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ПРИ ОРОШЕНИИ ГАЗОНОВ

Мажайский Ю.А.¹, Т. С. Лазарева Т.С.²

¹Мещерский филиал ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г.Рязань, Россия.

²ФГБОУ ВО «РГАТУ имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

mail@mntc.pro, tassel85@gmail.com

Conducted research on water regime of soils and the irrigation of lawns, as well as the total amount of moisture the grass herbage. The elements of irrigation regime on herbage grass seed years 2012-2014 research found that the irrigation regime coverings greatly varies depending on heat and humidity of the vegetation period. Developed the operational mode of irrigation for turf grass stands and its elements on sod-podzolic loamy and sandy loam soils for various moisture years. Identified elements of the water balance and total flow rate of moisture grass seed mixtures depending on the granulometric composition of soils and climatic conditions of the year. Thus, the maintenance of lawns in the process of operation of facilities should be based on the organization of competent care for the grass and turf with the turf and its use, species composition of herbs, the content of substances in the soil root layer, its physical properties. When developing activities for the maintenance of lawns of different types to consider the life cycle of lawn grasses. The livelihoods of the grass cover of a lawn maintains optimum water regime in the soil and inside the plant body. Water regime influences plant nutrition, the intensity of vegetative repro-

duction, the overall condition of plant community. The grass should ensure the necessary supply of moisture to maintain its decorative effect. The optimum moisture content of the soil under turf grasses according to the results of research should be 60...70% field capacity of this soil.

Введение

В настоящее время в связи с ростом промышленности наблюдаются процессы урбанизации территории, которые сопровождаются загрязнением воздуха и воды химическими веществами. В этой связи газоны вносят большой вклад в улучшение экологического состояния окружающей природной среды и в настоящее время они занимают более 50% площади зеленых насаждений.

В условиях недостаточного и неустойчивого естественного увлажнения большое значение придаётся орошению и созданию оптимального водного режима почв для формирования газонных покрытий. С учётом особенностей водного режима дерновых покрытий газонов в настоящее время ведутся разработки режима орошения газонных покрытий, обладающих высокой плотностью посевов применительно к конкретным природным условиям [1–3]. Однако для условий Рязанской области практически не изучен водный режим почв при орошении и не разработан режим орошения газонных травостоев. В связи с этим основной целью наших исследований являлось изучение водного режима почв при орошении и разработка эксплуатационного режима орошения газонных травостоев, обеспечивающих формирование прочного высококачественного дернового покрытия на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых и супесчаных почвах Рязанской области.

Исследования по изучению водного режима почв и разработке оптимального режима орошения и его элементов проводились на двух опытных участках, расположенных в фермерских хозяйствах Рязанского района Рязанской области. Почва первого опытного участка тяжелосуглинистая. В слое почвы 0-20 см плотность сложения составляет $1,36 \text{ г/см}^3$, общая пористость – 48%, наименьшая влагоёмкость – 22,8%, содержание гумуса – 2,26%, солевая вытяжка близка к нейтрально ($\text{pH}=6,2$ ед.), содержание подвижного фосфора – 84,4 мг/кг и обменного калия – 65 мг/кг. Почва второго опытного участка супесчаная. В пахотном слое 0–20 см плотность сложения высокая ($1,60 \text{ г/см}^3$), общая пористость – 41%, наименьшая влагоёмкость – 14,9%, солевая вытяжка среднекислая ($\text{pH} = 5,0$ ед.), P_2O_5 – 45 мг/кг, K_2O – 33 мг/кг. Таким образом, по исходным показателям свойств тяжелосуглинистая почва обладает лучшими почвенными показателями, чем супесчаная.

За период исследований наиболее теплым и засушливым вегетационным периодом (апрель-октябрь) выделялся 2014 г. Среднесуточная температура воздуха была $4,5\text{C}^0$ выше, что среднемноголетних значений на $1,7\text{C}^0$, а сумма осадков было 42 мм, что меньше нормы на 34,6%. Вегетационный период 2013 г. был наиболее влажным и относительно теплым. Температура воздуха превышала среднюю многолетнюю величину на $0,5\text{C}^0$, а сумма осадков за этот период превышала норму на 36,6%. Период апрель–октябрь 2012 г. по температурному режиму был близким к среднемноголетним показателям, а по количеству осадков был влажным (на 18% больше нормы).

Дефицит естественного увлажнения в вегетационный период 2014 г. составлял 476,9 мм и был больше многолетних значений на 219,6 мм или на 83%, а в 2012–2013 гг. – соответственно на 221,3 и 165,5 мм, что свидетельствует о необходимости в теплый период проводить орошение газонных трав.

Опыты были заложены одновременно в апреле 2012 г., где изучались одновидовые газонные травы и их травосмеси. Схема опыта приведена в табл. 1. Всего изучалось 6 одновидовых трав и три травосмеси. Повторность опытов принималась трехкратной. Площадь опытной делянки $3 \times 4 = 12 \text{ м}^2$ с рендомизированным их расположением. При проведении исследований использовались общепринятые и современные методики. Влажность почвы весной и осенью определяли термостатно-весовым методом [4], а в вегетационный период перед поливом при снижении влажности почвы в слое 0–10 см до 80% от наименьшей влагоёмкости по тензиометрам, установленным на глубину 10 см. Суммарный расход влаги газонным травостоем определялся водобалансовым методом [5].

На опытных участках была проведена подготовка почвы, а 16 апреля 2012 г. проведен посев газонных трав. В опытах технология обработки почвы под газоны использовалась зональная. В начале апреля 2012 г. были проведены следующие агротехнологические мероприятия: вспашка, культивация, боронование и прикатывание почвы. Перед посевом были внесены минеральные удобрения и известь. Посев семян газонных растений проводили 16 апреля 2012 г. вручную. Глубина посева составляла 1,0–1,5 см. Нормы высева газонных трав принимались оптимальные, в соответствии с принятыми рекомендациями.

Уход за посевами злаковых травостоев в 2012–2014 гг. состоял из удаления сорной растительности, систематических поливов, аэрации почвы методом прокалывания, подкормок минеральными удобрениями и регулярного скашивания.

Таблица 1 –Схема полевых опытов I и II

№пп	Видовой состав			
	Одновидовые		%	Сорт
1	Овсяница красная	<i>Festuca rubra</i> L.	100	Смирна
2	Овсяница красная красная	<i>Festuca rubra rubra</i> L.	100	Тамара
3	Овсяница овечья	<i>Festuca ovina</i> L.	100	Риду
4	Мятлик луговой	<i>Poa pratensis</i> L.	100	Балин
5	Полевица столонообразующая	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	100	Кроми
6	Райграс пастбищный	<i>Lolium perenne</i> L.	100	Сакини
1-я травосмесь				
7	Овсяница красная красная	<i>Festuca rubra rubra</i> L.	50	Тамара
	Мятлик луговой	<i>Poa pratensis</i> L.	40	Балин
	Полевица столонообразующая	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	10	Кроми
2-я травосмесь				
8	Овсяница красная	<i>Festuca rubra</i> L.	40	Смирна
	Овсяница овечья	<i>Festuca ovina</i> L.	30	Риду
	Райграс пастбищный	<i>Lolium perenne</i> L.	30	Сакини
3-я травосмесь				
9	Полевица столонообразующая	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	35	Кроми
	Овсяница красная	<i>Festuca rubra</i> L.	35	Тамара
	Мятлик луговой	<i>Poa pratensis</i> L.	20	Конни
	Овсяница красная красная	<i>Festuca rubra rubra</i> L.		

Водный режим почв при формировании газонов в условиях орошения определяется режимом уровня залегания грунтовых вод, влажностью почвы, режимом орошения газонных травостоев и их суммарным расходом. В среднем за период вегетации газонных травостоев (IV–X) в зоне слабого действия осушительной системы на тяжелосуглинистых почвах первого опытного участка грунтовые воды залегали на глубине 117 см в 2012 г.; 101 см в 2013 г и 163 см в 2014 г., а в среднем за три года исследований – на глубине 127 см. В опыте 2

динамика режима грунтовых вод по годам исследований за вегетационный период газонных трав оставалась аналогичной опыту 1. Однако уровень грунтовых вод на супесчаных почвах второго опытного участка в тех же мелиоративных условиях залегал ниже, чем в опыте 1 в среднем на 15–20 см из-за облегченного гранулометрического состава почв и грунтов и более высокой их фильтрационной способности. В целом по годам вегетации грунтовые воды в опыте 2 находились соответственно на глубине 138 см, 117 см и 184 см.

В зависимости от тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода газонных трав изменяется режим орошения (табл. 2). Число поливов в годы исследований в опыте 1 изменялось от 10 до 19, а оросительные нормы – от 625 до 1184 м³/га. В опыте 2 эти показатели соответственно составляли от 16 до 26 поливов и от 772 до 1247 м³/га. В вегетационный период 2012 г., который характеризовался средними температурами воздуха и относительно большим количеством осадков в опыте 1, было проведено 11 поливов газонных травостоев средними поливными нормами 62,9 м³/га при оросительной норме 692 м³/га. Поливы в сухой сезон были проведены через каждые 5–8 дней. Оросительный период при этом продолжался с 22 мая по 21 сентября и составлял 123 суток. В опыте 2 на легких почвах в 2012 г было проведено 18 поливов со средней поливной нормой 48 м³/га при оросительной норме 864 м³/га в период со 2 мая по 28 сентября. Межполивные интервалы в сухие периоды изменялись в узких пределах 4-6 дней и в среднем составляли 8 дне, а оросительный период – 150 суток. Второй год исследований (2013 г.) был относительно теплым и влажным. В первую половину вегетации при высоких температурах воздуха осадки практически не выпадали. В опыте 1 за вегетационный период 2013 г. было проведено 10 поливов в среднем с 9 мая по 31 августа, поливными нормами от 60,4 до 64,7 м³/га с оросительной нормой 625 м³/га. Межполивной период при этом составлял 6–20 суток, а оросительный период – 114 суток. В опыте 2 за 2014 г. было проведено 16 поливов со средней поливной нормой 48,3 м³/га и оросительной нормой 772 м³/га.

Таблица 2 – Режим орошения газонных травостоев

Год исследований	Опыт 1			Опыт 2		
	Число поливов	Норма полива, м ³ /га	Оросительная норма, м ³ /га	Число поливов	Норма полива, м ³ /га	Оросительная норма, м ³ /га
2012	11	60,5-64,2	692	18	46,1-50,0	864
2013	10	60,7-64,7	625	16	46,2-49,9	772
2014	19	60,0-64,8	1184	26	46,0-49,7	1247

Вегетационный период 2014 г был очень теплым и засушливым. За период вегетации газонных трав в опыте 1 было проведено 19 поливов средними поливными нормами по 62,3 м³/га при оросительной норме 1184 м³/га. В зависимости от выпадающих осадков и испаряемости межполивные интервалы измерялись от 5 до 19 дней. При этом оросительный период составил 149 суток. На лёгких почвах опыта 2 в 2014 году было проведено 26 поливов со средней поливной нормой 48 м³/га при оросительной норме 1247 м³/га. При этом межполивные интервалы составляли 4–9 суток, а оросительный период – 155 суток.

Влажность активного слоя почвы (0–10 см) в течение трехлетнего периода вегетации газонных трав поддерживалась поливами на достаточно высоком уровне – 80% от наименьшей влагоёмкости. При этом наиболее высокая влажность почвы фиксировалась в начальный период вегетации трав (начало отрастания), а наименьшая – осенью в конце их вегетации. Так в 2012 г после по-

сева газонных трав в опыте 1 влажность почвы в слое 0–40 см составляла 88,8% НВ (наименьшей влагоемкости,) а влагозапасы сохранялись на уровне 110,1 мм, в том числе 57,9 мм были продуктивными. В опыте 2 в этот период влажность почвы была несколько меньше, чем в опыте 1 и составляла 86,2% НВ, а общие и продуктивные запасы влаги соответственно равнялись 82,2 и 34,2 мм. На конец вегетации 2012 г влажность почвы заметно уменьшилась и в опыте 1 составляла 75,3% НВ, а влагозапасы общие и продуктивные понизились соответственно до 93,4 мм и 43,1 мм. В опыте 2 эти показатели были еще ниже и соответственно составляли 72,9%; 69,5 мм и 21,5 мм. На начальный период вегетации трав в 2013 г влажность почвы в слое 0 – 40 см была несколько меньше, чем в 2012 г., что обусловлено более влажной погодой в начальный период отрастания злаковых газонных трав. В опытах 1 и 2 в этот период влажность почвы соответственно составляла 91,4% и 89,3% от наименьшей влагоемкости, а продуктивные запасы – 53,7 и 37,2 мм.

К концу вегетации газонных травостоев в 2013 г влажность активного слоя почвы понизилась до 78,4 и 76,2% от НВ (наименьшей влагоемкости) соответственно в первом и втором опытах, а продуктивная влага – до 46,1 и 24,7 мм. В засушливом и теплом 2014 г в начальный период отрастания трав влажность корнеобитаемого слоя почвы (0–40 см) была наименьшей из трех лет исследований, и в опыте 1 она составляла 82,7% от НВ при общих и продуктивных запасах 102,6 и 48,6 мм соответственно. В опыте 2 эти показатели были несколько меньше и соответственно составляли 81,6% НВ; 77,8 мм и 29,8 мм. В конце вегетации 2014 г влажность почвы в слое 0 – 40 см уменьшилась до 68,2 НВ в опыте 1 и до 64,5% НВ в опыте 2. При этом общие влагозапасы активного 40-сантиметрового слоя почвы в опыте 1 и 2 понизились соответственно до 84,6 и 61,5 мм, а продуктивные – до 40,1 и 12,5 мм. В целом в период вегетации газонных травостоев во все годы исследований дефицит легкодоступной влаги не отмечался.

В весенний период влажность почвы на относительно высоком уровне поддерживалась за счет естественных осадков, в летний период – поливами и осенью в конце вегетации трав за счет снижения испарения при достаточном количестве осадков. Влажность почвы в летний период постепенно снижалась в связи с повышением среднесуточных температур воздуха. Однако при выпадении атмосферных осадков в определенные периоды вегетации влажность активного слоя почвы повышалась. При снижении влажности расчетного слоя почвы 0–10 см до 80% наименьшей влагоемкости проводились поливы. Атмосферные осадки, как дополнительный компенсатор потерь влаги на суммарное испарение, в отдельные периоды увеличивали общие и продуктивные запасы влаги в почве. В целом в период вегетации газонных злаковых трав оптимальная влажность в верхнем слое почвы 0–10 см поддерживалась поливами.

В течение трех лет исследований влажность активного слоя почвы перед поливами в среднем находилась в пределах 78,3–81,4% НВ, т.е. отличалась от запланированного уровня не более чем на $\pm 1,4$ – $1,7\%$ по НВ и почва была обеспечена продуктивными запасами влаги.

К концу исследований трав влажность почвы в слое 0–40 см понижалась, но оставалась достаточно высокой для этого периода, а продуктивные запасы влаги не опускались ниже 13,5 мм в засушливом 2014 г. (опыт 2). Наибольшая влажность почвы и продуктивные запасы влаги в слое 0–40 см в конце вегетации трав были зафиксированы в опыте 1 в более влажном 2013 г и составляли соответственно 78,8% НВ и 46,1 мм, а в опыте 2 – 76,2 % НВ и 24,7 мм соответственно. Такие показатели влажности почвы обеспечивали благоприятные условия для роста растений.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности поддержания оптимальной влажности почвы для возделывания газонных трав как на тяжелых, так и на лёгких почвах Нечерноземной зоны России посредством орошения. Следует отметить, что на легких супесчаных почвах в опыте 2 потребность в орошении заметно возрастала по сравнению с тяжелосуглинистыми почвами в опыте 1. Этот процесс связан со слабой водоудерживающей способностью легких почв и более быстрым их иссушением при высоких температурах воздуха, что в целом сказывается на влагообмене. Показатели водообмена и его интенсивность определяются водно-физическими свойствами почв и глубины грунтовых вод. При неглубоком их залегании влага восходящими токами капиллярным путем поступает в активный слой почвы. В основном максимально возможное подпитывание определяется дефицитом атмосферного увлажнения.

При средней за вегетационный период глубине залегания грунтовых вод 1,3 м и 1,5 м соответственно на тяжелосуглинистых (опыт 1) и супесчаных почвах (опыт 2) поступление их в верхний слой почвы нами принималось по литературным данным 10% в опыте 1 и 8% в опыте 2 от суммарного прихода влаги в корнеобитаемый слой от осадков, из почвы и оросительной нормы. Выполненные водобалансовые расчёты суммарного расхода влаги орошаемых газонных трав за вегетационный период продолжительностью 178 суток (с 16 апреля по 10 октября) показали, что наибольший суммарный расход влаги газонными травами отмечался в относительно тёплом и очень влажном 2013 г. (табл. 3). При этом суммарный расход влаги составил 569,8 и 577,6 мм соответственно в опытах 1 и 2, а среднесуточный расход был равен 3,2 мм. Наименьшее расходование влаги газонным травостоем было зафиксировано в очень сухом и тёплом 2014 г. Здесь суммарный расход влаги газонными травами уменьшился до 394–396,4 мм, а среднесуточный – до 2,2 мм. В среднем по температурному режиму в относительно влажном 2012 г. суммарный расход влаги газонным травостоем за вегетационный период составил 482 мм в опыте 1 на тяжелосуглинистых почвах и 493,2 мм в опыте 2 на супесчаных почвах при среднесуточном расходе влаги соответственно 2,7 и 2,8 мм.

В среднем за годы исследований суммарный расход влаги газонными травами составил 482 мм в опыте 1 и 489 мм в опыте 2 при среднесуточном расходе влаги за период вегетации в обоих опытах 2,7 мм.

Таблица 3 – Водный баланс влаги орошаемых газонных травостоев, мм

Год исследования	Атмосферные осадки	Приход из почвы	Оросительная норма	Приход грунтовых вод	Суммарный расход влаги	Среднесуточный расход влаги
<i>Опыт 1</i>						
2012	352,3	16,7	69,2	43,8	482	2,7
2013	439	16,5	62,5	51,8	569,8	3,2
2014	221,8	18,0	118,4	35,8	394	2,2
Среднее	337,7	17,1	83,4	43,8	482	2,7
<i>Опыт 2</i>						
2012	352,3	12,7	86,4	41,8	493,2	2,8
2013	439	12,5	77,2	48,9	557,6	3,2
2014	221,8	16,3	124,7	33,6	396,4	2,2
Среднее	337,7	13,8	96,1	41,4	489	2,7

В обоих опытах суммарный расход влаги травостоем был примерно одинаковым. Однако отмечается незначительная тенденция большего расходования влаги в опыте 2 на лёгких супесчаных почвах по сравнению с тяжелосуглинистыми почвами опыта 1 (в среднем на 1,5 %), что обусловлено большим прогреванием лёгких почв и их испаряемостью.

В водном балансе основной приходной статьёй являются атмосферные осадки, а оросительная норма занимает второе место. В среднем за годы исследований в опыте 1 на тяжелосуглинистых почвах удельный вес атмосферных осадков в суммарном расходе влаги составляет 70,1%, оросительная норма – 17,3%, 9,1% приходится на использование грунтовых вод, а 3,5% – на почвенные влагозапасы. Аналогичные данные по распределению влаги по приходным статьям водного баланса получены и в опыте 2 на лёгких супесчаных почвах (69,1%; 19,6%; 8,5% и 2,8% соответственно от осадков, оросительной воды, прихода от грунтовых вод и почвенных влагозапасов).

Список литературы

1. Абрамашвили, Г.Г. Спортивные газоны. – М. : Советский спорт, 1988 – 159 с.
2. Латиозов, Н.Л., Кобозев, Н.В., Парахин, Н.В., Тюльдюков, В.А., Оптимизация режимов орошения сельскохозяйственных культур. – М.: Из-во МСХА, 1999. – 95 с.
3. Тюльдюков, В.А., Кабозев, Н.В., Парахин, Н.В. Газоноведение и озеленение населённых территорий. М. : Колос, – 2002. – 263 с.
4. Роде, А.А. Основы учения о почвенной влаге. Л. : Гидрометеиздат, 1969 – 287 с.
5. Костяков, А.Н., Основы мелиорации. М. : Сельхозгис, 1960.

УДК 556.012(476)

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОДУЛЕЙ СТОКА ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ РЕК БЕЛАРУСИ

Мешик О.П., Зубрицкая Т.Е.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, mop@bstu.by, zte0607@yandex.ru

This article discusses the hydrological characteristics of the catchments of small rivers of Belarus, as well as built maps of the spatial distribution of the flow rates

Введение

Территория Беларуси имеет ряд характерных особенностей в гидрологическом отношении. Водораздел бассейнов Балтийского и Черного морей проходит по территории Республики Беларусь, покрытой густой сетью рек, общей протяженностью 90,6 тыс. км. По количеству и протяженности преобладают малые реки длиной более 200 км. На юге страны расположена Полесская низменность с обширными просторами болот, подверженная крупномасштабным гидротехническим мелиорациям. На севере расположен край – Поозерье с многочисленными озерами. Эти и другие факторы делают Беларусь уникальной территорией в гидрологическом отношении.

Для разработки проектов мелиоративных систем возникла необходимость в изучении гидрографических характеристик водосборов малых рек Беларуси. Однако наиболее полно исследованы данные водосборы лишь в 60–70 гг. XX века. В настоящее время практически отсутствуют источники, отражающие современную гидрологическую ситуацию. За последние пятьдесят лет в результате комплексной мелиорации земель значительно изменилась заболоченность водосборов, увеличилось количество водохранилищ. Нет современных и достоверных данных о многих гидрографических характеристиках, что делает затруднительным определение расчетных гидрологических характеристик для случая отсутствия данных гидрометрических наблюдений.

Нами была предпринята попытка исследовать гидрографические характеристики водосборов 110 малых рек Беларуси [1], включая площадь водосбора, длину реки, уклон русла, озерность, заболоченность, залесенность, густоту речной сети, распаханность и др. и в дальнейшем выполнить расчеты модулей стока весеннего половодья, дождевых паводков, предпосевого стока обеспеченностью $P=10\%$, среднемеженного стока обеспеченностью $P=50\%$.

Итогом работы является районирование по территории Беларуси модулей стока с построением карт их пространственного распределения с целью использования в мелиоративной проектной практике.

Основная часть

В ходе исследований гидрографических характеристик водосборов малых рек были отсеяны реки с недостаточным объемом данных, и в дальнейшем расчет модулей стока выполнялся по 78 водосборам.

В таблице 1 представлен перечень малых рек Беларуси, исследуемых для расчета модулей стока.

Таблица 1 – Список малых рек Беларуси, используемых в работе

Река-створ	Река-створ	Река-створ
Лужесянка - с.Борково	Котра - с.Котра	Проня – с. Будино
Эсса - с.Гадивля	Сервечь - с.Кривичи	Проня – с. Летяги (х. Яскарь)
Усвейка - с.Мозолы	Илия - с.Владыки	Реста – с. Лопатичи
Усвейка - с.Загатье	Удранка(Удра)- х.Удранка	Чечора – с. Саприки (Саврики)
Оболь - с.Ломоносово	Нарочь - с.Нарочь	Покоть – с. Красный Дубок
Усыса - с.Казиново	Уша - г.Молодечно	Липа – с. Кошелёв
Полота - с.Янково 1-е	Ошмянка - с.Солы	Жадунька – г.Костюковичи
Ушача - с.Толкачи	Ошмянка - с.Великие Яцыны	Уза – с. Прибор
Нача -с.Горовцы	Копаявка - г.Черск	Уть – с. Прибытки
Маделка -с.Русаки	Жабинка - с.Малая Жабинка	Меречанка – с. Ставок
Берёзовка - с.Саутки	Рыта - с.Малые Радваничи	Бобрик – ст. Парохонск
Уша - с.Большие Жуховичи	Лесная - с.Замосты	Цна – с. Дятловичи
Сервечь - с.Березовец	Ухлясть - пос.Радьков	Лань – с. Локтыши
Ислочь - с.Боровиковщина	Ржавка - с.Черная Вирия	Случь – с. Новодворцы
Гавья - с.Лубинята	Плисса - с.Трубенки	Случь – пгт. Старобин
Жижма - с.Гельвинцы	Плисса - с.Залесье	Случь – с. Ленин
Дитва - с.Ожелишки	Бобр - с.Куты	Морочь – с. Мацкевичи
Дитва - с.Поречаны	Бобр - с.Клыпенка	Оресса – с. Верхутино
Молчадь - с.Молчадь	Уша - с.Слобода	Оресса – пгт. Любань
Молчадь - с.Гезгалы	Вяча - с.Паперня	Оресса – х. Кутинки
Мышанка - с.Березки	Сушанка - с.Суша	Оресса – с. Андреевка
Гривда - гп Ивацевичи	Ведрич – х. Бабичи	Иппа – с. Рудня Евтушковская
Гривда - с.Любищицы	Ведрич – с. Демихи	Иппа – с. Кротов
Зельвянка - пгт Зельва	Вихра – с. Куровичи	Вить – с. Борисовщина
Зельвянка - с.Пески	Лобжанка – с. Поля	Словечна – с. Кузьмичи
Свислочь - с.Сухая Долина	Сенна – с. Пильня	Батывля – с. Кузьмичи

В настоящей работе для определения модулей стока для различных фаз гидрологического режима была применена методика «Определение расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений», изложенная в ТКП 45-3.04-168-2009 [2].

Таблица 2 – Пример результатов расчетов модулей стока критических гидрологических периодов

№ п/п	Река-створ	Весеннее половодье		Дождевые паводки		Предпосевной сток		Среднемеженный сток	
		$Q_{10\%}$	$q_{10\%}$	$Q_{10\%}$	$q_{10\%}$	$Q_{10\%}$	$q_{10\%}$	$Q_{50\%}$	$q_{50\%}$
		$м^3/с$	$м^3/(с·км^2)$	$м^3/с$	$м^3/(с·км^2)$	$м^3/с$	$м^3/(с·км^2)$	$м^3/с$	$м^3/(с·км^2)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Бассейн р. Западной Двины									
1	Лужесянка - с.Борково	86,8	0,225	32,5	0,084	23,1	0,060	1,4	0,0035
2	Эсса - с.Гадивля	87,4	0,165	15,0	0,028	18,0	0,034	2,1	0,0039
3	Усвейка - с.Мозолы	43,9	0,305	9,0	0,063	3,8	0,026	0,6	0,0039
4	Усвейка - с.Загатье	66,1	0,278	11,2	0,047	6,9	0,029	0,8	0,0034
5	Оболь - с.Ломоносово	56,1	0,142	6,6	0,017	20,9	0,053	1,4	0,0035
6	Усыса - с.Казиново	57,9	0,235	9,8	0,040	15,9	0,065	0,9	0,0035
7	Полота - с.Янково 1-е	63,5	0,103	5,5	0,009	28,9	0,047	2,2	0,0035
8	Ушача - с.Толкачи	104,1	0,119	10,8	0,012	45,9	0,052	3,3	0,0038
9	Нача -с.Горовцы	39,6	0,187	20,2	0,095	7,1	0,033	0,8	0,0037
10	Маделка -с.Русаки	49,6	0,107	12,7	0,028	18,8	0,041	1,8	0,0040
11	Берёзовка - с.Саутки	150,2	0,271	45,8	0,083	18,3	0,033	2,1	0,0038

По большинству водосборов малых рек Беларуси установлена значительная изменчивость модулей стока весеннего половодья в зависимости от трансформации площадей болот, лесов и озер (водохранилищ) [3]. Рассмотрены 5 возможных сценариев изменения гидрографических характеристик, для большинства из которых имеет место снижение расходов воды. Ввиду существенного влияния площадей водосборов на величины модулей стока, установлена целесообразность выполнения районирования по площадям водосборов: до 500 км², 500–1000 км², более 1000 км². Построены соответствующие карты пространственного распределения модулей стока.

Анализируя полученные результаты и построенные по ним карты модулей стока весеннего половодья по 78 водосборам малых рек Беларуси, видна отчетливая тенденция пространственной изменчивости исследуемых модулей стока с юго-запада на северо-восток. Прослеживается рост значений на границе Витебской и Могилевской областей, а в Брестской и Гомельской областях их уменьшение (рисунок 1).

При расчете модулей стока дождевых паводков обеспеченности $P=10\%$ была выявлена динамика в зависимости от озерности водосборов и характеристик русел и пойм. Увеличение озерности за счет строительства водохранилищ ведет к значительному снижению расходов воды дождевых паводков. Заращение водотоков, изменение их извилистости вызывают статистически значимые трансформации модулей стока. Пространственная изменчивость модулей стока дождевых паводков наблюдается с юга на север. Максимум достигается в Верхнедвинском районе Витебской области, а минимум имеет место в Брестском районе – бассейне реки Рыта (рисунок 2).

Модули предпосевного стока обеспеченности $P=10\%$ изменяются по исследуемой территории с юга на север в пределах 0,01–0,06 м³/с км². По отдельным водосборам они превышают соответствующие модули стока дождевых паводков (рисунок 3).

Изменения среднемеженного стока обеспеченности $P=50\%$ в сторону уменьшения наблюдаются с запада (Ошмянский район Гродненской области) на юго-восток (Брагинский район Гомельской области) и находятся в пределах 0,0015–0,0060 м³/с км² (рисунок 4).

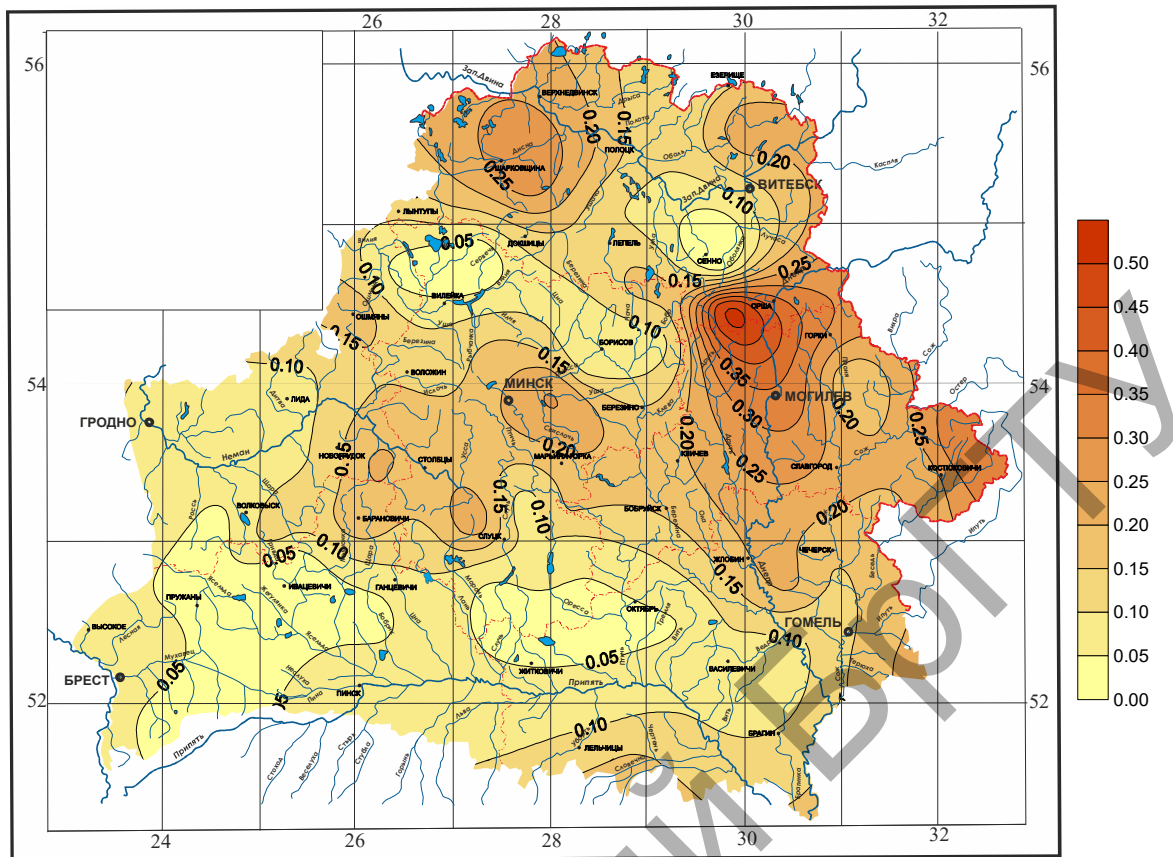


Рисунок 1 – Районирование модулей стока весеннего половодья ($P=10\%$) по водосборам малых рек Беларуси, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$

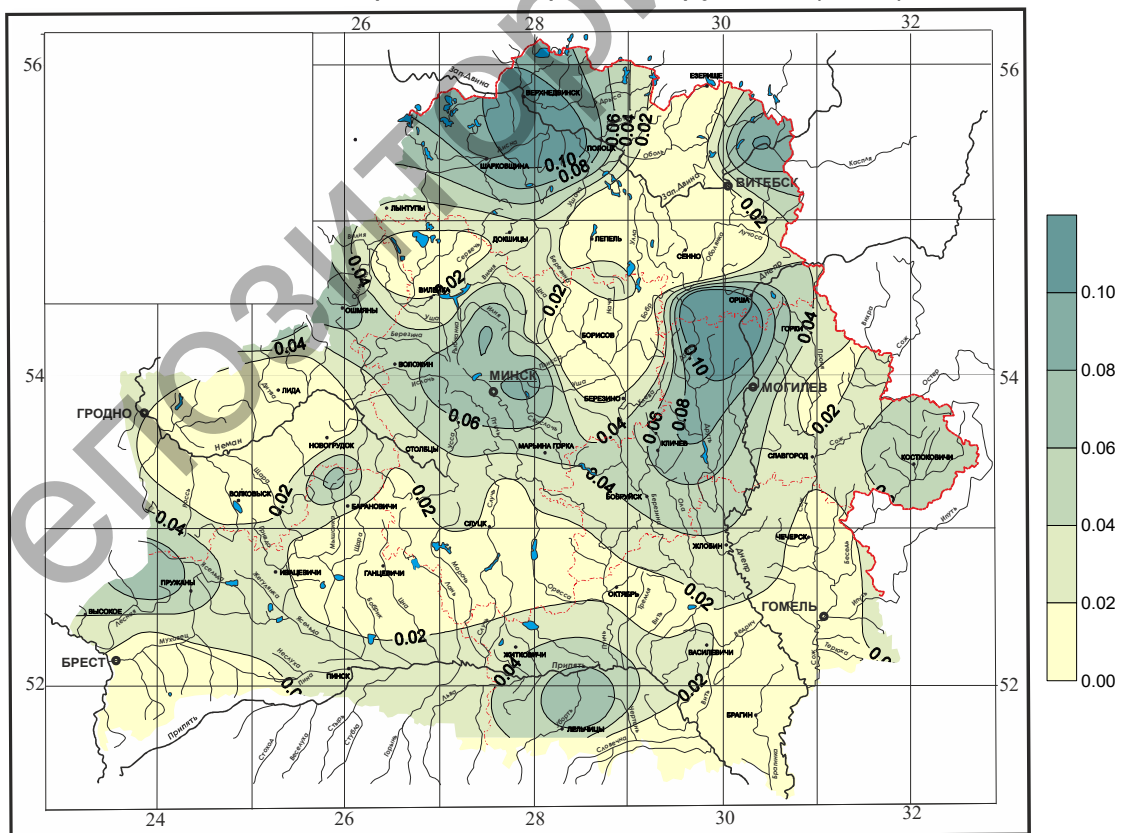


Рисунок 2 – Районирование модулей стока дождевых паводков ($P=10\%$) по водосборам малых рек Беларуси, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$

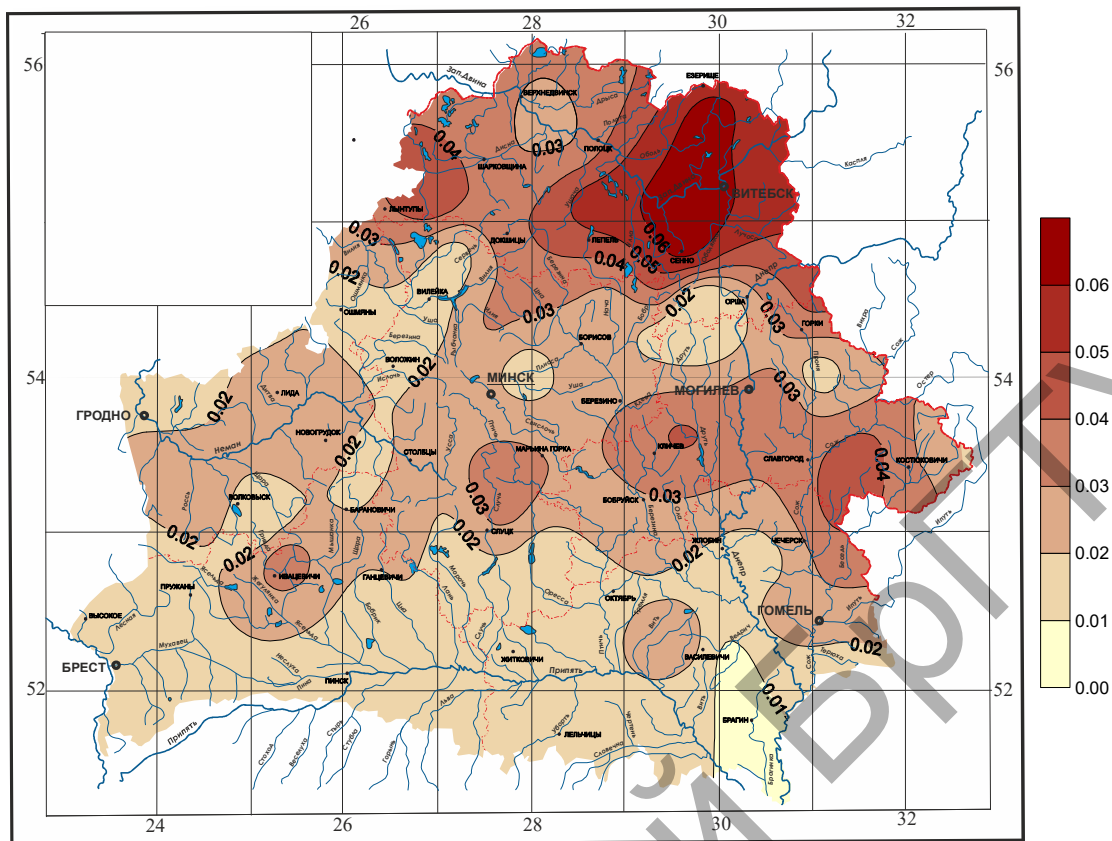


Рисунок 3 – Районирование модулей предпосевного стока ($P=10\%$) по водосборам малых рек Беларуси, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$

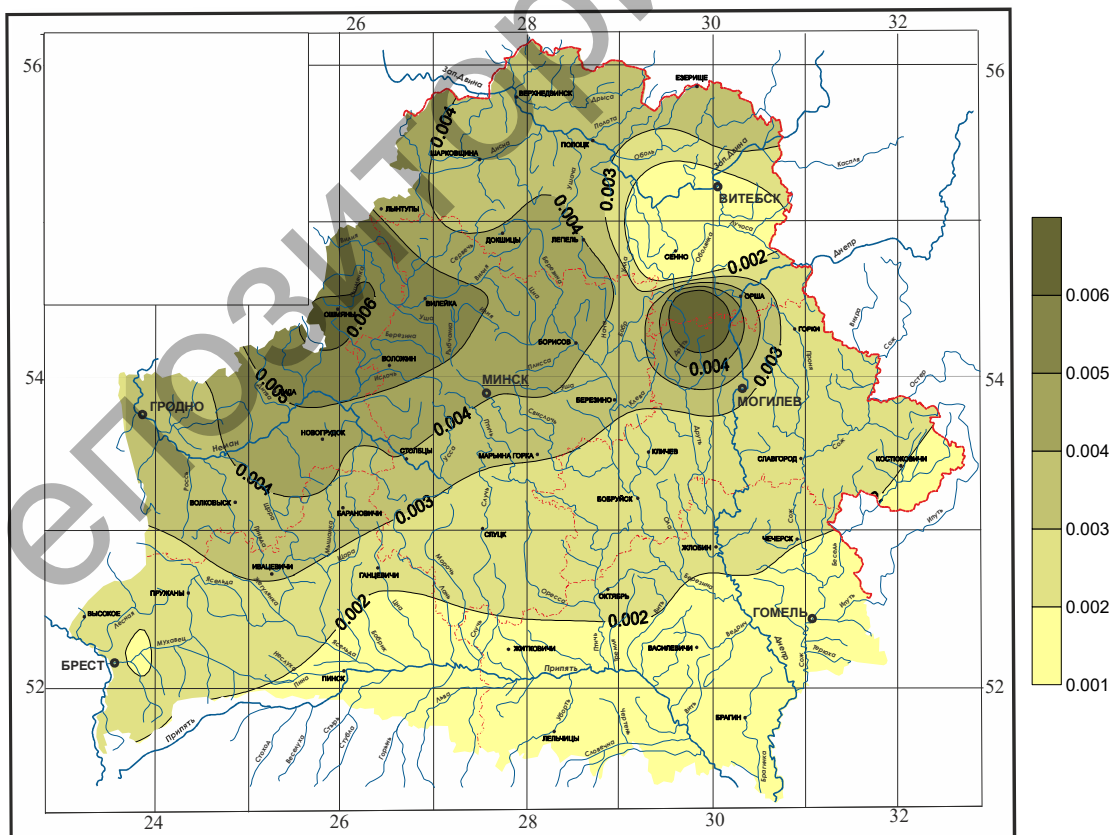


Рисунок 4 – Районирование модулей среднемеженного стока ($P=50\%$) по водосборам малых рек Беларуси, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$

Заключение

Построенные карты районирования модулей стока весеннего половодья, дождевых паводков, предпосевного и среднемеженного стоков могут использоваться в ходе проектирования мелиоративных систем и сооружений для контроля качества выполненных гидрологических расчетов (случай отсутствия или недостаточности данных гидрометрических наблюдений), для предварительной оценки параметров водоприемников, проводящей, регулирующей и оградительной мелиоративной сети. Результаты исследований могут использоваться в учебном процессе при подготовке инженеров по специальности «Мелиорация и водное хозяйство».

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л. : Гидрометеиздат. – Т.5. – ч.1.– 1966. – 718 с.
2. ТКП 45-3.04-168-2009 (02250) Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения.– Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010.
3. Мешик, О.П. Проблемы гидрологических расчетов и использования их результатов в мелиоративной практике / О.П. Мешик, Т.Е. Зубрицкая, Ю.О. Снитко // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: науч. статьи Межд. науч.-практ. конф., Брест 23–25 апр. 2014 г.; под ред. А.А. Волчека [и др.]. – Брест, 2014. – Ч. 3. – С. 191–195.
4. Рождественский, А.В. Современная проблема инженерных гидрологических расчетов по обобщению гидрологической информации в России и пути ее решения / А.В. Рождественский, А.Г. Лобанова // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 7. – С. 81–95.
5. Природная среда Беларуси / Национальная академия наук Беларуси, Институт проблем использования природных ресурсов и экологии; под ред. В.Ф. Логинова. – Минск : НОООО «БИП-С», 2002. – 424 с.

УДК 631.6.02

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Мешик О.П., Шпендик Н.Н., Валуев В.Е.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, top@bstu.by

The article reflects the problems that arise in the construction and exploitation of the woodland belts on melioration land.

Введение

Одна из острых экологических проблем для современной Беларуси – это деградация земель. Несмотря на то, что наша страна находится в умеренном климатическом поясе, ей присуща проблема опустынивания и засухи. В свою очередь это приводит к эрозии почв. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, почвенной эрозии подвержены около 500 тыс. га пахотных земель, 20 % и 30 % подвержены соответственно ветровой и водной эрозии. Также за последние 45 лет в Беларуси зафиксировано около 350 пыльных бурь [1]. Масштабы почвенно-эрозионных процессов связаны с нерациональным ведением сельского хозяйства, неправильной эксплуатацией мелиоративных систем, уровнем лесистости и организацией лесозащитных полос.

Основная часть

Ещё в 1892 году профессор В.В. Докучаев организовал экспедицию по проблеме засух, в результате которой доказал факт доминирующей роли лесов в сохранении агроландшафтов [2]. В апреле 1921 года вышло Постановление Совета труда и обороны, предусматривающее развитие лесомелиоративных работ в государственном масштабе [3]. Стала развиваться сеть сельскохозяйственных опытных станций. С самого начала своей деятельности опытные агролесомелиоративные участки и овражные станции занимались разработкой способов защитного лесоразведения для борьбы с засухой, с ветровой и водной эрозией, а также разрабатывали методы восстановления плодородия эродированных почв. В 1948 году было утверждено Постановление Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР». В то время он сыграл важную роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 29 апреля 2015 года утвержден Национальный план действий по предотвращению деградации земель (включая почвы) на 2016–2020 годы. Целями реализации данного плана являются сохранение и рациональное использование земель, предотвращение их деградации и повышение продуктивности, позволяющие обеспечить национальную безопасность и повысить уровень жизни населения. Одним из мероприятий является совершенствование норм проектирования полезащитных лесных полос. Совместные научные исследования ученых различных направлений позволят более детально проработать данную проблему и прийти к её оптимальному решению [1]. Наши исследования сосредоточены на вопросах агролесомелиораций, т.е. проектировании защитных лесополос на мелиорированных землях и вдоль мелиоративных каналов.

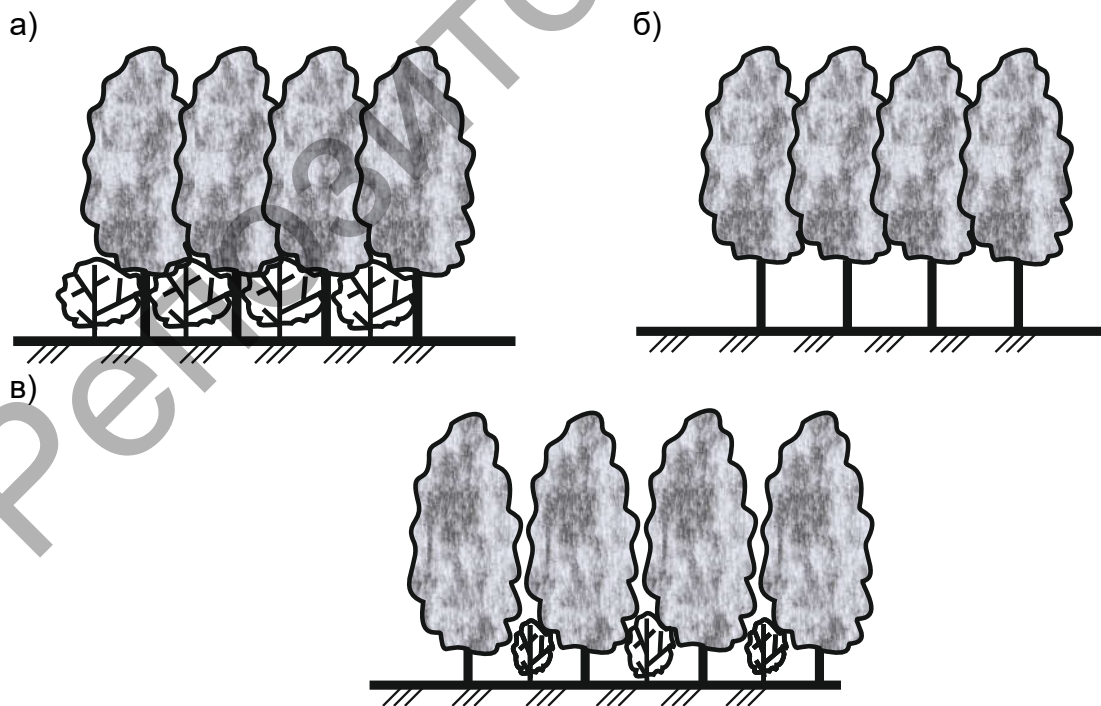
Главной функцией полезащитных лесных полос на территории осушенных земель является ветрозадерживающая. Лесополосы способствуют уменьшению ветровой эрозии мелиорированных земель. Изменение ветрового режима в свою очередь также оказывает воздействие на температуру и влажность приземного слоя воздуха, на испарение с почвенной поверхности. Под влиянием защитных лесных насаждений происходит не только изменение микроклимата и увлажнения почвы, но изменяются морфологические и физико-химические ее свойства.

Изменение ветрового режима зависит от конструкции лесных полос. Если лесная полоса имеет плотную конструкцию, то ветровой поток будет обтекать её только сверху и её влияние будет простирается на расстояние до $40 H$ (H – высота полосы). Зона наиболее эффективного действия, где скорость ветра уменьшается на 70 % и более, достигает у плотной полосы $15 H$. Ажурная полоса – обычно 2–3-ярусное насаждение, с подростом или подлеском, с мелкими сквозными просветами, равномерно распределенными в профиле; ветровой поток в основном проходит сквозь насаждение, не меняя общего направления. Продуваемая конструкция лесных полос разбивает ветровой поток на две части, одна из которых обходит полосу сверху, другая проходит в нижней части полосы между стволами, где вследствие давления соседних воздушных масс увеличивает свою скорость. Влияние лесополос таких конструкций простирается на расстояние до $50 H$ (продуктивной – $25 H$) [4] (рисунок 1).

В связи с тем, что многие существующие лесополосы устроены в виде продуваемых конструкций, деревья имеют большой возраст, а нижние ветви периодически обрезаются, то приземная скорость ветра соответственно увеличивается и происходит выдувание поверхностного слоя почвы, что мы можем наблюдать всё чаще и чаще, особенно на осушенных землях. В последнее время происходят изменения как в скорости, так и в направлении ветра. Наибольшее ветрозащитное влияние оказывают полосы при перпендикулярном их расположении к направлению ветра. При отклонении ветра до 30° снижение дальности влияния полос почти не наблюдается, при отклонении на угол больше 45° резко снижается эффективность полос [5]. Поэтому конструктивное расположение защитных лесополос с увязкой с изменившимся ветровым режимом нашей страны является весьма актуальным.

Проведенные нами исследования показали существенную трансформацию направлений ветра по большинству метеостанций Беларуси, которые находятся в пределах $30\text{--}40^\circ$ за последние 40–50 лет. Данные трансформации характерны для максимальной мгновенной скорости ветра и порывов, которые вызывают ветровую эрозию и определяют ее степень.

Наибольшее влияние на процессы ветровой эрозии может оказывать сильный ветер, выраженный шквалами и смерчами, причем ветровое воздействие на поверхность почвы может быть представлено упрощенной схемой распределения давлений или усилий, эффект от которых эквивалентен экстремальным воздействиям турбулентного ветра. Циркуляция атмосферы приводит к образованию опасных метеорологических явлений, которые наряду с различными метеорологическими характеристиками имеют циклические колебания. Важными факторами в формировании сильного ветра являются: лесные массивы; различные локальные неоднородности поверхности, имеющие значительную шероховатость, которая способствует образованию турбулентности.



а) непродуваемая; б) продуваемая; в) ажурная

Рисунок 1 – Схемы полезащитных лесных полос разной конструкции

На территории Беларуси выделяются районы интенсивной шквалистой деятельности: северо-восточный и северо-западный; предполесский. На рисунке 2 показана карта распределения максимальной мгновенной скорости ветра на территории Беларуси.

Рисунок 2 не позволяет качественно оценить подверженность конкретных районов разрушительному действию ветра, так как указанные на карте значения являются исключительными, а другие последующие максимальные значения могут быть существенно меньшими. В этой связи интерес представляет пространственное распределение повторяемости лет с максимальной мгновенной скоростью ≥ 25 м/с. Показанные на рисунке 2 максимумы скоростей ветра в районе Ивацевичей и Слуцка не имеют высокой повторяемости (рисунок 3) и являются случайными. Хорошо коррелируют данные карт в районе Докшиц. С одной стороны, в Докшицах максимальная мгновенная скорость ветра составила 35 м/с (август 1992 года), с другой стороны, здесь высокая повторяемость лет со скоростью ≥ 25 м/с и составляет 40 %. Рисунок 3 показывает, что наибольшая частота отмечаемого стихийного явления также имеет место в районе Славгорода, Чечерска, Пружан, Василевичей.

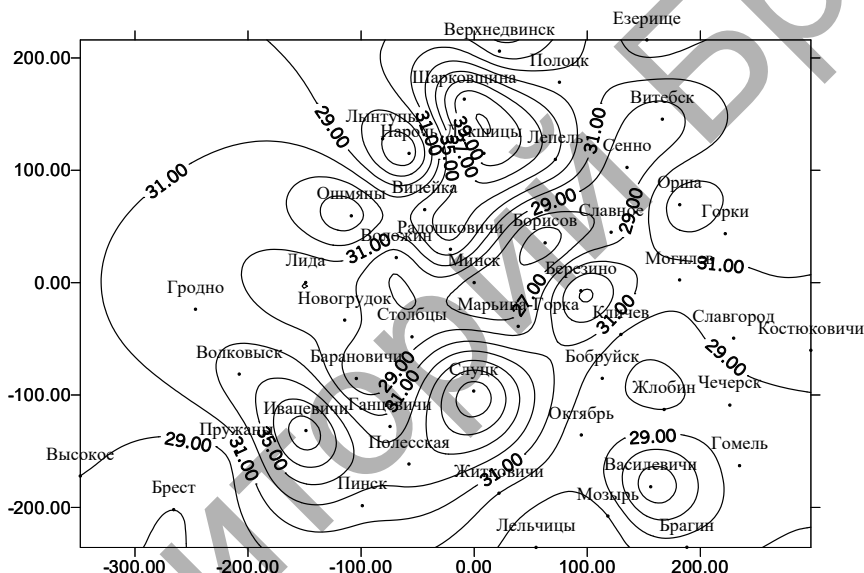


Рисунок 2 – Максимальная мгновенная скорость ветра на территории Республики Беларусь, м/с

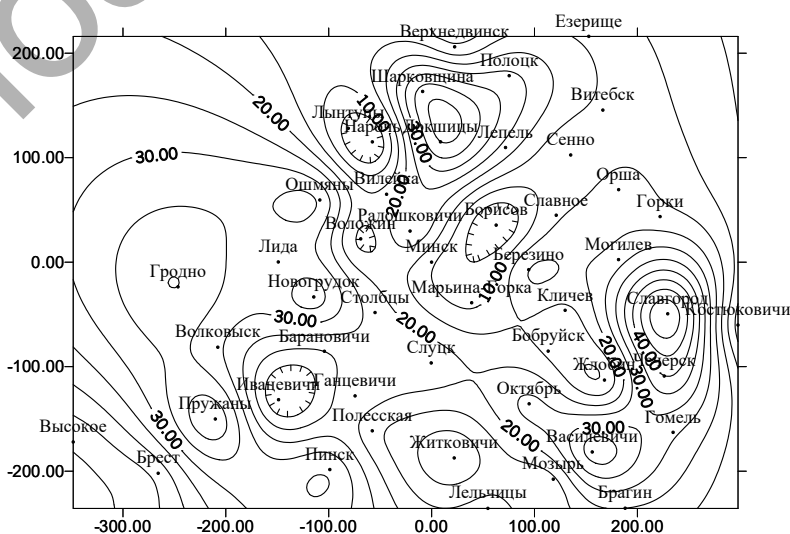


Рисунок 3 – Повторяемость максимальной мгновенной скорости ветра ≥ 25 м/с на территории Республики Беларусь, % лет с явлением

Для выявления региональных и локальных компонентов в распределении максимальных мгновенных скоростей ветра выполнен тренд-анализ. Так линейная поверхность тренда показывает, что максимальная мгновенная скорость ветра уменьшается по направлению северо-запад – юго-восток с разностью в границах Беларуси около 5 м/с. Оценить локальную составляющую погодных аномалий возможно в ходе анализа разностей величин исследуемых характеристик и их тренд-поверхностей (рисунок 4). Выделяются пять основных ядер районов где наблюдаются наибольшие положительные отклонения скоростей ветра (4–9 м/с) от поверхности тренда: Докшицы, Ивацевичи, Слуцк, Василевичи, Ошмяны.

Данный анализ наряду с прогнозированием экстремального ветрового режима позволяет разрабатывать (вносить коррективы) в планы создания полезащитных лесных насаждений на мелиорируемых землях в Республике Беларусь.

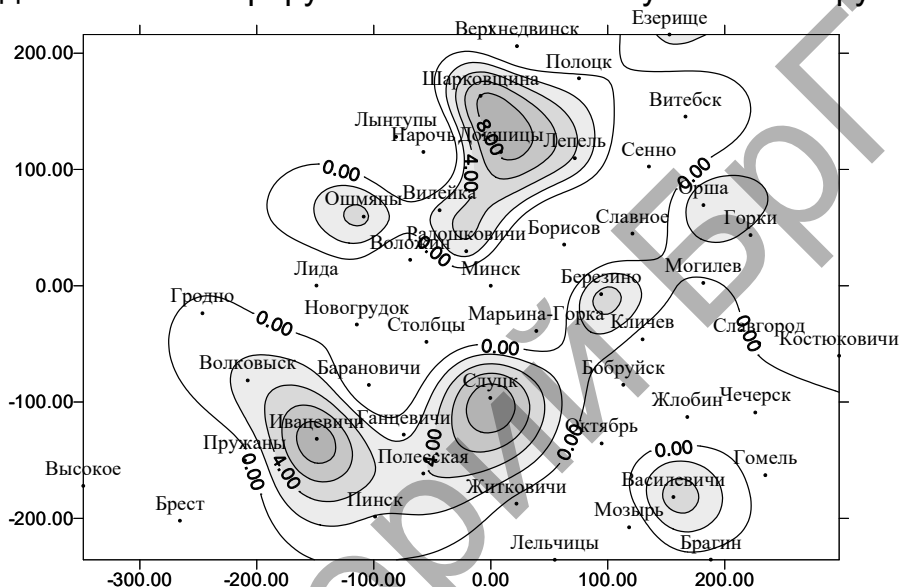


Рисунок 4 – Карта разности максимальной мгновенной скорости ветра и линейной поверхности тренда, м/с

Ещё одна проблема лесозащитных полос вдоль мелиоративных каналов – это применение лиственных пород деревьев, опавшие ветви и листья которых способствуют заилению и зарастанию каналов, что в свою очередь выводит из строя всю мелиоративную систему. Также они являются хорошей кормовой базой для бобров, которые активно заселяют мелиоративные каналы. Созданные ими плотины, поднимают уровень воды на отдельных участках каналов, нарушают работу мелиоративных систем в целом. Кроме того, в процессе своей жизнедеятельности животные выводят из строя дамбы.

Речной бобр – это растительноядное животное, он питается более 80 видами растений. Питание бобра зависит от сезона года. В теплый период года в его рационе преобладают травянистые растения, в зимний период в значительном количестве бобр потребляет древесно-кустарниковую растительность, в основном это ветки березы, ивы, тополя. Обычно они едят деревья 2–3 пород, для смены рациона им необходимо время. Кроме этого, они прекрасно едят желуди, корнеплоды. Ольху, дуб и сосну бобры не едят, но используют для построек [6].

На сегодняшний день в Беларуси насчитывается около 62 тыс. бобров, что в два раза выше допустимой нормы [7]. В разные периоды численность бобра на территории Республики Беларусь варьировалась в широких пределах, что связано, с одной стороны, с естественно-природными условиями, с другой со значительной антропогенной нагрузкой как на вид непосредственно, так и на места обитания бобров.

Высокая численность бобра также наблюдается и в соседних странах. Так, в Литве сегодня называется цифра в 120 тыс. особей, в Латвии – 80 тысяч. Проблема регулирования численности актуальна и для стран Балтии, и для соседней Польши. В связи с тем, что местообитания бобров напрямую зависят от кормовой базы, а кормовой базой являются деревья и кустарники с защитных лесополос, необходимо разработать принципиально новые подходы к устройству лесозащитных полос вдоль мелиоративных каналов.

Полезащитные лесополосы являются важнейшим элементом снижения засухи и экстремальной жары. Они позволяют задерживать снег на полях и снижать иссушающее воздействие ветров. Созданная в советское время система лесозащитных полос позволяла существенно смягчать климатические экстремумы на сельскохозяйственных землях. Однако на сегодняшний день большинство лесозащитных полос уничтожены, а темпы проведения работ по созданию новых насаждений сведены к минимуму. Более того, в настоящее время не нормируется размещение лесополос на мелиорируемых землях [8].

Заключение

В заключении необходимо отметить, что для Республики Беларусь является актуальной корректировка существующих принципов размещения полеззащитных лесных насаждений на мелиорируемых землях. При этом четко должны обосновываться как сами схемы закладки лесополос, предельные расстояния между которыми дифференцированы в зависимости от гранулометрического состава почв, так и видовой состав принимаемых деревьев и кустарников. Для исключения негативного влияния бобров лесополосы должны закладываться на таком расстоянии от мелиоративных каналов, которое минимизирует использование бобрами древесно-кустарниковой растительности в качестве кормовой базы и создания плотин. Как правило, препятствием может служить полевая дорога между каналом и лесополосой. С учетом изменившегося ветрового режима (скорости и направления ветров) может возникнуть необходимость устройства дополнительных лесополос. Безусловно, необходим надлежащий уход за существующими лесополосами, который включает работы по их восстановлению.

Список литературы

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 апреля 2015 года № 361 «О некоторых вопросах предотвращения деградации земель (включая почвы).
2. Докучаев, В. В. Русский чернозём / В. В. Докучаев. – М. : ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1936. – 558 с.
3. Лесное хозяйство СССР за 50 лет / под общ. редакцией В. И. Рубцова // Гос. комитет лесного хозяйства Совета Министров СССР. – М. : Лесная промышленность, 1967. – 312 с.
4. Носников, В.В. Конструкции полеззащитных лесных полос на осушенных землях Беларуси/ Тр. БГТУ. Сер. I. Лесн. хоз-во.- 2001.- Вып. 9,- С. 131-133.
5. Носников, В.В. Влияние состава и конструкции полосных лесных насаждений на их рост и продуктивность // автореф. дисс. канд. с.-х. наук : 06.03.01 / В.В Носников; УО «Белорусский государственный технологический университет». – Минск, 2004.
6. Литвинов, В.Ф. Популяционная экология бобра: монография / В.Ф. Литвинов, А.И.Ятусевич, П.Г. Козло, Д.Д. Ставровский, Г.Г. Янута, Н.Ф. Карасев, А.В. Литвинов, А.И. Козорез. – Витебск ВГАВМ, 2012. – 256 с.
7. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2013 г. / Под ред. В.Ф.Логина. – Минск, 2014. – 364 с.
8. ТКП 45-3.04-8-2005 (02250) Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2006.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКОМ ПАВОДКОВ В УСЛОВИЯХ ПРИКАРПАТЬЯ

Рокочинский А.Н., Дзюба Я.В., Живица В.А., Трофимчук Д.Н.

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно,
Украина E-mail: dmitro_trofimchuk_91@mail.ua

The article gives a theoretical justification need to implement a system of management of flood pass in difficult terrain Prikarpattya that will minimize losses from their passage.

Введение

Наиболее паводкоопасной территорией в Украине и Европе являются Карпаты и прилегающие к ним предгорные районы, к которым относится и Прикарпатье. Наводнения и паводки в Прикарпатье отличаются значительной частотой, интенсивностью течения и одновременным охватом больших площадей.

Наиболее опасными реками Прикарпатья являются Днестр, Прут, Серет и их многочисленные притоки. Основными причинами формирования паводков в бассейнах этих рек являются природно-климатические особенности Карпатского региона. Так, для водосбора Прута характерны экстремальные осадки, которые приносят циклоны из Атлантики и Средиземного моря. Максимальное суточное количество осадков, которое было зафиксировано тут, приближается к 300 мм. До 3...4 раз в год наблюдаются осадки с суточным количеством более 100 мм, а 2...3 раза они превышают 150 мм в сутки. За последние сто лет 8 раз количество осадков за месяц превышало 500 мм. В отдельных местах годовое количество осадков приближалось до 1600 мм. Большое количество осадков в сочетании с другими природными и антропогенными факторами приводят к формированию наводнений и паводков различной интенсивности, повторяющиеся 3...8 раз в год.

В большинстве случаев паводки с катастрофическими последствиями вызывают ливневые дожди в период с мая по октябрь. Наиболее катастрофические паводки наблюдались в июле 1911г., в июне 1927г., в августе 1941г., в августе 1955г., в июне 1969г., в мае 1970г., в июле 1980г., в июле 1984г., в мае 1989г., в июле-августе 1997г., а также 1998г., 2001г., 2008г. и 2010 г., что соответствует 7-8 летней повторяемости [1].

Неблагоприятные условия усугубляются также и глобальными изменениями климата, в том числе на региональном уровне, которые происходят в наши дни. Вследствие этих изменений повторяемость паводков критических размеров может возрасти с 7-8 до 5-6 лет, о чем свидетельствуют данные за последние 30 лет.

Механизм возникновения и причины наводнений и паводков в данном регионе хорошо известны. Более конкретными причинами формирования частых наводнений и паводков в пределах Прикарпатья является прежде всего гидрометеорологическая ситуация и особенность строения русел рек, бассейнов и водосборов, а также хозяйственная деятельность в них.

К ним относятся:

- глобальные изменения климата;
- наступление циклических периодов поднятия уровней грунтовых и подземных вод;

- неуправляемая хозяйственная деятельность на водосборных площадях и бессистемное нарушение правил застройки территории;
- большие уклоны русел рек и значительная крутизна склонов, недостаточная водопропускная способность русловых емкостей;
- значительное сокращение площади лесов и лесных насаждений, особенно бессистемные вырубki лесов на склонах гор, ускоряющие поверхностный сток воды в реки и резкое формирование паводков с высокими уровнями;
- потребительская практика хозяйствования человека в поймах и руслах рек, в горах, особенно в зоне лесов;
- недостаточное финансирование строительства аккумулирующих, водорегулирующих и водопропускных сооружений.

Все эти природные процессы и человеческие факторы приводят к уменьшению стокорегулирующей способности водосборов, пропускной способности рек, увеличению уровня освоенности речной поймы и, как следствие, – к формированию высоких наводнений и паводков, которые приводят к затоплению поймы рек, территорий, населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, объектов, коммуникаций, причиняют значительные убытки народному хозяйству, окружающей среде, жизни и здоровью людей [6].

Основная часть

Высокая повторяемость наводнений и паводков в Прикарпатье, катастрофические последствия, к которым они приводят, требуют детального изучения условий формирования и прогнозирования их развития. Наводнения и паводки – это природное явление, которое было, есть и будет всегда. Поэтому с ними необходимо не только бороться, но и прогнозировать их прохождение, а по возможности и предупреждать. Это экономически выгоднее и приводит к меньшим негативным последствиям. В паводкоопасных районах необходимо иметь постоянную, достоверную информацию о состоянии рек и атмосферы в сочетании с другими природными факторами, что позволит прогнозировать изменение уровней и расходов воды, заблаговременно предупреждать о возможных угрозах.

В 2008г. Госводхозом Украины была разработана "Схема комплексной противопаводковой защиты в бассейне рек Днестр, Прут и Серет", одной из составных частей которой является создание автоматизированной информационно-измерительной системы "Прикарпатье" (АИИС "Прикарпатье") [2].

Научное обоснование Схемы базируется на детальном анализе генезиса, причин и последствий паводков и наводнений на реках Прикарпатья. В нем изучен и обобщен отечественный опыт создания таких систем в Закарпатье, а также опыт Польши, Германии и Великобритании относительно методов и способов защиты от вредного воздействия вод.

Основная цель, которая была заложена в ранее созданную АИИС "Закарпатье" – это оперативное прогнозирование гидрографов паводков на реках бассейна с помощью специального математического, информационного и программного обеспечения; подготовка достоверной прогнозной информации о параметрах паводка и передача ее в автоматическом режиме соответствующим службам оповещения и противопаводковым подразделениям; выдача рекомендаций для принятия управленческих решений по безаварийному пропуску паводков.

Автоматизированная информационно-измерительная система для прогноза паводков и управления водными ресурсами в бассейне р. Тиса обеспечивает функционирование многих подсистем. В сложной системе предусмотрено ре-

шение важных частных целей, совокупность которых в виде подсистем можно рассматривать как модель большой системы. Функциональная структура АИИС "Закарпатье" предусматривает деление системы на следующие подсистемы: прогнозирование дождевых, тало-дождевых и талых паводков; контроль параметров и прогнозирование качества природных и сбросных вод; прогнозирование зон затопления и возможных убытков от затопления дождевыми, тало-дождевыми и талыми паводками; разработка оперативных планов противопаводковых мероприятий; функционирования водного хозяйства в особый период.

В "Схеме комплексной противопаводковой защиты в бассейне рек Днестр, Прут и Серет" предлагается комплексно применять в борьбе с паводками следующие меры: регулирование паводкового стока с помощью специальных противопаводковых емкостей, польдеров; строительство регулирующих гидротехнических сооружений (плотин, полузапруд), которые замедляют скорость движения воды на притоках; регулирование русел рек; усиление системы противопаводковых дамб; проведение лесозащитных, противоэрозионных и противоселевых мероприятий в горах. В Схеме рассмотрена возможность применения комплексных противопаводковых емкостей для создания мини- и микроГЭС.

Для наблюдения за факторами, которые вызывают паводки, предлагается создание АИИС "Прикарпатье". Концепция АИИС "Прикарпатье" разработана Венгерским институтом "Визитерн", которая аналогична предварительно созданной и уже действующей АИИС "Закарпатье". Предполагается модернизация системы гидрометеорологических наблюдений в бассейнах рек Днестр, Прут и Серет, средств и способов их проведения, непрерывная передача результатов измерений всех автоматических станций, постов, осадкомеров в режиме реального времени в определенных местах их сбора. Кроме того, в рамках внедрения информационно-измерительной системы предполагается техническое и технологическое переоснащение средств проведения гидрологических измерений и работ, установки двух метеорологических локаторов в Черновцах и Львове с соответствующим программным комплексом моделей типа "осадки - сток". Они включают в себя модель объекта, модель внешней среды и модель их взаимодействия, организация системы сбора, обработки, накопления, формирования и ведения базы данных, распространения и использования результатов непрерывных измерений гидрометеорологических параметров и т.п.

Анализ работы АИИС, которые ранее были введены в эксплуатацию, показал, что при работе системы в режиме реального времени не обеспечиваются необходимые уровни заблаговременного прогноза и предупреждения прохождения катастрофического паводка на всем пути его формирования. Нет возможности провести анализ эффективности системы управления по всему спектру возможной реализации природно-климатических условий, обосновать необходимость строительства или реконструкции водопропускных, аккумулирующих и регулирующих сооружений.

Исходя из опыта создания информационно-советующей системы управления мелиоративными объектами как сложными природно-техническими системами [3,4], для сквозного решения поставленных задач по управлению пропуском таких паводков необходимо создание карт рисков затоплений, разработки планов предупреждения (предотвращения) и действий в чрезвычайных ситуациях, проектов развития территории, включая их инженерную защиту и др., целесообразно рассматривать во взаимодействии все три традиционные уровня принятия решений во времени.

При традиционном подходе [3] уровни принятия решений во времени относительно самостоятельные и рассматриваются в следующем порядке: 1) проект; 2) плановое управление объектом; 3) оперативное управление объектом и

обеспечение соответствующим видом прогноза влияющих факторов. Поэтому для каждого уровня необходимо разрабатывать существенно различные модели оптимизации технических и технологических решений и прогнозной оценки эффективности водорегулирования по сформулированным целям, выбранным критериям оптимизации, а также структуры расчетов по их реализации.

При системном управлении пропуском паводков (СУПП) рассмотрение уровней следует вести в противоположном направлении: 1) оперативное управление; 2) плановое управление; 3) проект. Все уровни взаимосвязаны между собой и опираются на единый модельный комплекс-объект → внешняя среда → их взаимодействие и общая база соответствующего информационного, прежде всего метеорологического обеспечения (рисунок 1).

Первый уровень принятия решений во времени – это оперативное управление пропуском паводков (УПП) в режиме: а) реального времени и б) краткосрочного прогноза метеофакторов в условиях текущего года [4].

На втором уровне принятия решений происходит разработка системных планов по управлению пропуском паводков, обосновываются плановые технологии по водорегулированию в речном бассейне в следующем сезоне.

Этот уровень стратегически важен, поскольку позволяет в широком диапазоне возможных сценариев развития событий определить места возникновения рисков затопления, потребность в дополнительном строительстве или реконструкции противопаводковых сооружений, определяет возможность комплекса сооружений или отдельных единичных сооружений речного бассейна выдержать динамические нагрузки разрушительной силы потоков воды во время прохождения паводков.

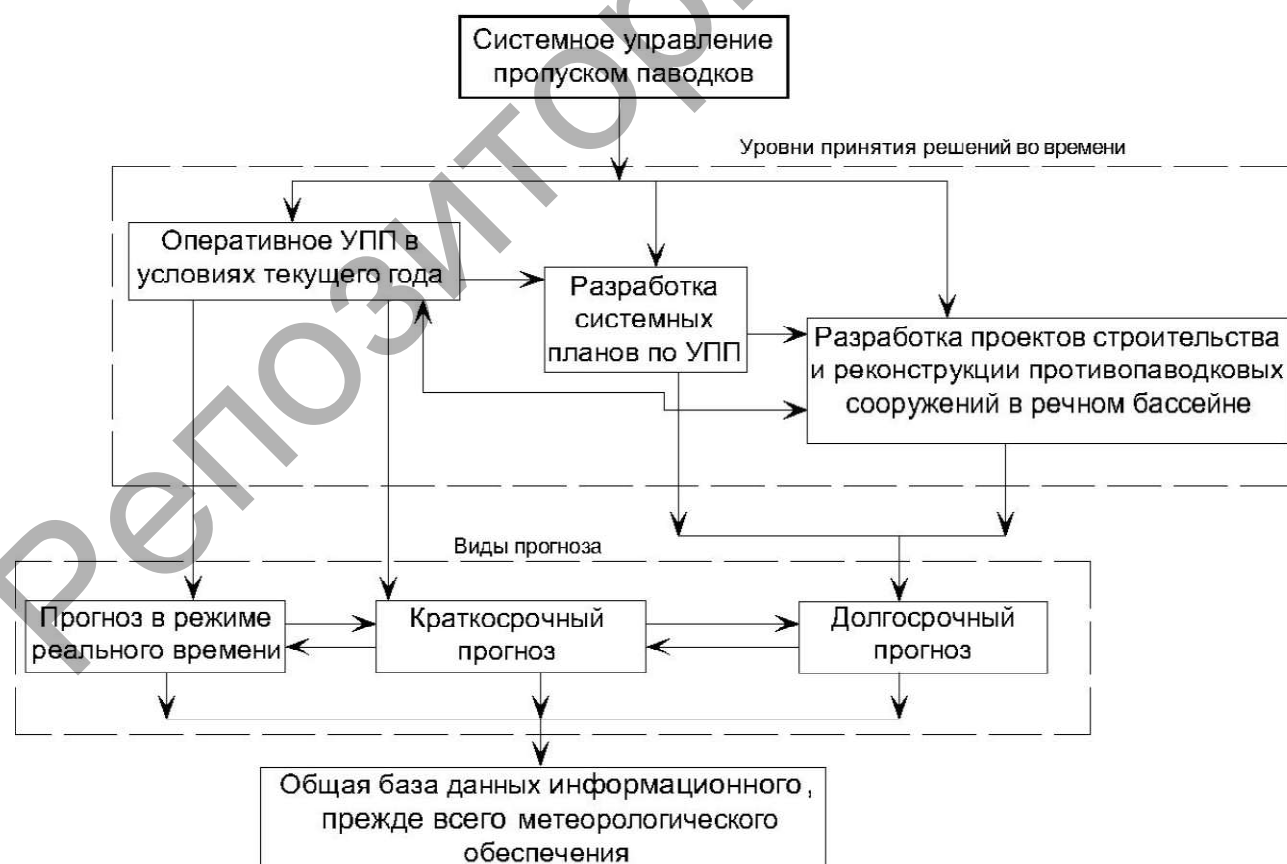


Рисунок 1 – Структура системного управления пропуском паводков

Решение этого вопроса возможно только благодаря выполнению детальных прогнозных режимных расчетов на долгосрочной основе для различных альтернативных вариантов схем водорегулирования в речном бассейне и выбора оптимальной из них в изменчивых климатических условиях по всему спектру расчетных лет.

Если существует потребность в строительстве или реконструкции сооружений, то в силу вступает третий уровень принятия решений во времени, задача которого состоит в разработке проектов нового строительства и реконструкции аккумулирующих, водорегулирующих и водопропускных сооружений в речном бассейне [5].

На стадии проектов нового строительства и реконструкции существующего каскада сооружений в речном бассейне путем выполнения более детальных расчетов для различных типов бассейнов должна проводиться оптимизация параметров необходимых гидротехнических сооружений в бассейне вместе с комплексом других мер по регулированию условий прохождения паводка.

Благодаря этому необходимо обосновать и определить оптимальное решение относительно типа, конструкции и параметров сооружений, обусловленные принятым способом (схемой) водорегулирования в бассейне реки при существующих природно-хозяйственных условиях.

Исходя из имеющихся видов прогноза относительно уровней принятия решений во времени (1- оперативное управление; 2- плановое управление; 3 - проект) для выполнения режимных прогноз-оптимизационных расчетов на долгосрочной или краткосрочной основе, необходимо исходить из разработки соответствующего прогноза климатических или погодных условий, традиционно относящихся к так называемому климатологическому прогнозу.

Климатологические прогнозы – это прогнозы, в которых в качестве прогнозируемой величины берутся средние многолетние значения (нормы) необходимых метеорологических величин или их нормированное распределение за расчетный период времени (многолетний, годовой, вегетационный период и др.) [5].

Модель прогнозной оценки метеорологических режимов является первым звеном в цепи реализации любых режимных прогноз-имитационных расчетов на долгосрочной или краткосрочной основе, от точности которого напрямую зависят результаты всех последующих вычислений, вплоть до окончательного принятия проектных или экспертных решений.

При этом вид и уровень сложности таких моделей, их методическое и информационное обеспечение должны удовлетворять главному требованию – быть достаточно эффективными и относительно простыми и пригодными для их практического применения в прогнозных режимных расчетах.

Основой для принятия управленческих решений на всех трех уровнях их принятия может быть положена оценка аккумулирующей способности речного бассейна (АСРБ), устанавливаемая соответствующим качественным и количественным показателем. АСРБ – это потенциальная (предполагаемая) возможность речного бассейна принять определенное количество воды без нарушений экономико-экологической ситуации в его пределах.

Заключение

Таким образом, поскольку наводнения и паводки наносят значительный ущерб народному хозяйству и населению Прикарпатья, а существующее положение службы гидрологического оповещения в бассейне рек Днестр, Прут и Серет не может обеспечить прогнозирование и заблаговременное предупреждение прохождения и параметры паводков, возникает насущная необходимость в совершенствовании данных систем управления пропуском паводков с учетом современных подходов. Предлагаемое системное управление пропуском па-

водков (СУПП) позволит эффективно контролировать и прогнозировать процесс формирования и прохождения паводков на основе сочетания всех трех традиционных уровней принятия решений во времени: оперативного управления в режиме реального времени и краткосрочного прогноза метеофакторов; плановое управление, которое определяет на основе оценки аккумулирующей способности речного бассейна или его отдельных элементов необходимость в дополнительных сооружениях или их реконструкции на основе долгосрочного прогноза; уровень проекта, на котором разрабатывается соответствующий проект строительства, или реконструкции необходимых сооружений под определенную для условий реального объекта оптимальную расчетную обеспеченность. Это позволит в максимальной мере минимизировать ущерб от паводков и наводнений в регионе Прикарпатья.

Список литературы

1. Ромащенко, М. І. / Ромащенко М. І, Д. П. Савчук // Водні стихії. Карпатські повені: / За редакцією академіка УААН Ромащенко М.І. – Київ: Аграрна наука, 2002. – 351с.
2. Техніко – економічне обґрунтування створення інформаційно-виміральної системи “Прикарпаття” в басейні річки Прут на території Чернівецької області. 1. Пояснювальна записка. – К: Укрводпроект, 2011. – 34.
3. Рокочинський, А.М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водо регулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: Монографія / За редакцією академіка УААН Ромащенко М.І. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351с.
4. Методичні рекомендації по науково-методичних та організаційних засадах управління водогосподарсько-меліоративними об'єктами гумідної зони України за короткотерміновим метеорологічним / А.М. Рокочинській, Я.Я. Зубик, Л.В. Зубик, Є.І. Покладньов та ін. - Рівне, 2005. - 53с.
5. Посібник до ДБН В.2.4-1-99 “Меліоративні системи та споруди”. Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А.М. Рокочинський, В.А. Сташук, В.Д. Дупляк, В.М. Бежук та ін. Рівне, 2008. – 64с.
6. Трофимчук, Д.М. Автоматизована інформаційно-вимірвальна система “Прикарпаття” для прогнозування повеней/ Я.В. Дзюба, Д.М. Трофимчук, А.В. Живиця, А.М. Рокочинський // Вісник НУВГП. – 2015. – № 3(71): Технічні науки. – С. 303–307.

УДК 626.876.1(476) + 631.61

ТЕХНОЛОГИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

Стельмашук С.С., Водчиц Н.Н., Громик Н.В.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, vig_bstu@tut.by

The use of bulldozer for the major land leveling operations in the saturation zones near ponds or (water) reservoirs is considered economically efficient.

Введение

При создании на территории Белорусского Полесья большого количества прудов и водохранилищ возникла необходимость защиты земель, попадающих в зону их влияния от подтопления и затопления. Кроме того, выраженный микрорельеф, высокая расчлененность почвенного покрова снижает продуктивность мелиорируемых земель, находящихся в зоне влияния водосливов.

На таких землях затрудняется применение широкозахватной техники, что приводит к затягиванию сроков посевных работ. Кроме того, степень отрицательного влияния микрорельефа усиливается в связи с подъемом уровней грунтовых вод в зоне влияния водоемов. На пониженных участках повсеместно появляются выемки. Глубина поверхности на пониженных участках поля достигает от 0,5 до 2 м и более. На таких мелиоративных объектах необходимо выполнять мероприятия по строительной планировке, что существенно повлияет на повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Объект исследования и его природная характеристика

Остро стоит вопрос использования мелкозалежных торфяников (мощность торфа до 1 м) с наличием минеральных выклиниваний. Зачастую такие угодья используются под пропашные сельскохозяйственные культуры. Выраженный микрорельеф, высокая расчлененность и контрастность почвенного покрова снижают продуктивность мелиорируемых земель: семена заделываются неравномерно, а в понижениях из-за переувлажнения наблюдаются вымочки посевов.

Кроме того, затрудняется здесь применение широкозахватной и скоростной техники, что приводит к затягиванию сроков выполнения полевых работ и снижению урожая. Осложняется на таких участках регулирование водного режима шлюзованием или дождеванием. Степень отрицательного влияния микрорельефа усиливается в условиях интенсификации мелиоративного земледелия. Минеральные включения располагаются на повышенных участках заболоченных массивов и образуют единый комплекс с торфяниками. Так как минеральные включения находятся выше средней отметки поверхности, то уровень грунтовых вод на них после осушения значительно ниже, чем на торфяных почвах.

На осушенных массивах, вследствие осадки и сработки торфа, абсолютные отметки рельефа несколько понижаются, а относительные колебания рельефа становятся еще большими. Отметки поверхности в пределах поля севооборота колеблются от 0,5 до 2 м и более.

В мелкозалежных торфяных и дерново-перегнойно-глееватых почвах при иссушении пахотного горизонта развиваются процессы накопления биохимически инертных гумусовых веществ. В результате этих процессов в почвах уменьшается содержание гуминовых и фульвокислот и накапливается негидроизолируемый остаток.

В мелиорированных почвах происходят как отрицательные изменения (уменьшение содержания органического вещества, влагоемкости и влагозапасов, ухудшение структурного состояния пахотного горизонта и др.), так и положительные (увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия, степени разложения, зольности и др.) Однако негативные изменения почв преобладают. В этом отношении особо важным является содержание органического вещества и продуктивной влаги. На основании обобщения многочисленных данных по сработке торфяных почв выявлено, что наиболее характерными ее величинами для условий Республики Беларусь являются 1 – 3 см в год.

В основе охраны и дальнейшего использования торфяных почв лежит требование объяснить высокую экономически целесообразную продуктивность возделываемых на них культур при экономном расходовании запасов органического вещества для получения максимальной отдачи за весь период использования ценного, являющегося аккумулятором влаги и источником азота, природного ресурса – торфа.

Повысить плодородие таких земель невозможно без планировочных работ. Планировка создает ровную поверхность и равномерные уклоны, ликвидирует замкнутые (бессточные) понижения для ускорения стока поверхностных вод и предотвращения вымокания посевов. Планировка способствует заделке семян на оптимальную глубину и повышает эффективность осушительно-увлажнительных систем.

Планировка мелиорируемых земель с пёстрым почвенным покровом имеет не только экономическое, но и природоохранное значение. Она особенно эффективна, где мелкозалежные торфяники чередуются с минеральными выклиниваниями. При их планировке происходит не только выравнивание поверхности, но и пескование торфяников. Засыпка оторфованных микрозападин минеральным грунтом предотвращает ветровую эрозию и ограничивает непроизводительные потери органического вещества в результате минерализации. Происходит значительное улучшение водно-физических и тепло-физических свойств почв, за счет чего выход сельскохозяйственной продукции возрастает в среднем до 50% по сравнению с неспланированной поверхностью. Вместе с планировкой поверхности следует предусматривать агротехнические и агрохимические мероприятия, причем планировка проводится с использованием серийно выпускаемых мелиоративно-строительных машин.

Результаты исследований

Исследованиями было предусмотрено выявление объемов планировочных работ, определение затрат труда и средств механизации на их проведение, а также изучение качественных показателей состояния поверхности мелиорируемых массивов при планировке.

На опытном участке проводилась строительная планировка бульдозером по следующей технологической схеме: снятие гумусового слоя + срезка минеральных выклиниваний бульдозером + возвращение гумусового слоя + выравнивание поверхности.

Контрольный вариант был выбран без каких-либо работ по планировке поверхности, на нем проводилась только первичная обработка массива.

Основная задача исследований заключалась в изучении возможности планировки выклиниваний высотой до 1 метра над средней отметкой массива машинами и механизмами, применяемыми при выполнении мелиоративно-строительных работ. Особое значение уделялось сохранению гумусового горизонта, а также получению качественных характеристик поверхности, отвечающих современным требованиям.

Затраты труда и энергии с применением бульдозера на основных операциях приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Удельные затраты труда и энергии на 1 га спланированной площади

Технологические операции	Затраты труда		Затраты энергии кВт – час на 1 га	Производительность га/м-см
	чел.-час на 1 га	удельный вес в %		
1	2	3	4	5
Снятие гумусового слоя	16,81	31,80	1227	0,49
Срезка минеральных повышений	22,39	42,40	1634	0,37
Возвращение гумусового слоя	13,61	25,80	994	0,60
Первичная обработка	13,61	-	745	0,60
В том числе на планировке	52,01	100	3855	0,15

Из таблицы 1 видно, что наибольшие затраты труда и энергии приходится на технологическую операцию по срезке минеральных повышений и составляют 42,4% от общих затрат. На технологическую операцию по снятию гумусового слоя затраты труда и энергии на 28% меньше по сравнению с основной планировкой.

Качественные показатели планировки поверхности бульдозером приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Качественные показатели планировки поверхности бульдозером

Варианты планировки	Исходная поверхность		Поверхность после планировки	
	колебания отметок, см	уклоны	колебания отметок, см	уклоны
1	2	3	4	5
Планировка с применением бульдозера на основных технологических операциях	± 40	0,011 – 0,025	± 4 – 5	0,005 – 0,0006
Контроль	± 45	0,0096 – 0,019	± 45	0,0096 – 0,019

Из таблицы 2 видно, что пары колебаний высот исходной поверхности ± 40-45 см над средней отметкой хорошее качество поверхности получено с использованием бульдозера в качестве ведущего механизма на основных технологических операциях.

Главным критерием экономической эффективности мелиоративных мероприятий является урожайность сельскохозяйственных культур, от величины которой в прямой зависимости находятся другие показатели. По этому показателю целесообразным является вариант планировки с применением бульдозера на основных технологических операциях.

Технико-экономические показатели планировки подтопляемых земель бульдозером показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Технико-экономические показатели планировки подтопляемых земель бульдозером

Показатели, единицы измерения	Планировка бульдозером	Контроль
1	2	3
Вложения на планировку, тыс. руб/га	36049	-
Валовый сбор с/х продукции, ц. корм. ед/га	40,85	24,37
Прибавка урожая от планировки, ц. корм. ед/га	16,48	-
Стоимость валовой продукции, тыс. руб/га	7386	4237
Чистый доход, тыс. руб/га	4085	1726
Дополнительный чистый доход от планировки, тыс. руб/га	2359	-
Коэффициент эффективности вложений на мелиорацию	0,264	0,146
Коэффициент эффективности дополнительных вложений на планировку	0,654	-
Срок окупаемости вложений, лет	3,77	6,85
Срок окупаемости дополнительных вложений, лет	1,53	-
Экономический эффект от проведения планировки, тыс. руб/ ц. корм. ед.	34,08	-

Из таблицы 3 видно, что валовый сбор сельскохозяйственной продукции составил 40,85 ц. корм. ед. с 1 га, в то время как на участке с обычной обработкой почвы – 24,37 ц. корм. ед. с гектара. Дополнительный чистый доход от проведения комплекса планировочных работ с применением бульдозера на основных технологических процессах составил 2359 тыс. бел. руб. на 1 гектар. Дополнительные капитальные вложения на планировку поверхности мелиорируемых почв окупаются за 1,53 года сельскохозяйственного использования спланированной площади.

Заключение

Для повышения продуктивности мелиорируемых земель, находящихся в зоне подтопления водохранилищ, прудов и рыбхозов, где имеются минеральные выклинивания среди торфяников, необходимо проводить строительную планировку.

Исследования показали техническую возможность проведения планировочных работ на таких землях с использованием серийно выпускаемых мелиоративно-строительных машин. Экономически выгодным является планировка с применением бульдозера на основных технологических операциях. При качественной планировке ($\pm 4-5$ см) поверхности сбор сельскохозяйственной продукции возрастает в среднем на 15-20% по сравнению с контролем. Окупаемость общих капитальных вложений на улучшение состояния поверхности мелиорируемых земель снижается на 1-2 года. Дополнительные капитальные вложения окупаются в течение двух лет.

Список литературы

1. Рылов, В.Н., Стельмашук, С.С., Смирнов, В.П. Качество планировки поверхности абсолютного массива различными способами // Мелиорация и водное хозяйство. – Минск: Ураджай, 1976. – №8. – С. 24–26.

2. Стельмашук, С.С. Выравнивание микрорельефа и плодородия мелиорируемых земель / С.С. Стельмашук, Н.Н. Водчиц // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2010. – №2 (62): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 7–9.

3. Стельмашук, С.С. Техничко-экономическая оценка технологических схем планировки при мелиорации мелкозалежных торфяников Белорусского Полесья / С.С. Стельмашук, Н.Н. Водчиц // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – №2 (68): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 42–44.

4. Стельмашук, С.С., Рылов, В.Н. Влияние капитальной планировки на продуктивность мелкозалежных торфяников // Гидротехника и мелиорация. – Москва: Колос, 1983. – №7. – С. 45–47.

5. Водчиц, Н.Н., Стельмашук, С.С. Методика определения влагообеспеченности территорий, находящихся в зоне влияния водохранилищ и прудов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2010. – №2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 7–9.

6. Стельмашук, С.С. Влияние капитальной планировки на качественные изменения поверхности мелкозалежных торфяников. – Брестский инженерно-строительный институт. – Брест, 1984. – 9 с. – Дел. в ЦБНТИ Минводхоза СССР, № 1432. – 1984. – С.14–17.

УДК 504.54.05

ФЕРМЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА КАК ФАКТОР ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРИПЯТСКОМ ПОЛЕСЬЕ

Струк М.И., Кузнецов Д.П.

Государственное научное учреждение «Институт природопользования НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь, geosystem1@rambler.ru

The influence of the farms of large livestock on the use of natural resources in the Pripyat Woodlands is examined. Is shown their role in the formation of organic fertilizers and the maintenance of the balance of humus in the soils, the retention of meadow ecosystems, and also the connected with them danger of environmental pollution

Введение

Фермы крупного рогатого скота относятся к числу производственных объектов, для которых характерно особенно тесное взаимодействие с окружающей средой. Их функционирование опирается на использование местных природных ресурсов – земельных, растительных, водных – в силу чего они оказывают организующее влия-

ние на близлежащие территории, определяя структуру землепользования в их пределах. Кроме этого, данные объекты выступают источниками образования органических удобрений, необходимых для восполнения гумуса в почвах, а также вызывают поступление загрязняющих веществ в окружающую среду.

Соответственно, оптимизация природопользования в том или ином регионе должна проводиться с учетом средоформирующей роли расположенных в его пределах ферм крупного рогатого скота. Определение такой роли и явилось целью исследования. Решаемые задачи включали получение четырех видов оценок: во-первых, природно-ландшафтных предпосылок разведения крупного рогатого скота; во-вторых, роли изучаемых объектов в образовании органических удобрений и восполнении гумуса в почвах; в-третьих, их значения как фактора сохранения луговых экосистем; в-четвертых, вызываемой ими опасности загрязнения окружающей среды.

Исследование выполнено применительно к региону Припятского Полесья в рамках научного обеспечения государственной программы его социально-экономического развития на 2010 – 2015 годы [1]. Территория региона определена госпрограммой в границах семи административных районов, в которых расположена пойма р. Припяти. Три из них (Лунинецкий, Пинский и Столинский) находятся в Брестской и четыре (Житковичский, Мозырский, Наровлянский и Петриковский) в Гомельской области.

Природно-ландшафтные предпосылки разведения крупного рогатого скота

Регион Припятского Полесья входит в состав Полесской низменности и занимает ее центральную часть. В природно-ландшафтном отношении он представляет собой сочетание природных комплексов долины р. Припяти – аллювиальных и озерно-аллювиальных низин и болот поймы и двух надпойменных террас с примыкающими к ним водно-ледниковыми и моренными равнинами и возвышенностями.

По площади распространения в Припятском Полесье преобладают низинные ландшафты, доля которых составляет 77% [2]. Равнинные ландшафты занимают 21% и возвышенные – 2% территории.

Доминирование в регионе низинных ландшафтов долины р. Припяти в сочетании с близким к поверхности урезом воды в реке обуславливает его высокую подверженность наводнениям. На указанной реке и ее притоках весенние наводнения повторяются с частотой 1 раз в 2 – 3 года [3]. Кроме этого, для бассейна р. Припяти характерна также самая высокая в Беларуси повторяемость наводнений и в другие сезоны года. Они вызывают здесь наибольшую площадь затопления и наносят самый высокий в стране экономический ущерб.

Важной для природопользования особенностью природно-ландшафтного строения Припятского Полесья является также его очень высокая заболоченность. Доля болотных ландшафтов составляет здесь 27%. По площади распространения они занимают первое место среди остальных ландшафтов.

Литологический состав покровных отложений Припятского Полесья представлен главным образом песками и торфом, что предопределяет его высокую дефляционную опасность. Подверженность территории водной эрозии из-за ее равнинного рельефа, наоборот, низкая. Лишь в Мозырском районе, в пределах той его части, которая приходится на моренную возвышенность, опасность развития линейной и плоскостной эрозии возрастает.

Преобладающие в регионе низинные ландшафты характеризуются неглубоким залеганием грунтовых вод, что, в сочетании с высокой проницаемостью слагающих их пород, обуславливает слабую естественную защищенность этих вод от загрязнения.

Приведенные особенности ландшафтного строения Припятского Полесья сказались на уровне его хозяйственного освоения, который является сравнительно невысоким. Сельскохозяйственные земли занимают здесь 30% территории, что в 1,4 раза ниже среднего для Беларуси показателя.

В то же время регион характеризуется повышенной степенью осушительной мелиорации сельскохозяйственных угодий (56%), а также долей луговых земель в их структуре (47%). Это выше средних для страны величин, соответственно, в 1,7 и 1,4 раза. Следовательно, предпосылки разведения в его пределах крупного рогатого скота можно оценить как благоприятные.

Роль ферм крупного рогатого скота в образовании органических удобрений и восполнении гумуса в почвах

Совокупная численность крупного рогатого скота в Припятском Полесье во всех категориях хозяйств в 2013 г. составила около 324 тыс. голов. Абсолютное большинство поголовья сосредоточено на животноводческих фермах и комплексах сельскохозяйственных организаций – 95%. На хозяйства населения приходится лишь 5%. Общее количество ферм и комплексов составило 312 объектов, их средние размеры – 960 голов.

Объемы образования органических удобрений зависят от численности скота. Ее изменения, очевидно, должны сказаться на их величине. Для выявления зависимости образования органических удобрений от поголовья скота выполнено сопоставление динамики показателей его численности в сельскохозяйственных организациях с показателями объемов вносимых органических удобрений за период с 1990 по 2013 г. Использованы соответствующие статистические данные для Брестской и Гомельской областей [4].

Построенные по указанным материалам графики показали, что в первой половине анализируемого временного интервала в обеих областях имело место последовательное сокращение поголовья крупного рогатого скота. Оно достигло минимального значения в 2005 г., снизившись по сравнению с 1990 г. в Брестской области в 1,7 раза, в Гомельской в 2,1 раза. Затем начался его рост. Однако и в 2013 г. поголовье крупного рогатого скота в Брестской области составило лишь 74%, в Гомельской – 62% от уровня 1990 г.

График, отражающий образование органических удобрений, согласуется с динамикой численности скота. Уменьшение его поголовья сопровождалось снижением объемов удобрений и наоборот. Их максимальный спад, так же как и сокращение численности скота, пришелся на 2005 г. – в 2,4 раза в Брестской и в 3,2 раза в Гомельской областях.

В последующие годы образование органических удобрений стало увеличиваться, но темпы такого роста существенно различались по областям. В Брестской области они были более высокими, в результате чего объем образования удобрений здесь в 2013 г. достиг 80% от уровня 1990 г. В Гомельской области такие темпы оказались значительно ниже, и объем образования удобрений составил в ней лишь 46% от аналогичного уровня.

Органические удобрения пополняют запасы гумуса в почве, соответственно изменения этих запасов во времени могут выступить индикатором достаточности их внесения. Для выявления подобных изменений в пахотных почвах районов Припятского Полесья рассмотрены показатели средневзвешенного содержания в них гумуса, а также доли слабообеспеченных гумусом почв (содержание менее 1,5%) в общей площади пахотных земель. Сравнение выполнено за два временных интервала, соответственно, 2007-2010 и 2003-2006 гг. [5].

По региону в целом показатели содержания гумуса в почве, а также доли слабообеспеченных гумусом почв за рассмотренный промежуток времени практически не изменились. Однако направленность их динамики в районах Брестской и Гомельской областей была противоположной. В первых из них средневзвешенное содержания гумуса увеличилось на 0,06%, достигнув 2,65%, а доля слабообеспеченных гумусом почв уменьшилась с 11,6 до 8,8%. Во вторых – наоборот, средневзвешенное содержания гумуса уменьшилось на 0,13% и составило 2,37%, а доля слабообеспеченных гумусом почв увеличилась с 3,6 до 7,2%

Причиной снижения обеспеченности почв гумусом в районах Гомельской области, очевидно, является недостаточное для его простого воспроизводства внесение органических удобрений, что, в свою очередь, обусловлено недостаточными объемами их образования на животноводческих комплексах и фермах.

Обеспечить увеличение указанных объемов можно путем производства компостов на основе полужидкого навоза и торфа. Пригодные для разработки торфяные месторождения, которые создают необходимую сырьевую базу для такого производства, имеются во всех районах.

Роль ферм крупного рогатого скота в сохранении луговых экосистем

При оценке роли животноводческих комплексов и ферм как фактора сохранения луговых экосистем следует исходить из того, что между численностью крупного рогатого скота, с одной стороны, и площадью, а также экологическим состоянием луговых угодий, с другой, складываются определенные равновесные соотношения. Изменение данной численности в сторону увеличения или уменьшения при прочих равных условиях приводит к негативным изменениям луговых экосистем. В первом случае они выражаются в развитии процессов пастбищной дигрессии луговой растительности, во втором – в ее закустаривании, залесении, заболачивании.

Следовательно, для выявления предпосылок возникновения конфликтных экологических ситуаций, связанных с состоянием луговых экосистем, необходимо рассмотреть динамику численности крупного рогатого скота и сопоставить ее с изменениями площади луговых угодий. Подобное сопоставление выполнено для Припятского Полесья за период с 1990 по 2013 г.

В динамике рассматриваемых показателей прослеживаются существенные различия. Площадь луговых земель за указанный период оставалась практически стабильной. В то же время в численности крупного рогатого скота за десятилетие (1990 – 2000 гг.) произошел существенный спад (в 1,7 раза), после чего она также практически стабилизировалась.

В 1990 г. на одну голову крупного рогатого скота приходилось 0,5 га луговых угодий, что способствовало их максимально полному использованию. К 2000 г. этот показатель увеличился до 0,9 га и остался на таком же уровне и в последующие годы.

Часть луговых земель после 1990 г. вообще перестала использоваться для сенокоса и выпаса скота, в результате чего в их пределах стали развиваться процессы закустаривания, залесения, заболачивания. В максимальной степени эти процессы затронули естественные луговые угодья, которые ранее использовались для выпаса крупного рогатого скота, находящегося в собственности сельского населения, что обусловлено особенно резким снижением его поголовья – в 3,4 раза.

По мере снижения потребностей в луговой растительности для хозяйств населения повышалась роль ферм крупного рогатого скота сельскохозяйственных организаций в сохранении луговых экосистем. В настоящее время она приобретает решающее значение. Соответственно, острота проблемы деградации луговой растительности из-за отсутствия сенокоса и выпаса скота будет определяться количеством этих ферм в пределах той или иной территории.

В Припятском Полесье в целом доля поселений, в которых имеются указанные объекты, составляет 43%. При этом в районах Брестской области данный показатель 1,8 раза выше, нежели в Гомельской. Следовательно, процессы залесения, закустаривания и заболачивания луговых земель более интенсивно будут проявляться в той части региона, которая относится к Гомельской области.

Опасность загрязнения окружающей среды со стороны ферм крупного рогатого скота

Животноводческие фермы выступают источниками загрязнения атмосферного воздуха, почв, грунтовых и поверхностных вод [6]. Основным веществом – загрязнителем атмосферного воздуха является аммиак. Кроме того, в районе размещения этих объектов фиксируется специфический запах, может отмечаться также повышенное содержание сероводорода, меркаптанов, микробов.

В химическом загрязнении почв, грунтовых и поверхностных вод навозными стоками принимают участие, главным образом, соединения азота аммиачного, нитритного, нитратного, органического, а также хлориды, сульфаты, фосфаты. Также существует угроза бактериологического и гельминтологического загрязнения данных природных компонентов.

Для оценки потенциальной опасности загрязнения атмосферного воздуха со стороны животноводческих ферм и комплексов Припятского Полесья использованы соответствующие формулы [6]. Выполненные с их применением расчеты показали, что ориентировочная зона загрязняющего влияния на атмосферный воздух самого крупного из имеющихся в регионе комплекса крупного рогатого скота мощностью 2,8 тыс. голов (Пинский район) составляет 1,1 км. Для остальных объектов она не превышает 1 км.

Для выявления опасности загрязнения грунтовых вод применительно к конкретным животноводческим комплексам и фермам определялись природно-ландшафтные условия их размещения с подразделением ландшафтов по степени устойчивости к загрязнению грунтовых вод на четыре группы. К первой группе (высокая устойчивость) отнесены ландшафты моренных возвышенностей, ко второй (умеренная устойчивость) – моренных и водно-ледниковых равнин, к третьей (низкая устойчивость) – аллювиально-аккумулятивных низин первой надпойменной террасы, а также аллювиально-аккумулятивных и озерно-аллювиальных низин второй надпойменной террасы; к четвертой (очень низкая устойчивость) – пойменные и болотные ландшафты.

Выполненное совместное картографирование ландшафтов и рассматриваемых объектов животноводства позволило оценить вызываемую каждым из них опасность загрязнения грунтовых вод. По всему Припятскому Полесью получено следующее их распределение: на территориях с высокой устойчивостью размещается 5%, с умеренной – 29, с низкой – 55 и с очень низкой – 11% ферм крупного рогатого скота.

Самой низкой защищенностью грунтовых вод характеризуется центральная часть региона. В Столинском, Житковичском и Лунинецком районах доля ферм, которые размещаются на территориях с низкой и очень низкой устойчивостью этих вод к загрязнению, изменяется в диапазоне 81 – 98%.

Заключение

Природно-ландшафтные условия Припятского Полесья отличаются повышенной сложностью для хозяйственного освоения из-за высокой заболоченности территории и ее подверженности наводнениям. Вместе с тем повышенный уровень осушительной мелиорации и доли луговых земель в структуре сельскохозяйственных угодий обуславливают благоприятные предпосылки разведения здесь крупного рогатого скота.

Образование органических удобрений на животноводческих фермах в западной части региона, относящейся к Брестской области, обеспечивает положительный баланс гумуса в почвах; в восточной части, относящейся к Гомельской области, является недостаточным для его простого воспроизводства. Увеличение образования органических удобрений может быть достигнуто путем использования местных месторождений торфа для приготовления компостов.

Произошедшее за 1990-е годы уменьшение поголовья крупного рогатого скота послужило причиной деградации луговой растительности на землях, где прекращены его выпас и сенокосение. В большей мере этот процесс характерен для восточной части региона, в которой обеспеченность фермами крупного рогатого скота в 1,8 раза ниже, чем в западной.

В Припятском Полесье имеет место повышенная опасность загрязнения грунтовых вод со стороны ферм крупного рогатого скота, 2/3 из них размещаются на территориях с низкой и очень низкой устойчивостью к такому загрязнению.

Список литературы

1. Государственная программа социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010 – 2015 годы. Утв. Указом Президента Республики Беларусь 29.03.2010 г., № 161.

2. Струк, М.И. Пойменные ландшафты и организация природопользования в Припятском Полесье / М.И. Струк // Рациональное использование пойменных земель: материалы науч.-практ. семинара. ГПУ «Национальный парк «Припятский», 19–21 июня 2013 г. – Минск, 2013. – С. 15-20.

3. Логинов, В.Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, Ан.А. Волчек. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 244 с.

4. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2014. – 370 с.

5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2007 – 2010) / Под ред. И.М. Богдевича. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии, 2012. – 275 с.

6. Методические рекомендации по изучению влияния животноводческих комплексов на окружающую среду. Утв. начальником Главного санитарно-эпидемиологического управления Министерства здравоохранения СССР В.Е. Ковшило 9.02.1981 г., № 2289-81.

УДК 631.417.2

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО СОСТАВА И ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

Троцюк В.С., Фурман В.М.

Национальный университет водного хозяйства и природопользования» г. Ровно, Украина, viktor_trotsyuk@ukr.net

Main regularities of soil structure and humus colloid forms transformation in the drained leptosols rendzin under influence of plowing and different fertilization systems application are showed. The functional dependence between contain water resistant aggregates and passive humus form is propose.

Введение

Структурно-агрегатный состав и гумусное состояние почвы является одним из главных факторов ее плодородия. Регулирование указанных показателей обеспечивает существенные изменения в формировании водно-воздушного и

питательного режимов почвы. В оструктуренной почве создаются оптимальные условия водно-воздушного и теплового режимов, что, в свою очередь, обуславливает развитие микробиологической деятельности, мобилизацию и доступность питательных веществ для растений [2, 4, 5].

Оптимизация гумусового состояния почвы обеспечивает регулирование питательного режима, рост емкости катионного обмена, что приводит к увеличению ее способности противостоять изменению концентрации почвенного раствора за счет обменного поглощения ионов последнего. Протекание указанных процессов важно учитывать при применении повышенных норм легкорастворимых форм минеральных удобрений и химической мелиорации почв. Кроме того, структурно-агрегатный состав почвы существенно обусловлен его гумусным состоянием [2], поэтому установление соответствующих функциональных зависимостей позволит разработать механизмы регулирования структурно-агрегатного состава и основных параметров гумусового состояния в комплексе за счет агротехнических мероприятий и систем применения удобрений в частности.

Закономерности формирования основных водно-физических и физико-химических свойств дерново-карбонатных почв освещены достаточно [4, 5]. Однако, такая важная сторона этого вопроса, как взаимосвязь их с гумусовым состоянием почвы, до настоящего времени не исследовалась.

Решение проблемы установления взаимосвязи между структурно-агрегатным составом и гумусовым состоянием является важной научно-практической задачей, поскольку обнаруживает пути комплексной оптимизации этих показателей через агро-мелиоративные и агротехнические приемы. Установление соответствующих математических зависимостей позволяет выявить качественно-количественный механизм комплексного управления как структурно-агрегатным составом, так и параметрами гумусного состояния. Это является важной задачей современного земледелия на этапе планирования той или иной системы или агротехнического мероприятия, поскольку позволяет также прогнозировать, например, изменение структурно-агрегатного состава почвы под влиянием той или иной системы применения удобрений. На основе таких данных можно делать выводы об ожидаемом уровне урожайности сельскохозяйственных культур, а следовательно и экономической эффективности упомянутого мероприятия.

Полевые исследования проводились в период 2000-2002 г.г. на осушаемых дерново-карбонатных почвах Степанского научно-исследовательского стационара, расположенного в Сарненском районе Ровенской области, полевой опыт на котором заложен в 1964 году. Содержание гумуса определяли методом "мокрого" сжигания по И.В.Тюрину в модификации В.Н.Симакова [3]. Содержание коллоидных форм гумуса определяли по методике Соколовского. Образцы для определения агрегатного состава отбирались из пахотного и подпахотного слоев почвы и просеивались через систему сит по методу Н.И. Саввинова [3]. Проба для просеивания составляла 2,0...2,5 кг воздушно-сухой почвы.

Оценку структурного состояния проводили по коэффициенту структурности, сумме агрономически ценных агрегатов и сумме водостойких агрегатов по шкале, предложенной С.В.Долговым и П.У. Бахтиным. Коэффициент структурности определяли как отношение процентного содержания агрономически ценных агрегатов (0,25-10 мм) к сумме агрегатов размером менее 0,25 мм и более 10 мм. Оценку микроагрегованности почвы проводили по "фактору структурности" и "фактору дисперсности" [3]. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по методике Б.А. Доспехова [1].

Основная часть

Одним из важных мероприятий по улучшению структурно-агрегатного состава и гумусового состояния является правильная агротехника выращивания сельскохозяйственных культур и научно обоснованное применение удобрений. Поэтому были проведены исследования изменения структурно-агрегатного состава и основных показателей гумусового состояния дерново-карбонатной легкосуглинистой почвы под влиянием распашки и применения различных систем удобрения.

Из данных табл. 1 видно, что в результате сельскохозяйственного использования содержание глыбистой части на контроле увеличилось в пахотном слое на 4,2%, а в подпахотном - на 7,1% по сравнению с целинной почвой. Это связано с увеличением распыления почвы при ее обработке. Так, содержание пыли (частиц размером менее 0,25 мм) в верхнем слое целинной почвы составляет 8,6%, а в пахотном слое контроля - 14,6%, то есть увеличивается более чем в 1,5 раза. Значительно уменьшилось содержание агрегатов размером 1...5 мм (с 31,2% на целине до 21,9% на контроле), а общее содержание агрегатов размером 1...10 мм уменьшилось на 23,5%.

Таблица 1 – Изменение структурно-агрегатного состава и основных показателей гумусового состояния дерново-карбонатной легкосуглинистой почвы под влиянием длительного распашивания и применения удобрений

Вариант опыта	Слой почвы	Глубина отбора образца, см	Содержание гумуса, %			Содержание агрегатов размером 0,25-10 мм, %	Содержание водостойких агрегатов, %	Коэффициент структурности
			Г	ПГ	АГ			
Целина		3 - 25	4,85	3,83	1,02	73,2	74,1	2,73
	Н	25 - 35	2,87	1,83	1,04	70,9	60,5	2,44
		3 - 35	4,28	3,25	1,03			
Контроль (без удобрений)	Нпах	0 - 25	3,15	1,89	1,26	60,8	53,5	1,55
	Нподпах	25 - 35	2,24	1,68	0,56	58,9	50,1	1,43
	Н	0 - 35	2,89	1,83	1,06			
N60P60K120	Нпах	0 - 25	3,28	1,99	1,29	64,0	55,1	1,78
	Нподпах	25 - 35	2,26	1,60	0,66	60,9	50,0	1,56
	Н	0 - 35	2,98	1,88	1,11			
N120P120K240	Нпах	0 - 25	3,49	2,38	1,11	64,4	55,8	1,81
	Нподпах	25 - 35	2,52	1,95	0,57	61,0	50,6	1,56
	Н	0 - 35	3,21	2,26	0,95			
Навоз (8,9 т/га)	Нпах	0 - 25	3,98	2,40	1,58	67,0	58,0	2,03
	Нподпах	25 - 35	2,76	2,07	0,69	62,9	55,8	1,69
	Н		3,63	2,30	1,32			
N60P60K120 + навоз (8,9 т/га)	Нпах	0 - 25	4,28	2,30	1,98	67,6	58,7	2,09
	Нподпах	25 - 35	2,82	2,10	0,72	63,0	56,0	1,70
	Н	0 - 35	3,86	2,24	1,61			
N60P60K120 + навоз (4,4 т/га)	Нпах	0 - 25	4,10	2,65	1,5	69,0	59,1	2,23
	Нподпах	25 - 35	2,80	2,04	0,76	63,5	56,6	1,74
	Н	0 - 35	3,72	2,47	1,29			
N60P60K120 + навоз (13,3 т/га)	Нпах	0 - 25	4,32	2,21	2,11	69,2	59,3	2,25
	Нподпах	25 - 35	2,97	2,48	0,49	63,9	57,1	1,77
	Н	0 - 35	3,93	2,29	1,64	63,9	57,1	1,77
Для пахотного слоя	НСР05, %	0 - 25	0,49	0,07	-	1,26	0,87	-
	Sx		4,55	0,92	-	3,21	2,35	-
Для подпахотного слоя	НСР05, %	25 - 35	0,20	0,09	-	2,38	1,02	-
	Sx		2,41	1,58	-	3,74	3,07	-

Полученные значения коэффициента структурности также свидетельствуют об ухудшении структурного состояния пахотного слоя почвы по сравнению с целиной. Так, если в целинной почве коэффициент структурности равен 2,73 для пахотного слоя и 2,44 для подпахотного, то на пашне без применения удобрений он уменьшился соответственно до 1,55 и 1,43.

Как видно из приведенных данных, после освоения целины в пахотном слое осушаемых почв создаются новые условия для образования и разрушения структуры, при которых формируются комковатые агрегаты, по форме и качеству присущие пахотным, а не целинным почвам. Основной причиной ухудшения структурного состояния дерново-карбонатной почвы под влиянием обработки оказалось снижение содержания и запасов в ней гумуса, о чем было сказано выше.

Совсем по-другому складывались условия для структурообразования на вариантах с удобрениями. Здесь снизилось содержание глыбистых частиц и распыление почвы, то есть структурность лучше, чем на контроле. Применение удобрений увеличило содержание агрегатов размером 1...5 мм в пахотном слое с 21,9% на контроле до 29,0...29,3% на вариантах с удобрениями.

Величина коэффициента структурности на вариантах с различными системами применения удобрений свидетельствует о повышении структурности почвы в результате применения удобрений, особенно органических. Благоприятное влияние минеральных удобрений значительно слабее. Так, если на контроле (без удобрений) и при минеральных системах применения удобрений коэффициент структурности находился примерно на одном уровне (1,55...1,81 в пахотном и 1,43...1,56 в подпахотном слое), то при органической и комбинированной системах он повысился соответственно до 2,03...2,25 в пахотном и 1,69...1,77 в подпахотном слое.

Лучше оструктурирует почву органо-минеральная система применения удобрений. Основным оструктурирующим фактором при этом является органическое вещество (навоз), внесенное в почву при органической и органо-минеральной системах. Минеральные удобрения, в отличие от органических, влияют на структурообразование менее значительно, так как они стимулируют лучшее развитие растений, и за счет пожнивно-корневых остатков способствуют повышению содержания в почве органического вещества.

Однако, агрегаты только тогда будут показателями физического состояния почвы, когда они водостойкие, а водостойкость обуславливает физико-химическая связь органической и минеральной части почвы.

Известно, что количество водостойких агрегатов находится в тесной зависимости от содержания в них общего гумуса, особенно пассивной его формы [2]. Поскольку комбинированная система удобрения наиболее благоприятная для накопления пассивного гумуса, то на этих участках в пахотном и подпахотном слоях отмечается наибольшее содержание водостойких агрегатов - 58,7...61,3% и 56,0...57,1% соответственно. При минеральных системах применения удобрений этот показатель ниже и составляет для пахотного слоя 55,1...55,8%, а для подпахотного - 50,0...50,6%. Органическая система занимает промежуточное положение.

Как показали результаты мокрого просеивания, большие агрегаты водостойкостью не обладают и поэтому их содержание в почве нежелательно, поскольку они легко разрушаются осадками и способствуют образованию корки, увеличивая плотность сложения почвы и ухудшая ее водно-воздушный режим.

Высокое содержание водостойких агрегатов отмечается в целинной почве - 74,1% в слое 0-20 см и 60,5% в слое 20-40 см. Под влиянием распашки содержание водостойких агрегатов в дерново-карбонатной почве при различном уровне сельскохозяйственного использования снижается в пахотном слое на 24...31% и на 16...24% в подпахотном слое.

Математическая обработка результатов анализа структурно-агрегатного состава указывает на существенность различий вариантов органической и органо-минеральной систем применения удобрений по сравнению с вариантами без удобрений на 5% уровне значимости. Поэтому приходим к выводу, что систематическая обработка осушаемых дерново-карбонатных почв без применения удобрений существенно ухудшает их структурное состояние, а органическая и органо-минеральная системы применения удобрений ослабляют этот процесс и позволяют стабилизировать количество водостойких агрегатов на определенном уровне.

Используя классификацию почв, предложенную С.И. Долговым и П.У. Бахтиным [3], по данным водостойкости агрегатов пахотного и подпахотного слоев целинные дерново-карбонатные почвы могут быть отнесены к почвам с отличным и хорошим структурным состоянием.

Образование агрегатов и впитывающая способность почвы тесно связаны с общим содержанием гумуса и соотношением в его составе коллоидных форм - активного (АГ) и пассивного гумуса (ПГ). Поскольку АГ - это форма гумуса, который пептизируется после замещения в почвенном поглощающем комплексе кальция натрием, а ПГ - это форма гумуса, который остается связанным с минеральной частью почвы и не способен к пептизации, то водостойкость структурных агрегатов следует связать, прежде всего с ПГ. В то же время рост в составе гумуса доли АГ относительно ПГ свидетельствует или о новообразовании гумуса, или о его постепенной минерализации, причиной которой является активизация ПГ.

Таким образом, в результате исследований выявлено, что в результате распашки почвы в составе гумуса пахотного слоя содержание АГ возрастает от 10,8% (на варианте 2NPK) до 27,8% (на варианте NPK + навоз 13,3 т/га). Если обратить внимание на то, что содержание общего гумуса при этом уменьшается относительно целины от 10,9% (на варианте NPK + навоз 13,3 т/га) до 35,1% (на контроле), то приходим к выводу, что на контроле состоялась активизация ПГ, которая, очевидно, была причиной его минерализации. В то же время на вариантах органо-минеральной системы применения удобрений высокая доля АГ в составе гумуса обусловлена, прежде всего, в значительной мере интенсивностью минерализации гумуса относительно целины по сравнению с контролем. Если принять во внимание факт постепенного медленного накопления гумуса на вариантах органо-минеральной системы применения удобрений, то приходим к выводу об активизации не ПГ, а гумуса в целом на вариантах органической и органо-минеральной систем применения удобрений вследствие накопления гумуса. В таком случае образование АГ - одна из начальных стадий биохимических реакций гумусообразования и закрепления продуктов этого процесса в почве. Вместе с тем на варианте минеральной системы применения удобрений (2NPK) в пахотном слое отмечено превышение содержания общего гумуса на 10,7% относительно контроля, которое сформировалось в первые годы после распашки и применения удобрений. Поэтому существенный рост доли ПГ в составе гумуса (8,2%) относительно контроля свидетельствует о способности повышенных норм минеральных удобрений противостоять активизации гумуса, а следовательно - и ускоренной минерализации последнего. В подпахотном слое почвы отмечены такие же закономерности.

На варианте NPK не отмечено существенного прироста содержания общего гумуса относительно контроля как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы. Состав коллоидных форм гумуса на этом варианте также существенно не изменился относительно контроля. Итак, умеренные нормы минеральных удобрений не способны сдерживать минерализацию гумуса, а лишь обеспечивают растения легкодоступными элементами питания. Поэтому содержание во-

достойких агрегатов существенно не увеличивается относительно контроля, в то время как содержание агрономически ценных - растёт, что вызвано более развитой корневой системой растений в пахотном слое почвы на этом варианте относительно контроля.

В то же время органическая система применения удобрений, способствуя увеличению содержания гумуса в пахотном слое относительно контроля на 26,4%, не обеспечивает прироста в его составе доли ПГ, что свидетельствует о слабой интенсивности протекания процессов гумусообразования и закрепления гумуса минеральной частью почвы.

Оценка различных вариантов органо-минеральной системы применения удобрений по влиянию на прирост общего гумуса и увеличение доли ПГ в составе гумуса относительно контроля показала, что только на варианте (NPK + навоз 4,4 т/га) отмечена тенденция к росту доли ПГ в составе гумуса. В то же время при расширении соотношения между органическими и минеральными удобрениями (варианты NPK + навоз 8,9 т/га) и NPK + навоз 13,3 т/га) доля ПГ в составе общего гумуса в пахотном слое почвы уменьшается соответственно на 6,3 % и 8,8%. В подпахотном слое почвы, наоборот, отмечен рост доли ПГ в составе гумуса до 8,5% на варианте NPK + навоз (13,3 т/га). Следовательно, расширение соотношения между органическими и минеральными удобрениями способствует активизации гумуса.

По результатам исследований установлена функциональная зависимость между содержанием пассивного гумуса и содержанием водостойких почвенных агрегатов в пахотном слое дерново-карбонатной легкосуглинистой крупнопылевато-песчаной почвы.

Эта зависимость описывается полиномом второй степени:

$$Y = 2,409 X^2 - 3,886 X + 53,442; \quad R^2 = 0,923 \quad (1)$$

где: Y - содержание водостойких агрегатов, X - содержание гумуса, %.

Коэффициент детерминации указывает на тесную связь между водостойкостью агрегатов и содержанием гумуса в почве и высокую достоверность зависимости (1).

Исходя из зависимости (1), делаем вывод, что при увеличении содержания пассивного гумуса от 2,0% до 3,0% водостойкость агрегатов повышается на 14,8%, а при дальнейшем росте содержания пассивного гумуса от 3,0% до 4,0% водостойкость агрегатов повышается на 20,5%. Это свидетельствует о необходимости поддержания в почве содержания пассивной формы гумуса не ниже уровня 3,0%...4,0%, в противном случае произойдет резкое уменьшение водостойкости почвенных агрегатов.

Заключение

По классификации М.И.Долгова и П.У.Бахтина целинные дерново-карбонатные почвы относятся к почвам с отличным и хорошим структурным состоянием соответственно в 3-25 см и 25-35 см слоях. Однако, длительное использование осушаемых дерново-карбонатных почв без удобрений ухудшает их структурное состояние, но органическая и органо-минеральная (комбинированная) системы применения удобрений ослабляют этот процесс и позволяют стабилизировать в пахотном слое содержание агрономически ценных агрегатов на уровне 67,6% -69,2%, а содержание водостойких агрегатов на уровне 58,7-59,3%.

При длительном использовании почвы без применения удобрений на фоне общей дегумификации отмечена активизация пассивной формы гумуса, которая достигает 19,0%. Закрепление новообразованного гумуса в пассивной

форме в дерново-карбонатных почвах происходит только под воздействием повышенных норм минеральных удобрений и органо-минеральной системы с наиболее широким соотношением между минеральными и органическими удобрениями (NPK + навоз 4,4 т/га), что свидетельствует о целесообразности именно органо-минеральной системы применения удобрений.

Установлена полиномиальная функциональная зависимость содержания водостойких агрегатов от содержания пассивного гумуса в дерново-карбонатных осушаемых почвах, которая свидетельствует о необходимости поддержания в почве содержания гумуса не ниже уровня 3,0% -4,0%, за которым происходит резкое уменьшение водостойкости почвенных агрегатов.

Список литературы

1. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта. / Б.А. Доспехов – М.: Колос. – 1979, - 416 с.
2. Івашнюта Т.М. Якісний склад гумусу дерново-карбонатних ґрунтів // Научные труды Крымского Государственного агротехнологического университета / Т.М. Івашнюта – Симферополь: КГАУ. – 2003. – Вып. 81. – С. 35-40.
3. Практикум по почвоведению / Под ред.. И.С. Кауричева. – 4-е изд. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 336 с.
4. Балан, А.Г., Остапов, В.И., Коваленко, П.И. и др. Справочник по освоению и использованию мелиорированных земель / А.Г. Балан, В.И. Остапов, П.И. Коваленко и др. / Под ред. А.Г. Балана. – К.: Урожай. - 1986. – 272 с.
5. Троцюк В. С. Трансформация свойств дерново-глеевых карбонатных почв Западного Полесья Украины под влиянием осушения и применения удобрений: Автореф. дис... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / В.С. Троцюк / Ровно. – УИИВХ, 1992. – 22 с.

УДК: 504.062.2:556.18(075.8) + 556.18:681.5

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ РЕК

Фам Нгок Киен

Белорусского Национального Технического Университета, г. Минск, Беларусь.
E-mail: kienpecc1@gmail.com

In this article along with overall optimization algorithm of water utilization system in small rivers, the conditions for application of the proposed criterion, the composition of the required input data are included and the impact of the major factors in the selection of optimal solutions is analyzed, i.e. to determine the optimal capacity of the reservoir and the area of irrigated land.

Введение

Оптимизация параметров водохозяйственного комплекса (ВХК) в бассейнах не только больших и средних, но и малых рек актуальна и во Вьетнаме, и во многих регионах других государств. Вопросы оптимизации параметров ВХК изучены многими зарубежными авторами. Основные положения используемых методов опубликованы в [1,4,5] и в других изданиях. Во Вьетнаме эти вопросы исследовались в работах [2,3,6,7]. Во всех вышеупомянутых исследованиях в конечном итоге использовались математические модели, основанные на критериях оптимизации применительно к тому или иному речному бассейну и составу участников водохозяйственного комплекса.

В бассейнах малых рек регионов с интенсивным развитием орошения и ограниченными водными ресурсами самыми важными параметрами ВХК являются: емкость водохранилища и площадь орошаемых земель. Для обоснования оптимальных значений этих параметров может быть использован разработанный автором следующий критерий оптимизации: минимум суммы свободного естественного и регулируемого объема речного стока на единицу орошаемой площади. В настоящей статье, кроме общего алгоритма оптимизации, приводятся условия применения предлагаемого критерия (включая ограничения по требованиям других водопользователей), состав необходимых исходных данных и анализируется влияние основных факторов на выбор оптимального решения, т.е. на определение оптимальной емкости водохранилища и площади орошаемых земель.

Основные положения методики

В условиях ограниченности или большой погрешности исходных данных о зависимости экономических показателей от водохозяйственных параметров предлагается критерий оптимизации [8] в виде следующей целевой функции:

$$f(F_{op.}) = \frac{W_{e.op.} + W_{ex.}^{НПУ}}{F_{op.}} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{при } F_{мак} \geq F_{op.} \geq F_{e.op.}$$

где $W_{e.op.}$ - свободный остаточный естественный речной сток (m^3), предназначенный для орошения (с учетом удовлетворения обязательных потребностей других участников ВХК); $W_{ex.}^{НПУ}$ - полный объем водохранилища при нормальном подпорном уровне - НПУ (m^3), который определяется в результате расчета регулирования речного стока маловодного года; $F_{op.}$ - общая поливаемая в течение года площадь (га), $F_{e.op.}$ - гарантированная за счет естественного речного стока площадь орошения (га); $F_{мак}$ - максимальная орошаемая площадь, которая определяется или максимумом возможных используемых водных ресурсов, т.е. площади пригодных для орошения земель, полив которых может быть обеспечен за счет всего (естественного и регулируемого) речного стока при выполнении требований других участников ВХК, или максимальной площадью пригодных для орошения земель.

В большинстве речных бассейнов выращивается несколько (например – k) разных культур. Если на одной посевной площади собирается 2 или 3 урожая, то расчетная площадь культуры соответственно увеличивается. Тогда общая орошаемая в течение года площадь $F_{op.}$ (или $F_{e.op.}$ и $F_{мак}$) определяется по формуле

$$F_{op.} = \sum_{i=1}^k F_i, \text{ где } k - \text{ количество культур; } F_i - \text{ площадь каждой орошаемой культуры.}$$

При реализации целевой функции (1) необходимо соблюдать следующие ограничения:

Водохозяйственный баланс в створе плотины водохранилища по маловодному году:

$$W_{ex.(t+1)} = W_{ex.(t)} + W_{реч.(t)} - W_{op.(t)} - W_{пом.(t)} - W_{б.п.(t)} - W_{н.п.(t)} - W_{форс.(t)} \quad (2)$$

$$\text{при } W_{ex.мин.} \leq W_{ex.(t)} \leq W_{ex.мак.}$$

где t - порядковый номер расчетного интервала времени (по месяцам, $t=1,12$);

– $W_{\text{ex.мин.}}$ - минимальный объем водохранилищ, принимаемый равным мертвому объему, $W_{\text{ex.мин.}} = W_{\text{ex.}}^{\text{умо}}$

– $W_{\text{ex.мак.}}$ - максимальный объем аккумулирования речного стока в водохранилище, равным объему водохранилища при нормальном подпорном уровне $W_{\text{ex.мак.}} = W_{\text{ex.}}^{\text{нпу}}$

– $W_{\text{ex.}(t+1)}$; $W_{\text{ex.}(t)}$ - объемы водохранилища в конце и начале расчетного интервала.

– $W_{\text{реч.}(t)}$ - объем речного стока в t-ый месяц;

– $W_{\text{пом.}(t)}$ - объем воды, теряемой в водохранилище (дополнительные испарение с водной поверхности и потери на фильтрацию);

$$W_{\text{пом.}(t)} = F_{\text{ex-сред.}t} \cdot \Delta Z_t + \alpha \cdot W_{\text{ex-ср.}t}$$

– $W_{\text{б.п.}(t)}$ - безвозвратное водопотребление других (кроме орошения) участников ВХК, осуществляющих изъятие воды из водного источника (водоснабжение городского и сельского населения, промышленное водоснабжение, заполнение рыбоводных прудов);

– $W_{\text{н.п.}(t)}$ - попуск воды в русло нижнего бьефа по требованиям других водопользователей (без изъятия воды из источника), который принимается равным максимуму объема воды для охраны природы, рекреации, рыбного хозяйства, гидроэнергетики и обеспечения водопользования на нижерасположенной территории или территории другого государства за каждый расчетный интервал времени.

– $W_{\text{форс.}(t)}$ - допустимый форсированный объем сброса воды в период паводков.

$$W_{\text{форс.}(t)} = \text{максимум} \left[\begin{array}{l} (W_{\text{ex.}(t)} + W_{\text{реч.}(t)} - W_{\text{оп.}(t)} - W_{\text{пом.}(t)} - W_{\text{б.п.}(t)} - W_{\text{н.п.}(t)}) - W_{\text{ex.мак.}}; \\ 0 \end{array} \right] \quad (3)$$

– $W_{\text{оп.}(t)}$ - потребность в воде на нужды орошения, которая определяется на основе данных о планируемых площадях орошаемых земель, составе сельскохозяйственных культур и нормах орошения по каждой культуре.

$$W_{\text{оп.}(t)} = \sum_{i=1}^k q_i(t) \cdot F_i$$

где: k – количество типа культур года; i - порядковый номер расчетной культуры (i=1-k); $q_i(t)$ – нормативный объем воды на единицу орошаемой площади i-ой культуры и t-ого интервала времени (t=1-12, в вегетационный период $q_i \geq 0$, а в другие месяцы - $q_i = 0$); F_i – площадь каждой орошаемой культуры.

Емкость водохранилища должна быть достаточной для срезки пика катастрофических расходов (уменьшения ущерба от наводнений и затоплений).

$$W_{\text{ex}}^{\text{нп}} \geq W_{\text{реч}}^{T_1} - W_{\text{мер}}^{T_1} - W_{\text{вех}}^{T_1} - W_{\text{оп}}^{T_1} - W_{\text{др}}^{T_1} - [W_{\text{форс}}] \quad (3)$$

где: T_1 - время периода паводка, $W_{\text{реч}}^{T_1}$ - объем речного стока в расчетный период паводка; $W_{\text{ex}}^{\text{нп}}$ - полезный объем водохранилища; $W_{\text{мер}}^{T_1}$ – объем воды, теряемой в водохранилище (дополнительные испарение с водной поверхности и потери на фильтрацию); $W_{\text{вех}}^{T_1}$ - забор воды из верхнего бьефа водохранилища (во время паводка, особенно в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетна-

ма, величины $W_{мер}^{T_1}$ и $W_{еex}^{T_1}$ незначительны по сравнению с другими составляющими, поэтому они могут не учитываться); $W_{ор}^{T_1}$ – максимально возможный объем воды, проходящей через водопропускные сооружения, предназначенные для целей орошения; $W_{ор}^{T_1}$ – максимально возможный попуск воды через специальные сооружения (при их наличии) по требованиям других (кроме орошения) участников ВХК, (водоснабжение городского и сельского населения, промышленное водоснабжение, заполнение рыбоводных прудов энергетика); $[W_{форс}]$ – допустимый форсированный объем сброса воды (не приводящий к затоплениям в нижнем бьефе).

Кроме того, за пределами оптимизации следует учитывать ряд ограничений, связанных с недопущением затоплений ценных угодий, площадей промышленных и социальных объектов, культурных и исторических памятников, а также с выполнением международных обязательств, общественных, этических, эстетических и других принципов и правил [12].

Для выполнения расчетов по критерию (1) необходимы сведения о потребностях в воде на нужды орошения в зависимости от осадков, выпадающих в вегетационный период [9, 14, 15], потребностях в воде других водопользователей (населения, промышленности, рыбного прудового хозяйства); ресурсах речного стока по месячным или декадным интервалам времени в расчетный маловодный год; морфометрических характеристиках водохранилищ и затопляемых пойм рек; взаимосвязи полного и полезного объема (с учетом заиления водохранилища), зависимостях потерь на фильтрацию и дополнительное испарение с поверхности водохранилищ от их объема.

Таким образом, алгоритм оптимизации (рисунок 1) сводится к выполнению следующих шагов:

Шаг 1. Сбор, анализ и переработка вышеперечисленных исходных данных.

Шаг 2. Определение конкретных значений ограничительных условий: расчет объема водохранилища для борьбы с наводнениями $W_{ex}^{ак}$, исходя из особенностей формирования паводков и возможностей создания водосбросных устройств; определение максимальной возможной орошаемой площади $F_{мак}$, определенной из максимума используемого речного стока и потенциала мелиоративных земель; определение минимальной орошаемой площади $F_{мин}$, гарантированной за счет естественного речного стока, а также площади орошения $F_{е.ор}$ при минимальных требованиях производства продовольствия. Соответственно значениям $F_{мин}$ и $F_{мак}$ определяются (формула 02) полезные объемы водохранилища: минимума $W_{ex-мин}^{пл}$ и максимума $W_{ex-мак}^{пл}$.

Шаг 3. Вычисление критерия оптимальности K_i по целевой функции (01) в следующем порядке: Во-первых, принятие изменения считааемых орошаемых площадей F_i от $F_{мин}$ до $F_{мак}$. Во-вторых, за каждую площадь F_i рассчитывается соответственно полезная емкость $W_{ex-i}^{пл}$ по задаче регулирования стока маловодного года водохранилища (формула 02). В процессе расчета регулирования стока необходимо принять потери испарения и на фильтрацию, соответствующие мертвому объему. В-третьих, при каждом значении площади орошения F_i рассчитывается показатель K_i по формуле (01) [13].

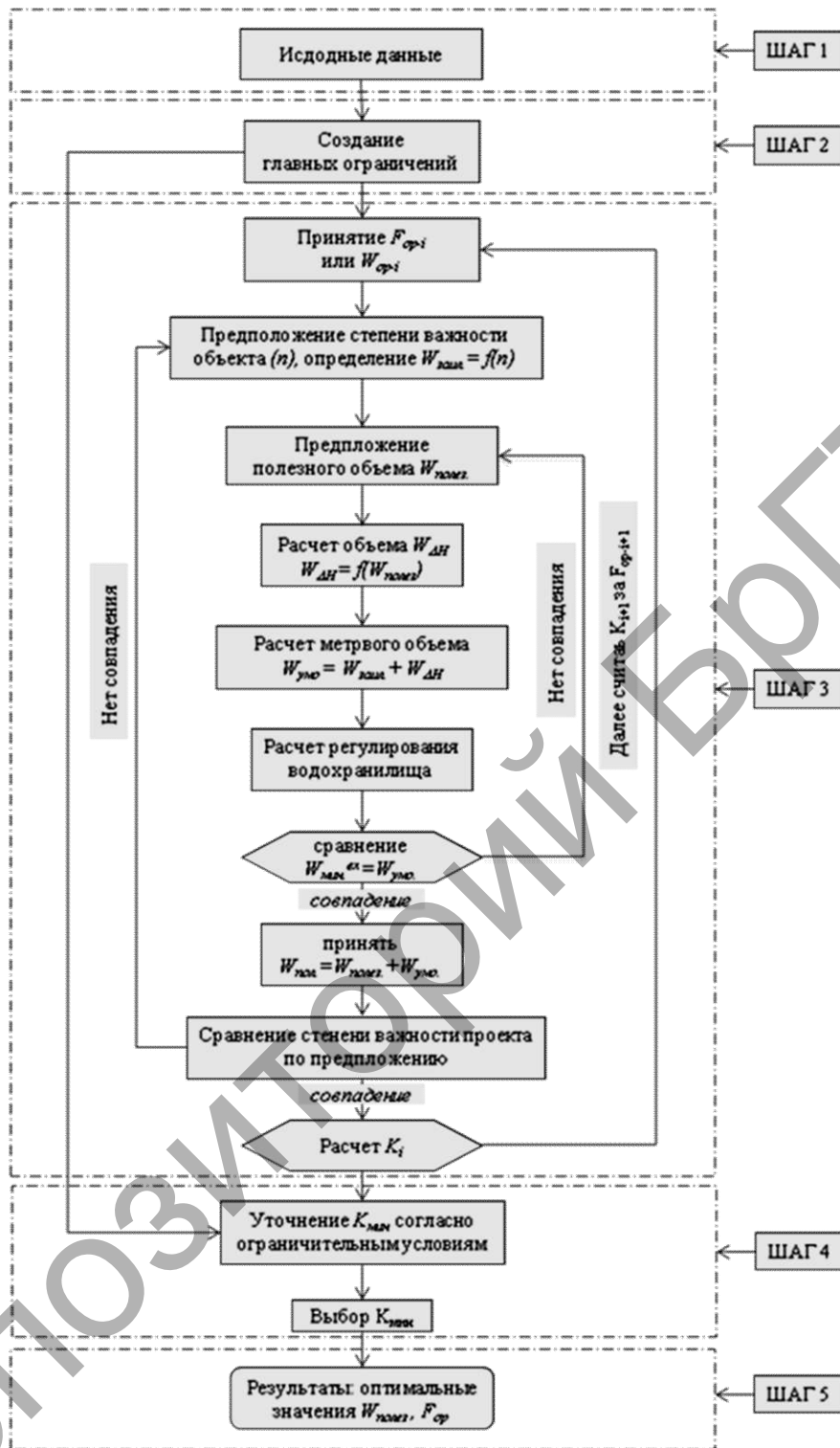


Рисунок 1 – Алгоритм оптимизации

Шаг 4. Уточнение K_i согласно главным ограничительным условиям: в этом шаге главные оптимальные параметры полезного объема $W_{\text{ор-оп}}^{\text{пл}}$ и площади орошения $F_{\text{ор-оп}}$ могут быть на следующие случаи: если $W_{\text{ex}}^{\text{ак}} \geq W_{\text{ex-мак}}^{\text{пл}}$, то $W_{\text{ex-оп}}^{\text{пл}} = W_{\text{ex}}^{\text{ак}}$ и $F_{\text{ор-оп}} = F_{\text{мак}}$. Если $W_{\text{ex-мин}}^{\text{пл}} < W_{\text{ex}}^{\text{ак}} < W_{\text{ex-мак}}^{\text{пл}}$, то $W_{\text{ex-оп}}^{\text{пл}}$ и $F_{\text{ор-оп}}$ определяются в промежутке между соответственно $W_{\text{ex}}^{\text{ак}}$ и $W_{\text{ex-мак}}^{\text{пл}}$. Если $W_{\text{ex}}^{\text{ак}} < W_{\text{ex-мин}}^{\text{пл}}$, то $W_{\text{ex-оп}}^{\text{пл}}$ и $F_{\text{ор-оп}}$ определяются по $K_{\text{мин}}$, как находящиеся между точками соответственно $W_{\text{ex-мин}}^{\text{пл}}$ и $W_{\text{ex-мак}}^{\text{пл}}$.

Шаг 5. Оценка результатов и принятие окончательного решения.

Апробация методики на конкретных объектах

В настоящее время во Вьетнаме имеется около 600 водохранилищ (водоемов емкостью большее 1 млн. м³), предназначенных для орошения. Ряд объектов строится, а другие находятся в стадии проектирования. Для апробации предложенного критерия оптимальности выбраны два объекта, которые являются наиболее типичными по естественным условиям и особенностям водопользования в водосборах малых рек: Банмонг и Шонграк в предгорных районах Вьетнама.

Банмонг расположен на 7 км выше города Шонла в северной области Вьетнама. Площадь водосбора бассейна – 161 км², среднегодовое количество осадков – 1272 мм, среднегодовой расход – 2.68 м³/с. Задачами ВХК этого объекта являются: борьба с наводнениями при речном стоке 5%-ой обеспеченности с обеспечением уровней воды в центре города не более 595.4 м; водоснабжение орошения культуры (1210 га); водоснабжение населения и промышленности (27500 м³/сутки); минимальный расход в нижнем бьефе для охраны природы в размере 0.40 м³/с; может быть ещё МГЭС до 1000 кВт [10].

Таблица 1 – Результаты расчета по целевой функции – проект Банмонг

Wпол. (106м³)	5,6	6,2	8,1	10,4	14,0	17,6	22,3	26,8	31,1	35,4	39,8
Wпл. (106м³)	0,3	0,6	1,7	3,3	6,1	8,9	12,5	16,0	19,5	23,1	26,7
Wумо (106м³)	5,3	5,6	6,4	7,1	7,9	8,7	9,8	10,8	11,6	12,3	13,0
For (га)	242	484	847	1210	1815	2420	3025	3630	4235	4840	5386
K (103м³/га)	49,7	26,5	18,39	15,3	12,6	11,3	10,9	10,6	10,3	10,1	10,0

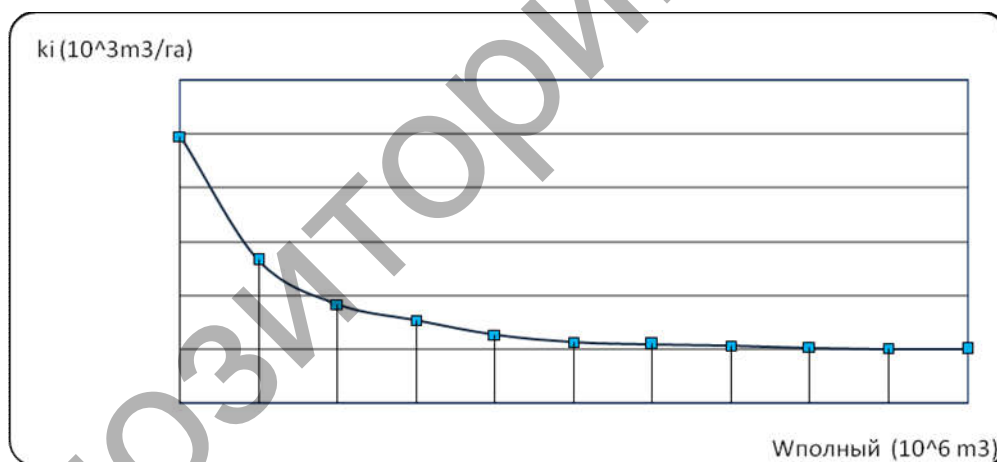


Рисунок 2 – Кривая оптимального критерия K объекта Банмонг

Применительно к вышеуказанным параметрам проведены расчет оптимальной площади орошения (соответственно и емкости водохранилища), результаты которых приведены в табл. 1 и на рис. 1.

В расчете регулирования стока паводков получен объем для предотвращения наводнений в размере 5.13 млн.м³.

Для этого объекта при использовании целевой функции(1) ограничительными условиями являются следующие: исходя из максимально возможных используемых водных ресурсов максимальная площадь орошаемой земли = 5386 га; максимальная площадь пригодных для орошения земель - 1815 га; минимальный полезный объем водохранилища для предотвращения наводнений - 5.13 млн. м³. При вышеупомянутых ограничениях получены основные оптимальные параметры: $K_{\text{мин}} = 12.61 (103\text{м}^3/\text{га})$; $W_{\text{пол}} = 14.0 (106\text{м}^3)$; $W_{\text{пл}} = 6.1 (106\text{м}^3)$; $For = 1815 (\text{га})$.

Второй объект – это существующее водохранилище Шонграк, построенное в 1986 году с целью в основном для орошения земель в провинции Хатинь (центральный район) Вьетнама. В настоящее время спрос использования воды увеличивается, задачи и роль водохранилища изменяются. Поэтому разрабатывается проект улучшения и обновления водохранилища Шонграк. Площадь водосбора бассейна – 115 км², среднегодовое количество осадков – 3066 мм, среднегодовой расход – 7.92 м³/с. Задачами объекта являются: орошение со сбором двух урожаев (8150х2 га); водоснабжение населения и промышленности (12000 м³/сутки), а также рыбного прудового хозяйства (0.78 млн. м³/год), уменьшение ущерба от наводнений[11].

Таблица 2 – Результаты расчета по целевой функции – проект Шонграк

Wпол. (106м³)	12,23	19,14	25,63	31,94	44,35	64,25	84,61	114,91	129,87	150,68
Wпл. (106м³)	1,76	4,74	10,57	16,33	22,05	33,50	52,20	71,57	100,07	114,18
Wумо 106м³)	7,49	8,56	9,30	9,89	10,85	12,05	13,04	14,85	15,69	16,78
Fоп (га)	1630	3260	4890	6520	8150	10595	13040	16300	17930	20212
K (103м³/га)	14,67	6,177	5,446	5,052	5,565	6,158	6,565	7,111	7,299	7,504

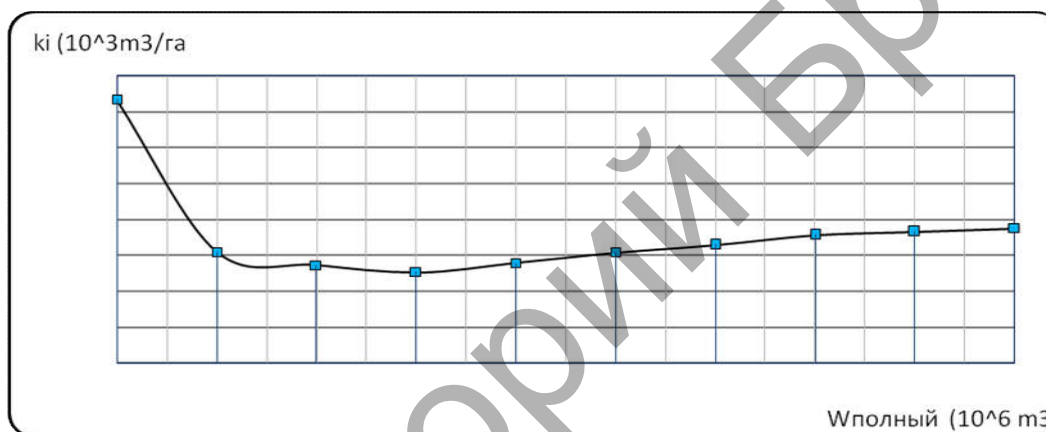


Рисунок 3 – Кривая оптимального критерия K объекта Шонграк

В проекте Шонграк не остра задача предотвращения паводков, но предпочтительнее располагать большим объемом для предотвращения затоплений. Поэтому в расчетах по целевой функции приняты следующие ограничительные условия: максимумом возможных используемых водных ресурсов, максимальная площадь орошаемой земли - 20212 га; максимумом пригодных для орошения земель, максимальная площадь - 25000 га; необходимая минимальная площадь орошения – 13040 га; объем для предотвращения паводков - чем больше, тем лучше. При сравнении между вышеупомянутыми ограничениями получены оптимальные значения параметров: $K_{\min}=6,565$ (103м³/га); $W_{\text{пол}}=84,61$ (106м³); $W_{\text{пл}}=52,20$ (106м³); $F_{\text{оп}}=13040$ (га).

Заключение

Проведенные расчеты подтвердили корректность предложенного критерия оптимальности в виде минимума суммы свободного естественного и регулируемого объема речного стока на единицу орошаемой площади.

В большинстве случаев оптимальное значение емкости водохранилища находится между его нулевым значением и максимально допустимым (рисунок 1). Однако в ряде случаев оптимальное значение может совпадать с максимальным (рисунок 2).

Наибольшее влияние на величину критерия оптимизации оказывают мертвый объем водохранилища (зависящий от заиления), потери на фильтрацию и дополнительное испарение, а также режим речного стока;

При прочих равных условиях оптимальный полезный объем водохранилищ в бассейнах рек Беларуси меньше, чем во Вьетнаме из-за особенностей режима речного стока и морфометрических характеристик пойм.

Критерий может быть использован и при установлении оптимальной очередности строительства оросительных систем в водосборах малых рек того или иного региона, а также для сравнения разных створов плотин водохранилищ.

В случае наличия достаточно полной и надежной информации о значимости и условиях ограничений по сельскохозяйственным культурам этот критерий можно модифицировать с учетом структуры культур.

В бассейнах малых рек, в которых преобладают однонаправленные водопользователи и имеется и надежная информация о их взаимосвязи, может быть использован эквивалент отдельных пользователей, считая его основным участником ВХК.

Список литературы

1. Воропаев, Г.В., Исмайылов, Г.Х., Федоров, В.М. Моделирование водохозяйственных систем аридной зоны СССР. М. Наука, 1984, - 313с.
2. Нгуен Тхыонг Банг / Оптимизация ирригационного гидроэнергетического система в многоцелевом водопользовании. Диссертация кандидата, г. Ханой, М. национальная библиотека (Н.Б) 2002. 140с.
3. Нгуен Чонг Шинь, Выбор режимов и параметров водохранилищ комплексного использования для выработки энергии и борьба с наводнением, Диссертация кандидата, г. Ханой, М.: Н.Б. 1971. 152с.
4. Проектирование схем комплексного использования водных ресурсов. Перевод с англ. М.: Энергия. 1966. – 334 с.
5. Пряжинская, В.Г., Ярошевский, Д.М., Левит-Гуревич, Л.К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. – М.: Физматлит. 2002. – 496 с.
6. Фам Фу. Задача о проектировании схем использования речных источников и оптимальной структуре каскады водохранилищ в основном использовании для гидроэнергетики, Диссертация кандидата, г. Ханой, М.: Н.Б. 1979, 173с.
7. Фан Ки Нам. Оптимальное расположение каскадов гидроэлектростанций, Диссертация кандидата, Прага, М.: Н.Б. 1973, 126с.
8. Фам Нгок Киен. Критерии оптимизации параметров водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама/ в журнале «Наука и техника» 2016 – N02, 124-128 с.
9. Фам Нгок Киен. Обоснование объемов и режимов подачи воды на орошение в зависимости от стока рек предгорных районов Вьетнама./ в журнале «Наука и техника» 2015 – N02, 61-66 с.
10. «Общий паспорт» проекта водохранилища Банмонг – Вьетнамская консультативная компания о ирригационном строительстве (НЕС), 2006. – 127с.
11. Паспорт создания режима работы водохранилища Шонграк – Ханойский ирригационный университет, 2014. – 43 с.
12. Колобаев, А.Н. Рациональное использование и охрана водных ресурсов.: Минск: БНТУ, 2005 – 172 с.
13. Плешков, Я.Ф. Регулирование речного стока: Ленинград, 1961 – 395с.
14. Методика определения режима орошения культур – Продовольственная Сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций - Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations FAO, Rome, Italy. 1998. – 280с.
15. Стандарт TCVN 8641:2011 – Техника орошения и осушения для сельскохозяйственных и продовольственных культур, утвержденная Министерством сельского хозяйства и развития сельской местности Вьетнама. Ханой, 2011. – 41с.
16. Фам Нгок Киен. Особенности водохозяйственного комплекса в бассейнах рек предгорных районов Вьетнама – доклад на Международную научную конференцию, Фам Нгок Киен, Г. Брест, 2014.

ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ

УДК 556.51

ASSESSMENT OF DEPENDENCE OF CHANGE IN LITHUANIAN RIVER RUNOFF ON SIZE OF DRAINED AREAS

Miseckaitė O., Taparauskiene L.

Aleksandras Stulginskis University, Institute of Water Resources Engineering, Kaunas distr., Lithuania. E-mail: Otilija.Miseckaite@asu.lt

Following the data series of 62 years, it was determined that water balance of Nevezis basin is characterized by negative water balance during May-September due to higher evapotranspiration than average precipitation amount of the same period. It was stated that the average annual flow coefficient of the whole 10th hydrologic region of Lithuania was 0.3 till reclamation. It decreased to 0.28 during the period of intensive reclamation, however, the average annual flow was 0.35 from 1980, i.e., it increased in comparison with the period till reclamation. The average flow coefficient of warm period was 0.10 till reclamation, and remained the same during the period of 1956-1980, while the data of 1981-1995 show that the average flow coefficient increased – 0.11.

Most of the regulated rivers are situated in the middle part of Lithuania. There are 422 rivers in the basin of Nevezis and 383 (or 91 %) of them are regulated (the total of 252 rivers and 131 small streams) (Jablonskis et al., 2007). The length of Nevezis is 209 km, while the area of the basin is 6 146 km², and the discharge at mouth is 30 m³s⁻¹ (Fig. 1). While analyzing the change of Lithuanian river flow and its relationship with drainage intensity, first, it was sought to assess the income and expenses of water of river basins. The basin of Nevezis River is one of the most sensitive basin in Lithuania due to the lack of water during summer and potential anthropogenic pollution – was selected for water balance assessment. The basin of Nevezis belongs to the climatic sub-region of Central Lithuania, which is characterized by warm spring and summer, as well as the lowest amount of precipitation in the republic. The average annual air temperature is – 5.6-6.5 °C. 650–700 mm precipitation falls in the basin of Nevezis River each year, and 70 % of it – during the warm season (Kilkus and Stonevičius 2011).

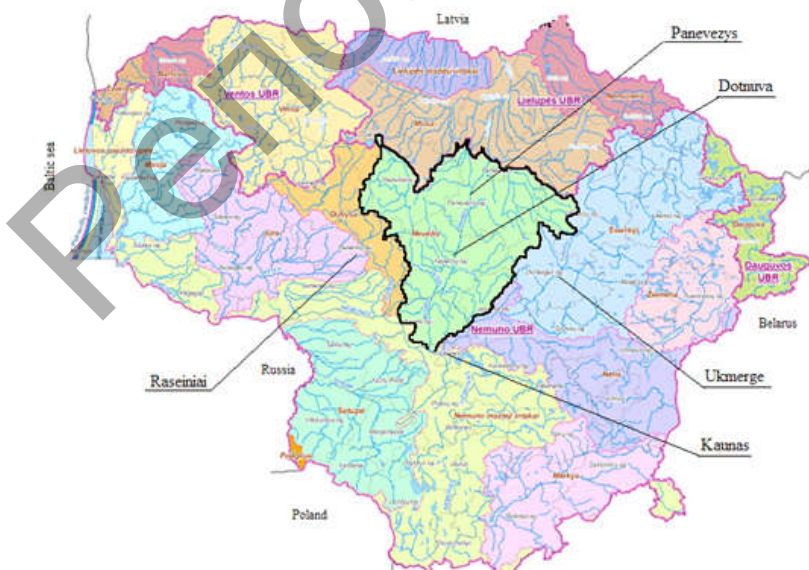


Fig. 1–Nevezis basin (Aplinkos apsaugos..., 2008)

The terrain of basin is uneven – the highest point is 184 m above sea level, while the lowest – 20 m (at mouth), the average height of basin is 77 m, while the average surface slope of basin is 0.027 m km⁻². Approximately 90% of all agricultural lands are drained in the basin of Nevezis River.

The data analysis in the present paper is based on the water balance method. Hydrological and meteorological data of period of 1945 – 2007 period of Kaunas, Dotnuva, Panevezys, Ukmerge and Raseiniai meteorological stations were followed. The collected data were used as base, while analyzing the possible change of soil moisture in the basin of Nevezis River. The balance of the whole basin was made, according to the simplified equation:

$$\Delta W_{n+1} = \Delta W_n - ET + H - N, \quad (1)$$

here ΔW_{n+1} - productive soil moisture at the end of the period, mm; ΔW_n – productive soil moisture at the beginning of the period, mm; H – precipitation mm; N – flow from the layer of soil, mm; ET– evapotranspiration, mm. Determined, according to dependence, under Lithuanian climatic conditions:

$$ET = 0,5 \sum d + 105 \quad (2)$$

here $\sum d$ – average amount of daily air humidity deficit during vegetation period, mb.

The calculations were made during vegetation period (May – September). It was assumed that at the beginning of vegetation, as snow has melt, the soil moisture deficit is equal to zero, the soil moisture reserve is equal to accumulative soil volume. Dirse (2001) determined that the productive reserve of soil moisture in Lithuanian loamy soil is 100 mm. Flow to deeper soil layers was considered only in case, when the productive reserve of soil moisture was equal or higher than 100 mm during the vegetation period.

Following the data series of 62 years, it was determined that the average precipitation amount during the vegetation period is lower than the evapotranspiration of the same period. The generalized patterns of precipitation and evapotranspiration are shown in Figure 2. According to research of Zhi et al. (2009), land use change increased evapotranspiration by 8.0%, while climate variability decreased it by 103.0%.

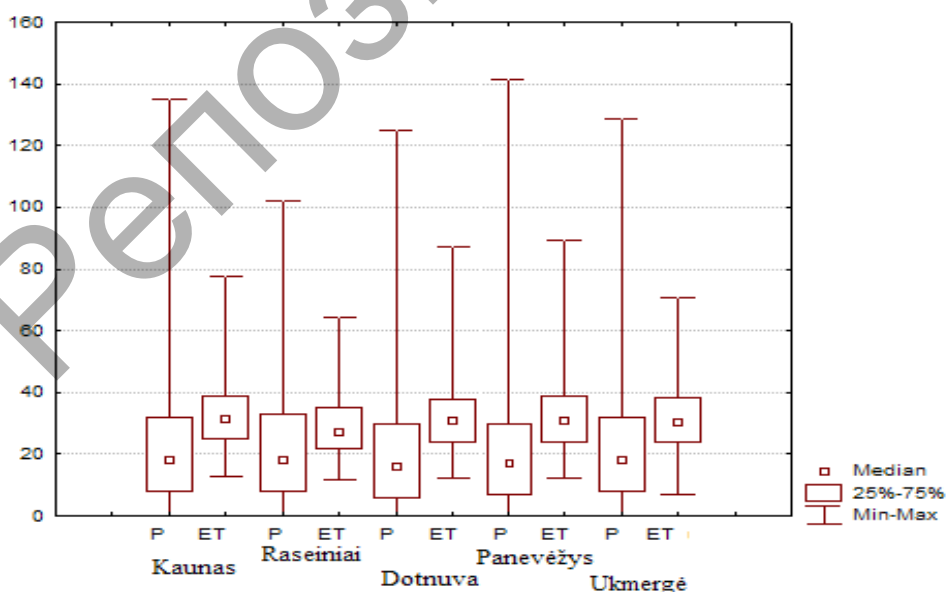


Fig. 2 – Precipitation (H) and evapotranspiration (ET) in the basin of Nevezis

The results of calculations of the water balance for the vegetation season during May – September are presented in Figure 3. The calculated water balance shows that the analyzed period is characterized by negative water balance. This demonstrates that the total evapotranspiration in the basin of Nevezis is often higher than the amount of precipitation.

After calculating the water balance, according to the moving averages of five years, it was revealed that the vegetation periods, when water expenses exceed income, dominate. The trend curves are clearly rising in the main part, which forms the water balance – along Panevezys and Dotnuva, while the trend is less significant, but still rising along Kaunas and Ukmerge. Finally, the trend remains neutral and water balance is close to zero only in the western part of basin, along Raseiniai. In summary, it might be stated that a negative water balance is typical for northern and central zone of basin of Nevezis River, while the eastern and western part of basin is characterized by water balance, which is close to zero.

The areas of wet land in the region of basins of Nevezis River make 70-90 % of total area. The analysis of change of too wet lands and drained areas within 1960-2007 years revealed that the drained areas made about 2% of total area of wet lands till 1960 (1.7 % of basin). What is more, 35 % of total area of wet lands (28% of basin area) was drained till 1971, and 58 % of area of basin of Nevezis River (Nevezis along Panevezys - 68%) on average or 70 % of total area of all wet lands was drained till 2000. Recently, the size of area of drained lands has been decreasing. The area of more than 361.0 ha has been drained in the basin of Nevezis, 354,118 ha from which was drained by drainage, while 7,470 – by ditches. Following the data of 2007, the drained areas left for self-decay made 4,932 ha (0.8 %), while those, drained by ditches, made 32 ha (0.01 %). It is quite complex to make a more accurate assessment of change of Nevezis flow due to reclamation, since there is a lack of observation data from the start of reclamation. According to available coefficients of river flow of hydrologic region, it is known that during the period, when there were not more than 1-3 % of drained areas in the basins of rivers, the annual flow coefficient in Dotnuvele (Dotnuva) was 0.29, and 0.10 during the period of June – October; while in Nevezis (Panevezys) the coefficient was 0.31 and 0.11, respectively.

During the period of 1956-1975 (the years of most intensive land drainage) the flow coefficient of Dotnuvele decreased – 0.25 (annual) and 0.05 (June – October), while the flow coefficient of Nevezis River increased – 0.35 (annual) and 0.15 (June – October). During the next 20 years the flow coefficient of Nevezis River increased to 0.36 and 0.18, respectively. Observations were no longer implemented in Dotnuvele. During the periods of 1956-1980 and 1981-1995 the annual flow coefficient also increased in other rivers of basin of Nemunas River – Juosta (Jackagalys) from 0.27 to 0.37, Nevezis (Dasiunai) from 0.28 to 0.36, Smilga (Pasmilgys) – from 0.27 to 0.30. The flow coefficient of warm period (June – October) also increased in Nevezis (along Panevezys and Dasiunai) from 0.15 to 0.18 and from 0.10 to 0.11. It remained the same in Juosta, and only the flow coefficient of Smilga decreased during June – October from 0.09 to 0.06.

In summary, it might be stated that the average annual flow coefficient of the whole 10th hydrologic region of Lithuania, which includes a major part of basin of Nevezis, was 0.30 till reclamation. It decreased to 0.28 during the period of intensive reclamation, however, the average annual flow was 0.35 from 1980, i.e., it increased in comparison with the period till reclamation. The average flow coefficient of warm period was 0.10 till reclamation, and remained the same during the period of 1956-1980, while the data of 1981-1995 show that the average flow coefficient increased – 0.11. After assessing the meteorological conditions and soil water balance of basin of Nevezis River, according to above analysis, it might be stated that the primary

reason of water lack in the basin of Nevezis River is climatic conditions. Drainage systems can hardly have a significant impact on wateriness of Nevezis River. A similar opinion is shared by Lukianas and Ruminaitė (2009), who determined that more intensive drainage shortens the duration of spring flood and discharges the same water quantity within a shorter period, however, the annual duration of drainage flow demonstrates a small contribution of drainage to the total flow of rivers. After determining the common trends it also might be stated in the water balance in the basin of Nevezis River will be more negative in the future, since, according to research of Staras (2002), the changes in structure of water balance of basins of Lithuanian rivers in 21 century will be mostly determined by increase of precipitation amount (especially during the warm period), expected in scenarios of climate change, and predicted increase of air temperature. Therefore, precipitation will less accumulate in snow cover, while the evapotranspiration will increase.

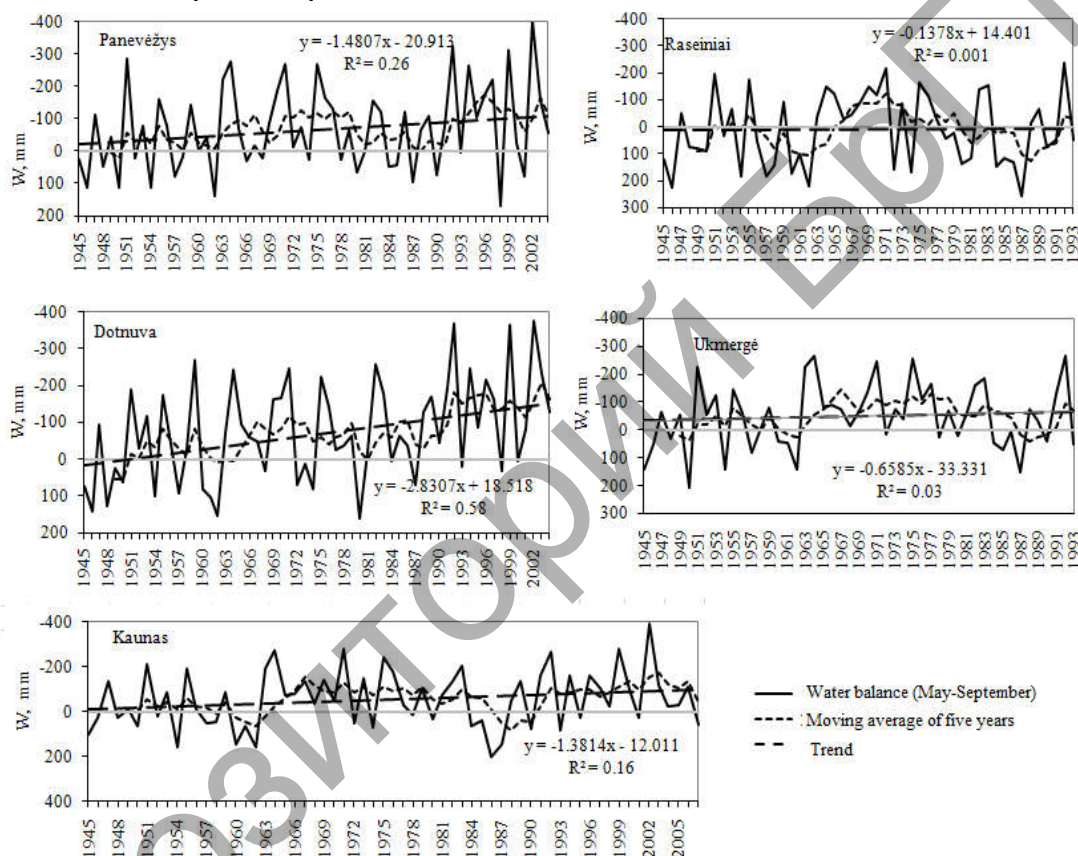


Fig. 3 – Water Balance tendencies in the Basin of Nevezis

Conclusions

The basin of rivers of Nevezis is characterized by negative water balance during the warm period, i.e., water income (precipitation) is lower than water expenses (evaporation). The common trends allow stating that the water balance in the basin of Nevezis River will be even more negative in the future.

While summarizing the observation data of period of 1951-1995 of the whole hydrologic region, it might be stated that as the number of drained areas increased, the flow coefficients decreased during spring season (March – May), while the flow coefficients of summer – autumn (June – October) increased.

The average annual flow coefficient was 0.30 till reclamation, it decreased to 0.28 during intensive reclamation. However, the average annual flow coefficient was 0.35 from 1980, i.e., it increased in comparison with the period till reclamation. The

average flow coefficient of warm period was 0.10 till reclamation, and remained the same during the period of 1956-1980, while the data of 1981-1995 show that the average flow coefficient increased – 0.11.

References

1. Aplinkos Apsaugos Agentūra. (2008) Preliminarus Nemuno upių baseinų rajono valdymo planas (Preliminary Management Plan of Basins of River Nemunas) Available at: http://files.gamta.lt/aaa/pranesimai/Nemuno_UBR_Valdymo_planas_12_27.pdf, 15 November 2012.
2. Jablonskis J., Kovalenkoviėnė M., Tomkeviėienė A. (2007) Lietuvos upų ir upelių vagų tinklas (Channel Network of the Lithuanian Rivers and Small Streams). *Annales Geographicae* 40 (1), pp. 46-56 (In Lithuanian)
3. Kilkus K., Stonevičius E. (2011) Lietuvos vandenų geografija (Lithuanian waters geography). 186 p. (In Lithuanian)
4. Lukianas A., Ruminaitė R. (2009) Periodiškai šlapiu žemiu sausinimo drenažu įtaka upių nuotekiui (Impact of drainage on periodically wet land) Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/1648-6897.2009.17.226-235>, 10 December 2012.
5. Staras, A. (2002) Vandens balanso modelių pritaikymo galimybės upių nuotėkio analizei (Possibilities of Adaptation of water balance models to river flow analysis). *Geografija*, 38, (1), pp.11 – 14 (In Lithuanian)
6. Zhi L., Wen-zhao L., Xun-chang Z., Fen-li Z. (2009) Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216940900479X#>, 27 November 2012.

УДК 628.3

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМОПОДГОТОВКИ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Адиканко И.И., Дубенок С.А.

Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, adikanko.ivan@gmail.com, dsnega@list.ru

Thermal energy facilities produce a peculiar kind of wastewater with high concentration of minerals. In order to improve the quality of waste wastewater it's necessary to perform an analysis and develop recommendations on optimization of water treatment systems based on the best available techniques.

Введение

Объекты теплоэнергетики имеют характерно высокий удельный расход исходной воды для выпуска продукции, а также специфические виды сточных вод, образующихся на различных процессах производства (водоподготовка, продувка, промывка оборудования и т.п.). Для осуществления основных производственных процессов (производство электроэнергии, пара и горячей воды) объекты теплоэнергетики используют, в основном, воду из поверхностных водных объектов, реже - из подземных источников. В соответствии с данными Государственной статистической отчетности об использовании воды по форме 1-вода (Минприроды) за 2014 год на крупнейших объектах теплоэнергетики были ис-

пользованы следующие объёмы поверхностных и подземных вод на собственные нужды: Березовская ГРЭС – 2,06 млн. м³; Минская ТЭЦ-5 – 5,53 млн. м³; Минская ТЭЦ-4 – 5,80 млн. м³; Минская ТЭЦ-3 – 6,36 млн. м³; Лукомльская ГРЭС – 7,66 млн. м³.

Объём и качество образующихся сточных вод на объектах теплоэнергетики зависит, прежде всего, от объёма воды, идущей на водоподготовку, её исходного качества, вида применяемых технологий и реагентов, используемых в процессе водоподготовки. В результате существует проблема с нейтрализацией и утилизацией высокоминерализованных сточных вод, образовавшихся в процессе водоподготовки. В настоящее время образовавшиеся высокоминерализованные сточные воды объекты теплоэнергетики сбрасывают, как правило, либо в системы коммунальной канализации, либо непосредственно в окружающую среду. Часть предприятий отводит данные сточные воды на собственные шламовые накопители.

Как показывает практика, концентрация загрязняющих веществ в отдельных видах сточных вод объектов теплоэнергетики гораздо выше, чем при заборе исходной воды из источника водоснабжения. Наиболее загрязненными сточными водами на объектах теплоэнергетики являются сточные воды от процессов водоподготовки. Водоподготовка проводится на всех объектах теплоэнергетики в целях обессоливания исходной воды, требуемой для питания паровых котлов, подпитки тепловых сетей и является основным фактором загрязнения сточных вод. Эти воды обычно загрязнены взвесью, кислотами, щелочами и солями и образуются на разных этапах обработки воды.

В большинстве установок водоподготовки, функционирующих в настоящее время на территории Республики Беларусь, используются технологические схемы, разработанные в 60-70 гг. прошлого века. Для использования в условиях Республики Беларусь передовых научно-технических разработок в области водоподготовки объектов теплоэнергетики актуальным становится вопрос об анализе существующих методов, технологий и схем водоподготовки, а также разработка рекомендаций по их оптимизации с учётом экономических и экологических показателей, с целью снижения воздействия объектов теплоэнергетики на окружающую среду и получение экономической выгоды от использования сточных вод водоподготовки в технологических процессах.

Основная часть

Основной целью данной статьи является анализ подходов к решению задач оптимизации технологий обращения с высокоминерализованными сточными водами водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь с целью сокращения их поступления в окружающую среду.

Оптимизация водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь связана с решением следующих задач:

- исследование технологических процессов водоподготовки на объектах теплоэнергетики и обращения с высокоминерализованными сточными водами от водоподготовки на объектах теплоэнергетики;
- исследование оборудования и технологических схем водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь.

При исследовании водоподготовки на объектах теплоэнергетики в первую очередь требуется определить основные типы сточных вод и технологические процессы, в результате которых они образуются.

Схема водоподготовки на объектах теплоэнергетики, как правило, включает в себя следующие установки: осветлители, механические фильтры, установки деминерализации воды. В Республике Беларусь наиболее характерно использование ионообменных технологий деминерализации, а также постепенное внедрение мембранных технологий обработки воды. Для улучшения процесса осаждения твердых частиц в осветлители осуществляется подача коагулянта, что приводит к формированию развитой системы реагентного хозяйства на объектах теплоэнергетики.

Ниже приведены основные типы сточных вод водоподготовительных установок (ВПУ), ориентировочные объёмы образующихся сточных вод и содержащихся в них загрязнений, а также способы их очистки и утилизации.

Сбросные воды реагентного хозяйства

Данные воды содержат примеси реагентов, применяемых на водоподготовительных установках (CaO , FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NaCl , H_2SO_4 , NaOH , CaCO_3). Несмотря на высокую концентрацию примесей, объём этих вод составляет 0,1 – 0,5% от объёма обработанной воды [1]. Целесообразно направлять их в циклические системы гидрозолаудаления с последующим использованием вод на производство тепло- и электроэнергетики.

Продувочные воды осветлителей образуются ежедневно в объёме 1– 3% от объёма обработанной воды и содержат до 2% сухого шлама (CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Их необходимо направить в специальные уплотнители для увеличения концентрации сухого вещества в шламе до 5% и более [1]. Осветленная вода с уплотнителей должна подаваться обратно в осветлители или на механические фильтры, а шлам – на фильтрпрессы.

Сбросные воды после промывки механических зернистых фильтров или при спуске первого фильтрата получают периодически; за одну промывку 40–100 м³ при общем расходе 2–5 % от количества обрабатываемой воды [1]. Они загрязнены взвесью того же состава, что и продувочная вода осветлителей, но в меньшем количестве (500–1000 мг/л). Эти воды должны подаваться на отстаивание (до содержания взвеси 50—100 мг/л), а затем полностью возвращены на фильтры или в осветлители, при невозможности отстаивания или при содержании взвеси после отстаивания более 100 мг/л — только в осветлители.

Сбросные воды после регенерации Na-, H-, H–Na-катионитных фильтров образуются в процессе удаления солей и состоят из двух видов:

отработанного раствора с содержанием регенерирующих реагентов NaCl , H_2SO_4 и вытесненных из катионита солей CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 и MgSO_4 . Объём сточных вод составляет 2–3% от количества профильтрованной (умягченной) воды;

отмывочных вод с содержанием тех же загрязнений объёмом 3 – 5% от количества профильтрованной воды [1].

С целью сокращения сброса NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 на 30–50% рекомендуется повторное пропускание части отработанного регенерационного раствора, насыщенного Ca^{2+} и Mg^{2+} , через истощенный Na-катионит, перед пропусканием свежего раствора (что сокращает расход регенерирующего реагента на 30–50%) и обработка дважды отработанного раствора соли содой и известью для осаждения CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

В отдельных случаях более целесообразны возврат отработанного раствора соли и отмывочных вод после Na-катионитных фильтров и обработка их известью и содой в осветлителях вместе с исходной водой в схемах подготовки воды для нетребовательных потребителей. При этом сброс сточных вод с ВПУ практически прекращается (~1 %), но возрастают солесодержание питательной

воды и количество продувочной воды котлов. Общее количество сточных вод объекта теплоэнергетики при этом сокращается. «Мягкие» продувочные воды котлов могут использоваться для подпитки закрытых тепловых сетей, питания испарителей, растворения реагентов или для других целей.

Значительно сложнее осуществляется утилизация или очистка сточных вод после Н- или Н-Na-катионитных фильтров. Отработанный регенерационный раствор серной кислоты после регенерации и первые порции отмывочной воды содержат значительное количество (100—140 ммоль/л) CaSO_4 и свободную (неизрасходованную для обмена на Ca^{2+}) серную кислоту. CaSO_4 содержится в количествах, в 2-4 раза превышающих предел насыщения воды при 20-25 °С. При таком пресыщении раствор очень нестабилен и склонен к выделению CaSO_4 в дренажных системах на стенках труб, резервуаров, фильтров и т.д., что приводит к увеличению времени отмывки и перерасходу воды.

Содержащиеся в отработанном растворе и промывочной воде остатки кислоты должны пропускаться через предвключенный Н-катионитный фильтр (для "голодной" регенерации). Пройдя через фильтр, отработанный раствор теряет кислоту, приобретает нейтральную реакцию и содержит большие количества $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. После разбавления технической водой до содержания $\text{Ca}^{2+} < 20$ ммоль/л этот раствор может быть сброшен в систему гидрозолаудаления.

Отработанный раствор кислоты после Н-катионитных фильтров II—III ступеней, содержащий большие количества свободной кислоты и незначительные концентрации ионов $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, рекомендуется подавать для регенерации фильтров I ступени или предвключенных фильтров с "голодной" регенерацией (сдвоенные последовательные регенерации).

Нейтрализация отработанных растворов кислоты и промывочной воды Н-катионитных фильтров допускается только первыми порциями отработанного раствора щелочи после регенерации анионитных фильтров преимущественно I—II ступеней, насыщенных Na_2SiO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , которые не могут быть использованы более рационально. Применение свежей щелочи для нейтрализации кислых стоков является крайне нерациональным.

Как правило, все кислые воды лучше нейтрализуются известковым молоком, молотой известью, магнезитом, хуже – молотым мелом или доломитом. Возможно применение шлама из осветлителей, содержащего CaCO_3 (мел, мрамор) и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Шлам, содержащий только $\text{Al}(\text{OH})_3$ или $\text{Fe}(\text{OH})_3$, для нейтрализации непригоден, так как соли $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ или $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ сами имеют кислую реакцию.

Отработанные регенерационные растворы (щелочь) и отмывочные воды после регенерации анионитных фильтров из-за их большого объема (15–20 м³/м³ анионита) должны быть собраны и повторно использованы на водоподготовительной установке.

Нейтрализация кислотой щелочных сточных вод после анионитных фильтров обычно не предусматривается, потому что их обычно не хватает для нейтрализации кислых сточных вод Н-катионитных фильтров.

Кроме вышеперечисленных технологий обработки воды на объектах теплоэнергетики, в настоящее время внедряются методы мембранной обработки воды.

Сбросные воды мембранной установки, образовавшиеся в процессе эксплуатации, состоят из двух видов:

- концентрат, образовавшийся в процессе мембранной очистки воды;
- сточные воды кислотных промывок, образовавшиеся в процессе химической мойки мембранного блока.

Технологический процесс, основанный на мембранных технологиях (нано-фильтрация, обратный осмос), разделяет поток исходной воды на пермеат – очищенную воду и концентрат – высокоминерализованную сточную воду. В отличие от большинства водоподготовительных технологий, технологии на мембранной основе имеют высокий расход воды на собственные нужды (до 30% от обрабатываемой воды), в результате чего на объектах теплоэнергетики образуется значительный объем высокоминерализованных сточных вод. Для снижения их сброса необходимо организовать отвод концентрата, образовавшегося в процессе приготовления очищенной воды мембранной установкой, на осветлитель.

Для проведения химической мойки мембранного блока от загрязнений (коллоидных примесей, осадков железа, солей жесткости, органических соединений, микроорганизмов) используют специальные кислотные и щелочные растворы. Для сокращения объемов сточных вод кислотных промывок в конструкции установки должна быть предусмотрена более эффективная и экономическая циркуляционная регенерация через мембранные элементы, позволяющая минимизировать объем регенерирующего раствора.

Заключение

Из изложенного следует, что система водоподготовки для уменьшения сброса в канализацию и водные объекты сточных вод должна располагать развитой системой трубопроводов или лучше самотечных каналов и подземных сборных резервуаров для отдельной транспортировки, приемки, хранения, отстаивания, обработки и подачи на повторное использование всех сточных вод.

Конструктивные особенности систем канализации объекта теплоэнергетики определяются как принятой схемой обработки и качеством исходной воды, так и принятой схемой регенерации и вторичного использования сточных вод и растворов.

Анализ применяемых технологий водоподготовки показывает, что для сокращения объёма сточных вод необходимо повторное или последовательное использование воды в различных циклах, а для сокращения количества загрязняющих веществ в сточных водах – применение рационального сочетания существующих технологий обработки воды.

В Европейском Союзе и Российской Федерации утверждён ряд документов (справочных руководств), описывающих наилучшие доступные методы для снижения поступления загрязнений в окружающую среду и решения основных экологических проблем с учетом структуры и характера промышленного сектора [2-4]. В указанных документах рассматриваются общие критерии, применяемые к затратам по технологиям, их экологической эффективности, включая предполагаемое воздействие на различные элементы окружающей среды. Разработка национальных справочных руководств и их применение в условиях Республики Беларусь должны быть научно-методической основой при оптимизации водоподготовки на объектах теплоэнергетики страны.

Для проведения оптимизации технологий водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь остаются актуальными:

- анализ наилучших доступных методов, применяемых в процессе водоподготовки на объектах теплоэнергетики;
- анализ работы систем водоподготовки на крупных объектах теплоэнергетики и оценка их эффективности;
- разработка национального справочного руководства Республики Беларусь по очистке, использованию и утилизации высокоминерализованных сточных вод с целью снижения их поступления в системы канализации и в окружающую среду.

Список литературы

1. Водоснабжение, водоподготовка и очистка сточных вод. Цикл лекций для студентов специальности "Промышленная теплоэнергетика" – [Электронный ресурс] – Режим доступа: /http://stringer46.narod.ru/WPAdvertisement.html/, свободный – Загл. с экрана.
2. Reference documents under the IPPC Directive and the IED [Электронный ресурс] / European Commission, Joint Research Centre – Seville, Spain, 2008 – Режим доступа: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/, свободный – Загл. с экрана.
3. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, July 2006 – 618 p.
4. Справочник по наилучшим доступным техническим методам для повышения эффективности и минимизации негативного воздействия на окружающую среду в теплоэлектроэнергетике, г.Москва, 2008 – 123 с.

УДК 637.1/.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ НИТРАТОВ

Андреюк С.В.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, asv75@mail.ru

Study of methods of physical-chemical purification of natural waters from nitrates and nitrites. The article considers methods: chlorination, electro dialysis, reverse osmosis, ion exchange; the results of a study of water treatment process of nitrate by ion exchange.

Введение

В настоящее время нитратное загрязнение подземных вод является серьезной проблемой для многих стран, а тенденция роста соединений азота в природных водах во многих регионах становится угрожающей. Подземные воды являются основными источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения в Беларуси. На их долю приходится до 95% питьевого водоснабжения. А за последние 2-3 десятилетия в пределах сельхозугодий имеет место увеличение минерализации грунтовых вод в среднем со 190 (естественный фон) до 366 мг/л, при этом средняя концентрация нитратов составляет 140 мг/л, что в 3 раза превышает допустимый уровень (45 мг/л) [1].

Присутствие в воде, используемой для питьевого водоснабжения, минеральных азотсодержащих соединений (аммоний, нитраты, нитриты) приводит к заболеванию водороднитратной метгемоглобинемией и развитию различных степеней кислородного голодания организма.

Азотсодержащие вещества попадают в систему грунтовых вод из различных источников, естественных или антропогенных. Источники загрязнения могут быть локальными или носить площадной характер. Главными естественными источниками являются: почвенный азот, богатые азотом биологические отложения и атмосферные осадки. Основными источниками антропогенной деятельности, активно влияющими на состав грунтовых вод, являются азотные удобрения, дренажные воды септических бассейнов, животноводческие фер-

мы, места сброса хозяйственных и промышленных стоков. Это привело к прогрессивно ухудшающемуся состоянию подземных вод, в частности, к загрязнению нитратами и нитритами в концентрациях обычно 2 – 3 ПДК, но иногда достигающих уровня 10 – 16 ПДК [2].

В 2014 г. основными показателями, определяющими загрязнение грунтовых и артезианских вод Беларуси, являлись азот аммонийный, нитраты и окисляемость перманганатная. Наибольшее количество водных проб с повышенным содержанием нитрат-ионов выявлено в бассейнах рек Днепра (грунтовые и артезианские воды), Западного Буга и Припяти (грунтовые воды) [3].

Брестская область, обладая значительными ресурсами пресных вод, в то же время, в сфере водопотребления имеет тот же круг проблем, что и во многих других регионах республики.

Наиболее интенсивное загрязнение азотсодержащими веществами охватывает толщу до 10-15 м, что весьма актуально для сельской местности и приусадебных участков городской и пригородной зон, но нередко и на глубинах 40-50 м фиксируются концентрации нитратов, превышающие уровень предельно допустимой (45 мг/л по содержанию нитратов [4]).

Увеличение и накопление азотсодержащих соединений в природных водах нашей республики и за ее пределами требует как снятия антропогенных нагрузок, так и улучшения качества питьевой воды путем применения прогрессивных и экономичных методов водоподготовки [5].

Анализ современного состояния технологии очистки воды от азотистых соединений

Методы очистки подземных вод от азотистых соединений можно разделить на физико-химические и биологические. В рамках этой классификации проанализированы методы физико-химической очистки природных вод от нитратов, каждый из которых имеет свою специфику, преимущества и недостатки.

Физико-химические методы включают в себя следующие способы снижения содержания азотсодержащих веществ в воде: хлорирование, отдувка воздухом, обратный осмос, ионный обмен, электродиализ.

Хлорирование позволяет в основном окислять гидроокись аммония до газообразного азота через образование хлораминов. Большое отличие практического расхода хлора от теоретического связано с тем, что окислению подвергается не только гидроокись аммония, но и другие вещества, содержащиеся в воде и способные к окислению. При таком методе очистки обработанная вода содержит достаточно большое количество остаточного активного хлора, для которого необходимо проводить дехлорирование, исследования продуктов реакций показали наличие в питьевой воде токсичных летучих галогенорганических соединений.

При помощи метода отдувки воздухом можно производить выделение из воды растворенных летучих азотистых соединений, например гидрата окиси аммония. При соприкосновении воды с воздухом растворенные летучие азотистые соединения переходят в газовую форму, т.к. парциальное давление этих соединений под водой выше, чем в воздухе. Наряду с преимуществами (прямой переход иона аммония в газообразный аммиак), метод имеет недостатки:

– зависимость эффективности процесса от температуры и значения рН воды, которые должны быть высокими, а также от расхода воздуха на 1 м³ воды (до 3 тыс. м³);

- изменение известково-углекислотного равновесия, обуславливающее выпадение в осадок карбонатных солей, содержащихся в воде;
- загрязнение окружающей среды азотистыми соединениями, т.к. они перемещаются из воды в воздух.

Метод обратного осмоса основан на использовании мембран из ацетата и триацетата целлюлозы, ароматического полиамида, а также полиэфирамида, обладающих избирательной проницаемостью. Эти материалы используются в виде модулей, позволяющих создать максимальную площадь поверхности на единицу объема. Изменение термодинамического равновесия растворов (за счет приложения давления более высокого, чем осмотическое) приводит к проникновению растворителя через мембрану, которая таким образом задерживает растворенные вещества. Эффект удаления нитратов составляет 85-95% при давлении соответственно 30 и 60 бар. Метод характеризуется высокой эффективностью, компактностью установки, но при этом имеет следующие недостатки: существенное изменение исходного качества воды, удаление не только вредных, но и полезных для здоровья веществ; необходимость предварительной обработки воды с целью исключения засорения и обрастания мембран; наличие концентрированных стоков, требующих удаления или переработки. Внедрение этого метода на практике сдерживается отсутствием в республике селективных мембран.

Метод ионного обмена основан на использовании ионообменных смол, получаемых на основе сополимера стиролдивинилбензола и имеющих в качестве функциональных групп триметиламмоний (тип 1) или диметилгидроксиэтиламмоний (тип 2). При выборе смол отмечается, что смолы типа 1 химически более стабильны, типа 2 - относительно более чувствительны к разложению, прежде всего к воде, содержащей кислород. Однако смолы типа 2 имеют более высокую емкость и степень регенерации.

Весьма сложно дать точные технологические параметры процесса очистки воды при помощи ионного обмена. Они различны в каждом конкретном случае. Для некоторых водоисточников с целью уменьшения капитальных затрат при ионном процессе воду перед поступлением на фильтры обрабатывают окислителями. Кроме того, нормируется содержание сульфат-ионов в исходной воде, так как смолы в хлор-ионной форме поглощают не только нитраты, но и сульфаты. При использовании ионного обмена требует решения проблема утилизации образующихся отработанных регенерационных растворов (рассола хлористого натрия, соляной кислоты, едкого натра) и поиска материалов с высокой, по отношению к азотистым соединениям, обменной способностью.

Электродиализ может применяться для удаления нитратов и нитритов из воды хозяйственно-питьевого назначения (эффект удаления нитрат-ионов – до 40÷60 процентов). Внедрение метода в промышленных масштабах сдерживают следующие недостатки: необходимость тщательной предварительной подготовки воды; недостаточно высокая селективность мембран; наличие отходов в виде концентрированных растворов, требующих дополнительных затрат на их ликвидацию. Данный метод испытан только в полупромышленных условиях.

Наряду с физико-химическими, известны биологические методы удаления азотистых соединений, постоянно присутствующих в природной воде. Используются биологические процессы нитрификации-денитрификации, управление которыми происходит на специальных сооружениях, где развиваются и живут микроорганизмы. Биологические процессы, основанные на использовании ав-

тотрофных и гетеротрофных бактерий, преобразующих азотсодержащие соединения в газообразный азот, протекают в присутствии вещества, способного к окислению. Такое вещество может быть газообразным (например, водород), твердым (сера) или жидким (углеродсодержащие органические соединения).

Микробиологические методы нитрификации и денитрификации, проработанные в настоящее время для удаления соединений азота преимущественно из сточных вод, предназначены для станций очистки большой производительности, требуют специально подготовленного технического персонала и постоянного контроля за технологическим процессом.

Изучение химических свойств минеральных азотсодержащих соединений, теоретический анализ возможных методов их удаления из природных вод, наблюдения за качеством подземных вод в естественных и слабонарушенных условиях показали, что в условиях водоснабжения автономных объектов предпочтительнее физико-химические методы, в том числе ионный обмен и сорбция, которые в настоящее время находятся в стадии научно-технической проработки.

Исследование процесса очистки подземных вод от нитратов методом ионного обмена

Метод ионного обмена – один из самых распространенных способов очистки воды – традиционно применяют в тех случаях, когда в растворе содержатся небольшие концентрации загрязняющих веществ или на завершающей стадии очистки. Учитывая особенность качества подземных вод Брестского региона и в целом РБ, для экспериментальных исследований по ионному обмену были поставлены задачи:

- определение ресурсных возможностей блока ионного обмена;
- исследование изменения солевого состава обработанной воды при очистке от нитратов на высокоосновном анионите;
- исследование и оптимизация процесса очистки на различных типах ионообменных смол;
- выбор математической модели динамики ионного обмена для очистки воды от нитратов;
- исследование и оптимизация процесса регенерации ионообменных смол, участвующих в процессе очистки.

Поскольку процесс ионообменной очистки является многофакторным, с целью сокращения затрат времени и материальных средств на выполнение исследований был применен математический метод оптимального планирования по ротатабельному плану полного трехфакторного эксперимента.

В качестве имитата загрязненной подземной воды в первой серии экспериментов использовали водопроводную воду с добавкой нитратов в количестве 20 мг/л по нитратному азоту, что соответствует концентрации, в два раза превышающей предельно допустимую для питьевой воды.

Задачей исследований стало: на основе применения математических методов оптимального планирования эксперимента при проведении испытаний получить экспериментально-статистическую модель ионообменной очистки подземных вод от нитратов, необходимую для прогнозирования эффективности работы установки в любом заданном режиме ведения процесса ионообменной очистки.

Результаты эксперимента, выполненного на матрице ротатабельного ЦКП для нитратных вод, были обработаны на ЭВМ с помощью программы

«STATGRAPHICS-statisticalGraphicsSystem», на основании чего составлены уравнения в виде полинома второй степени в физических переменных: как уравнения связи отклика объекта (эффекта очистки) и независимых управляемых входных переменных факторов.

Полученные экспериментально-статистические зависимости процесса ионообменной очистки позволяют представить поверхность отклика на факторной плоскости линиями зависимости эффекта очистки: 1) от величины отношения высоты фильтрующей загрузки к диаметру фильтра; 2) от температуры обрабатываемой воды, 3) от скорости фильтрования.

Для прогнозирования эффективности работы установки в любом заданном режиме ведения процесса ионообменной очистки получены уравнения зависимости эффекта очистки азотсодержащих вод от нитратов при фиксированных параметрах основных факторов при работе ионообменной колонки.

Во второй серии экспериментов для оценки в целом работоспособности исследуемой технологической схемы ионообменной очистки использовалась реальная подземная вода с содержанием нитрат-ионов в концентрациях до 100 мг/л. При оптимальных параметрах проведения ионообменного процесса был подтвержден высокий эффект удаления нитратов, полученный в первой серии экспериментальных исследований на модельной воде.

Заключение

Увеличение и накопление азотсодержащих соединений в природных водах нашей республики и за ее пределами требует как снятия антропогенных нагрузок, так и улучшения качества питьевой воды путем применения прогрессивных и экономичных методов водоподготовки. Методы физико-химической очистки природных вод от нитратов имеют свою специфику, преимущества и недостатки. Проведены исследования процесса очистки подземных вод от нитратов методом ионного обмена. Изучено влияние на эффективность процесса очистки азотсодержащих вод основных факторов при работе ионообменной колонки, определены оптимальные параметры процесса ионообменной очистки на различных типах ионообменных смол, необходимые при конструировании аппаратов централизованного и индивидуального водопользования. Полученные уравнения зависимости эффекта очистки азотсодержащих вод позволяют прогнозировать эффективность работы ионообменной установки в любом заданном режиме ведения процесса очистки.

Список литературы

1. Качество питьевых подземных вод в сельских населенных пунктах Беларуси / Информационный бюллетень // БелНИЦ «Экология». – Мн., 1997. – № 5(12). – 22 с.
2. Состояние окружающей среды Республики Беларусь : нац. доклад / М-во природ. ресур. и окружающей среды Республики Беларусь, гос. науч. учр-е «Инс-т природопользования нац. Академии наук Беларуси» // Белтаможсервис. – Мн., 2010. – 150 с.
3. Экологический бюллетень. 2014 г. Минск, 2015. Редактор: В.Ф. Логинов, Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь.
4. СанПиН 10-124 РБ 99. Санитарные правила и нормы. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Минздрав РБ, Минск, 1999.
5. ТКП 45-4.01-258-2012 Водоснабжение промышленных предприятий. Строительные нормы проектирования Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2012.

ОЧИСТКА АЭРАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАВИТАЦИОННОГО НАСАДКА

Вострова Р.Н.¹, Пастухов Е. Ю.¹, Фомин Д. К.¹, Роденко А.В.²

¹Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель Республика Беларусь, erivr@belsut.gomel.by

²ООО ГЕФЛИС, г. Гомель Республика Беларусь, gefliis2013@yandex.ru

Having analyzed the process of washing the aerators can be concluded that the possibility of upgrading processes to reduce energy consumption and hot water to the cold replacement, which serves to produce washing step using cavitation nozzle.

Введение

Ресурсосбережение – самый простой путь сохранения чистоты и богатства природы для будущих поколений. Одним из мероприятий, направленных на эффективное использование энергоресурсов является использование даровой энергии кавитации для обмывки загрязненных поверхностей аэраторов от биообрастания.

Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить при увеличении ее скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности (акустическая кавитация), либо под действием ультразвука.

В отличие от ультразвуковой гидродинамическая кавитация может объединять в себе воздействие кавитационных пузырьков потока на поверхность, повышение температуры среды без дополнительных устройств нагрева [1].

Основная часть

Анализ исследований в области кавитационной очистки показывает, что к настоящему времени накоплен обширный опыт, основанный на практике применения кавитационных эффектов, тем не менее, гидродинамическая кавитация изучена не в полной мере, и поиск путей совершенствования и расширения ее возможностей использования является актуальной проблемой, в том числе как метода комплексной интенсификации процессов мойки загрязненных поверхностей [1].

Струя воды, выходя из конфузора, попадает в переменное поле давления, т. е. из высокого давления в низкое. При этом давление в потоке падает и становится ниже некоторой критической величины (давления насыщенных паров жидкости при данной температуре), что является причиной появления кавитационных пузырьков, т.е. наблюдается явление «холодного кипения» жидкости [1].

Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением в диффузор, кавитационные пузырьки захлопываются, создавая при этом ударную волну.

Потенциальная энергия, заложенная в жидкость насосом, в связи с перепадом давления переходит в кинетическую энергию струи и в давление внутри пузырька (каверны) газа или пара. Вода, вытекая из кавитационного насадка, приобретает высокую скорость и имеет кавитационные пузырьки, внутри которых формируется высокое давление [2].

Проведя анализ процесса обмывки аэраторов, можно сделать вывод о возможности модернизации этого процесса с целью снижения потребления электроэнергии и замене горячей воды на холодную, для чего предлагается производить обмывку шлангом с кавитационным насадком, представленным на рисунке 1.

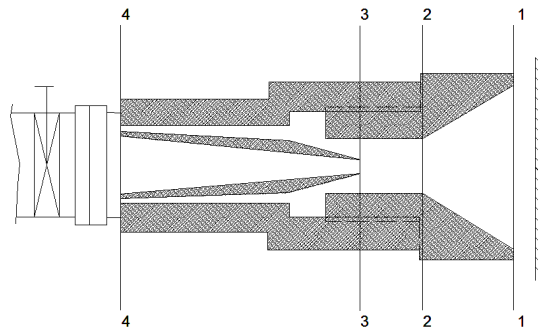


Рисунок 1 – Кавитатор

Для успешного процесса очистки поверхности необходимо, чтобы работа, создаваемая кавитирующей струей, была больше работы адгезии.

$$A \geq W_a$$

Работу адгезии определим по уравнению Дюпре [1].

$$W_a = \sigma_{жс} \cdot (1 + \cos \Theta) = 0,051996 \text{ Дж} ,$$

где - $\sigma_{жс}$ - поверхностное натяжение жидкости при минимально возможной температуре мойки, $\sigma_{жс} = 0,026$; Θ - краевой угол смачивания твердой поверхности, $\Theta = 1^\circ$.

Требуемую скорость струи определим, приравняв работу адгезии к энергии кавитирующей струи [2].

$$(P_{уд} + P_{кум}) \cdot K \cdot S = 0,051996 \text{ Дж} ,$$

где - $P_{уд}$ - давление, развиваемое при захлопывании кавитационного пузырька в слое жидкости, Па:

$$P_{уд} = 0,163 \cdot \left(\frac{R_0}{R}\right)^3 \cdot \rho_2 \quad [3].$$

$\frac{R_0}{R}$ - отношение первоначального радиуса пузырька к радиусу пузырька в рассматриваемый момент. В первом приближении принимаем, $R = R_{max}$. Принимаем $R/R_0 = 3$; $P_{кум}$ - давление кумулятивных струек, Па

$$P_{кум} = v_1 \cdot \sqrt{\rho \cdot \beta} \quad [3];$$

K - индекс кавитации; S - площадь поверхности контакта, m^2 .

Расчет оптимальных геометрических параметров насадка осуществим, исходя из необходимой скорости кавитационного потока на выходе из насадка. Скорость кавитирующей струи в сечении 1-1:

$$v_1 = 0,745137 \text{ м/с.}$$

Скорость кавитирующей струи в сечении 2-2 определим из уравнения неразрывности потока:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2} ,$$

где - A_1 , A_2 - площади поперечных сечений насадка в сечениях 1-1 и 2-2;

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = 0,000314 \text{ м}^2;$$

$$A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = 0,000107 \text{ м}^2;$$

$$v_2 = 2,186 \text{ м/с.}$$

Используя уравнение неразрывности потока, определим скорости в сечениях 3-3 и 4-4.

$$v_3 = 3,679 \text{ м/с.}$$

$$v_4 = 3 \text{ м/с.}$$

Чтобы при выходе потока воды из конфузора наблюдалось явление кавитации, необходимо, чтобы давление в сечении 2-2 было равно давлению насыщенных паров при данной температуре.

Давление P_2 в сечении 2-2 можно рассчитать, используя уравнение Бернулли, располагая линией сравнения на оси насадка:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_m.$$

где - z_1, z_2 - координаты высот геометрических центров поперечных сечений канала насадка в положениях 1-1 и 2-2; γ_1, γ_2 - удельные веса жидкости в моменты прохождения сечений 1-1 и 2-2. Принимаем с достаточной степенью точности $\gamma_1 = \gamma_2 = 9807 \text{ Н/м}^3$; α_1, α_2 - коэффициенты Кориолиса для сечений 1-1 и 2-2. Так как режим движения жидкости турбулентный, то $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$; g - ускорение свободного падения тела равно $9,81 \text{ м/с}^2$.

Из последнего соотношения получаем:

$$P_2 = \left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} - h_m \right) \cdot \gamma,$$

$$P_2 = \left(\frac{2 \cdot 10^5}{9807} + \frac{0,745137^2 - 2,186^2}{2 \cdot 9,81} - 0,021 \right) \cdot 9807 = 197,683 \text{ КПа}$$

Суммарные потери сопротивления на участке 1-2 описываются соотношением:

$$h_m = \frac{\zeta \cdot v_2^2}{2g}.$$

Коэффициент сопротивления ζ рассчитывается по формуле Альтшуля:

$$\zeta = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \cdot k,$$

где ε – коэффициент сжатия струи; k – коэффициент смягчения.

Приближенное значение коэффициента ε определяется по формуле:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - \frac{A_2}{A_1}},$$

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - \frac{0,000107}{0,000314}} = 0,627.$$

Значение коэффициента k берется из таблицы, определяющей его зависимость от угла схождения θ [4]:

θ	10	20	40	60	80	100	140
k	0,4	0,25	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6

После интерполяционного расчета получаем: $k = 0,25$.
Следовательно,

$$\zeta = \left(\frac{1}{0,627} - 1 \right)^2 \cdot 0,25 = 0,088 ;$$

$$h_m = 0,088 \frac{2,186^2}{2 \cdot 9,81} = 0,021 \text{ м.}$$

Свяжем уравнением Бернулли сечения 4-4 и 3-3 конфузора, располагая линию сравнения на геометрической оси насадка:

$$z_4 + \frac{P_4}{\gamma_4} + \frac{\alpha_4 \cdot v_4^2}{2 \cdot g} = z_3 + \frac{P_3}{\gamma_3} + \frac{\alpha_3 \cdot v_3^2}{2 \cdot g} + h_{\text{з4-3}},$$

Из уравнения определяем значение давления потока воды на входе в диффузор P4.

$$h_{\text{з4-3}} = \frac{\zeta \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

Коэффициент сопротивления ζ рассчитывается по формуле Альтшуля:
Приближенное значение коэффициента ε определяется по формуле:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - \frac{A^4}{A_3^4}},$$

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - \frac{0,0000785}{0,0000635}} = 0,254.$$

$$\zeta = \left(\frac{1}{0,254} - 1 \right)^2 \cdot 0,4 = 3,45 .$$

$$h_{m4-3} = 2,38 \text{ м.}$$

Подставим параметры в уравнение Бернулли:

$$\frac{P_4}{9807} + \frac{1 \cdot 3^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{197683}{9807} + \frac{1 \cdot 3,679^2}{2 \cdot 9,81} + 2,38.$$

Для создания кавитационной струи давление на входе в насадок должно составлять:

$$P_4 = 223,29 \text{ КПа.}$$

Результаты в области использования явления кавитации с целью энергосбережения при выполнении реконструкции аэротенков городских очистных сооружений предложены филиалу кафедры ЭРИВР УО «БелГУТ» - ООО «Гефлис». Важным итогом работы является то, что результаты исследований используются при преподавании студентам УО «БелГУТ» дисциплин модуля «Гидравлика», у которых формируется пакет знаний и умений в области ресурсосбережения в рамках получаемой специальности.

Список литературы

1. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивания. Химия, / А.Д. Зимон – М.: 1974.- 416 с.
2. Курносое Н.Е. К вопросу гидрокавитационной интенсификации процесса очистки изделий машиностроения / Н.Е. Курносое – / Известия ТулГУ Технические науки. - 2012.
3. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации. / С.П. Козырев – М.: Машиностроение, 1964. - 140с.
4. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. / П.Г. Киселев – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. - 352 с.

УДК 628.3

ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА И ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ВОДЫ В СИСТЕМЕ КОММУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Дубенек С.А., Захарко П.Н., Голод Ю.В.

РУП «Центрально научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, dsnega@list.ru, polina.k.85@mail.ru, yli-gold@mail.ru

The article is about the problems of water rationing on water–sewage utilities enterprises and recommendations for improving the methodology of calculation of technological water flow in municipal water supply systems.

Введение

Основными показателями водопользования для предприятий являются данные об объемах добытой (изъятой) воды из окружающей среды, ее использовании в технологических процессах и объемах образующихся сточных вод. Характерной особенностью предприятий водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) является то, что основным видом деятельности, является добыча воды, ее очистка (водоподготовка) и подача потребителям, что вода одновременно выступает и в качестве сырья (сырая вода), и в качестве готовой продукции (вода питьевого качества, подаваемая в сеть). Стоимость питьевой воды как ресурса при ее нерациональном использовании на стадиях добычи, водоподготовки, транспортировки, существенно увеличивает стоимость воды как конечного продукта для потребителя.

Издержки предприятий ВКХ от нереализованного объема воды, возникающего в виде затрат воды на технологические нужды при ее подготовке перед подачей потребителю, учитываются при формировании себестоимости воды, отпускаемой потребителям.

Достоверный учет этих затрат, и, соответственно, объективное формирование себестоимости воды возможно только при условии установления четкой структуры и состава технологических расходов воды и научно-обоснованной методологии их расчета.

Однако, нормативный объем технологических расходов воды влияет не только на формирование себестоимости воды, но и на расчет нормативного объема забора воды из водных источников, выдачу разрешений на специальное водопользование, разработку мероприятий по рациональному водопользованию.

В Республике Беларусь, согласно данным Государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) в 2014 году, добыча воды из поверхност-

ных и подземных источников предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства составила 719,91 млн. м³, из них расход воды на собственные технологические нужды предприятий ВКХ составил 110,06 млн. м³ или 15,3 % от общего объема добытой воды.

В территориально-административном разрезе расход воды на собственные технологические нужды предприятий ВКХ составил:

- Минская область и город Минск – 9,4 % от добытой воды;
- Брестская область – 7,3 % от добытой воды;
- Витебская область – 15,6 % от добытой воды;
- Гродненская область – 17,2 % от добытой воды;
- Могилевская область – 13,45 % от добытой воды.

Основная часть

Расчет норматива технологических расходов воды в системе коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь осуществляется на основании Инструкции по оценке и расчету норматива технологических расходов воды в системах коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь (далее – Инструкция № 39), утвержденной постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 29 декабря 2004 г. № 39 [1].

Норматив технологических расходов воды в системах коммунального водоснабжения представляет собой процентное соотношение максимально допустимых объемов технологических расходов воды к 1 м³ воды, поданной в сеть. Технологические расходы воды в системах коммунального водоснабжения включают расходы воды, необходимые при подъеме, производстве (очистке) и транспортировании воды, на нужды канализационного хозяйства, объектов вспомогательного назначения, на собственные хозяйственно-питьевые нужды и поливку территории.

Инструкция № 39 устанавливает структуру, порядок и оценку технологических расходов воды для организаций, эксплуатирующих коммунальные системы питьевого водоснабжения населенных пунктов, а также содержит рекомендации по организации систематического сбора информации по технологическим расходам воды и периодичности пересмотра установленных нормативов.

Структура технологических расходов воды включает в себя следующие составляющие:

1. Суммарный объем расходов воды между сооружениями I и II подъемов:
 - на испытания откачками водозаборных скважин;
 - на дезинфекцию и промывку скважин;
 - на промывку сетчатых барабанных фильтров и микрофильтров;
 - на приготовление растворов реагентов;
 - на промывку баков реагентов;
 - на выпуск осадка из отстойников;
 - на промывку фильтровальных сооружений;
 - на профилактическую чистку и дезинфекцию отстойников, осветлителей, резервуаров чистой воды (РЧВ);
 - на производственные нужды лабораторий;
 - на отбор проб из пробоотборных кранов насосных станций I и II подъемов;
 - на производственные нужды объектов вспомогательного назначения на площадках II и III подъемов;

- на собственные хозяйственно-питьевые нужды обслуживающего персонала.
- 2. Расходы воды на отдельно стоящих объектах вспомогательного назначения и административных зданиях водоснабжающей организации.
- 3. Поливомоечные расходы отдельно расположенных территорий объектов водоснабжающей организации.
- 4. Суммарный объем расходов воды на транспортирование воды от насосной станции II (III) подъема до потребителя:
 - на профилактическую промывку водопроводных сетей;
 - на промывку и дезинфекцию водопроводных сетей, законченных строительством, или после капитального ремонта;
 - на промывку и дезинфекцию запасно-регулирующих резервуаров и баков водонапорных башен;
 - на отбор проб из водоразборных колонок (контрольные точки) на водопроводных сетях.
- 5. Суммарный объем расходов воды на объектах канализационного хозяйства:
 - на промывку и чистку канализационных коллекторов и сетей;
 - на хозяйственно-питьевые нужды канализационных насосных станций;
 - на хозяйственно-питьевые нужды очистных сооружений.

Как показывает практика, на ряде предприятий водопроводно-канализационного хозяйства Республики Беларусь в процессе эксплуатации систем водоснабжения имеется ряд структурных составляющих технологических расходов воды, порядок учета которых не регламентирован Инструкцией № 39:

- расходы воды, образующиеся при эксплуатации сооружений повторного использования воды (СПИВ);
- расход воды, сбрасываемый перед промывкой емкостных сооружений;
- расход воды на промывку сборных водоводов (водоводы I подъема) и водоводов II подъема;
- расход воды на промывку бактерицидных установок.

1. Промывка фильтровальных сооружений представляет собой подачу воды (или воды и воздуха) на фильтр для удаления из него задержанных при фильтровании загрязнений. Во всех методах обезжелезивания (и обезмарганцевания) после промывки фильтров образуются шламсодержащие воды в количестве от 0,5 % до 5 % от объема исходной воды.

С целью сокращения использования прошедшей водоподготовку подземной воды на собственные нужды станций водоподготовки законодательно предусмотрено повторное использование промывных вод с подачей их в сеть водоснабжения после предварительной обработки.

Так, в соответствии с ТКП 45-4.01-31-2009 «Сооружения водоподготовки. Строительные нормы проектирования» расходы исходной воды на собственные нужды станций водоподготовки при повторном использовании промывных вод составляет от 3 % до 4 % от количества воды, подаваемой потребителям, без повторного использования — от 10 % до 14 % [2].

На сегодняшний день на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства Республики Беларусь в соответствии с проектной и нормативной документацией реализованы следующие варианты использования промывных вод от сооружений водоподготовки:

- сброс промывной воды в окружающую среду (после предварительной очистки или без очистки);

- сброс промывной воды на шламовые накопители;
- сброс промывной воды в сети канализации;
- сброс промывной воды на сооружения повторного использования воды (СПИВ).

Системы повторного использования промывных вод и устройства для обработки осадка на станциях обезжелезивания должны приниматься в соответствии с ТКП 45-4.01-31-2009 и предусматривать следующие основные сооружения: резервуары, отстойники, сгустители, накопители или площадки обезвоживания и складирования осадка.

Типовые решения, предусматривающие очистку промывных вод с целью их повторного использования для промывки фильтровальных сооружений, обычно в качестве основного способа их очистки включают метод гравитационного отстаивания в различных вариациях его инженерного и конструктивного оформления.

Вода, подаваемая повторно на промывку фильтровальных сооружений, должна соответствовать по качеству питьевой воде, поэтому системы повторного использования промывных вод, включающие сооружения их очистки, должны удовлетворять этим требованиям. В противном случае загрязненные промывные воды сбрасываются в различные приемники (сети канализации, окружающую среду) безвозвратно.

В результате отстаивания промывной воды образуется осадок, который сбрасывается на шламовые площадки, предназначенные для обезвоживания и дальнейшего складирования осадка. Осветленная вода, образующаяся в процессе обезвоживания осадка на шламовых площадках, отводится в окружающую среду.

В действующей Инструкции № 39 определен только порядок учета расхода воды на промывку фильтровальных сооружений и отсутствует порядок учета объема повторно используемой воды, образующейся при эксплуатации СПИВ и подаваемой в дальнейшем в сеть.

2. Перед началом работ по дезинфекции, промывки емкостных сооружений (отстойников, осветлителей, резервуаров чистой воды) проводится их опорожнение, при котором весь объем воды, находящийся в сооружениях должен подаваться в сеть. Однако, как показывает практика, конструктивные особенности ряда сооружений, позволяют откачивать воду из емкостных сооружений только до определенного уровня (геодезической отметки), оставшаяся в нижней части сооружений вода, как правило, сбрасывается в сети канализации.

В Инструкции № 39 определен порядок учета расхода воды на смыв осадка, дезинфекцию и промывку стенок и днищ емкостных сооружений, но отсутствует порядок учета расхода воды, сбрасываемой перед промывкой емкостных сооружений.

3. Подача воды питьевого качества от водозаборных сооружений до потребителя может осуществляться по следующей схеме: водозаборные сооружения (скважины) – сборные водоводы (водоводы I подъема) – станция обезжелезивания – водоводы II подъема – резервуар чистой воды – водоводы III подъема – водопроводная сеть (потребитель).

В действующей Инструкции № 39 в технологические расходы воды между сооружениями I и II подъемов включены расходы воды на дезинфекцию, промывку и прокачку скважин, но не учтены расходы воды на промывку сборных водоводов, а также водоводов II подъема.

4. На ряде предприятий водопроводно-канализационного хозяйства обеззараживание подземных вод осуществляется при помощи бактерицидных установок. При эксплуатации данных установок используется вода для их промывок.

В действующей Инструкции № 39 не регламентирован расчет расхода воды на промывку бактерицидных установок.

Также в процессе водоподготовки на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства часть использованной воды отводится в системы канализации или в окружающую среду, что также влияет на формирование себестоимости воды, отпускаемой потребителям за счёт уплаты экологического налога за сброс сточных вод в окружающую среду или оплаты услуг за сброс сточных вод в сети канализации.

В результате функционирования водозаборных сооружений, станций водоподготовки на них могут образовываться следующие категории вод:

- воды от прокачки скважин;
- промывные воды скважин и сборных водоводов I подъема;
- переливные воды из РЧВ и водонапорных башен;
- остатки воды при опорожнении емкостных сооружений перед чисткой;
- воды, образующиеся при отборе проб из пробоотборных кранов;
- промывные воды сооружений водоподготовки (промывка фильтров);
- промывные воды сооружений обеззараживания;
- промывные воды от чистки и дезинфекции отстойников и осветлителей на сооружениях водоподготовки;
- воды от промывки и дезинфекции водопроводной сети;
- производственные сточные воды от лабораторий;
- производственные сточные воды от объектов вспомогательного назначения (котельные, компрессорные и т.п.);
- хозяйственно-бытовые сточные воды.

Часть этих вод является сточной водой, часть, в соответствии с термином «вода сточная», приведенном в Водном кодексе Республики Беларусь, к сточным водам не относится [3].

В соответствии со статьей 46 Водного кодекса Республики Беларусь к сточным водам, образующимся на водозаборных сооружениях, не относятся только воды от прокачки скважин водозаборных сооружений [3].

Однако, значительная часть воды, поступающей в системы канализации и в окружающую среду от водозаборных сооружений, станций водоподготовки, также не является сточной водой: промывные воды скважин и сборных водоводов I подъема, переливные воды из РЧВ и водонапорных башен, остатки воды при опорожнении РЧВ перед чисткой, воды, образующиеся при отборе проб из пробоотборных кранов.

Условия их отведения в окружающую среду природоохранным законодательством на сегодняшний день не регламентируются.

Анализируя законодательство Российской Федерации в области расчета технологических расходов воды в системах коммунального водоснабжения, необходимо отметить, что российское законодательство в данном направлении более прогрессивно.

Так, в Российской Федерации для расчета норматива технологических расходов воды в системе коммунального водоснабжения используется приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 октября 2014 г. N 640/пр «Об утверждении методических указаний по расчету потерь горячей, питьевой, технической воды в централизованных системах водоснабжения при ее производстве и транспортировке» [4].

Данные методические указания, помимо расчета технологических расходов воды, содержат расчет потерь воды на станциях водоподготовки, расчет потерь воды при ее транспортировке, что позволяет комплексно оценить все составляющие затратных статей расхода воды на предприятиях ВКХ на стадиях добычи, водоподготовки и транспортировки воды потребителю.

В Республике Беларусь расчет норматива технологических расходов воды в системе коммунального водоснабжения населенных пунктов и расчет потерь и неучтенных расходов воды их систем коммунального водоснабжения населенных пунктов регламентированы различными документами. Расчет норматива потерь и неучтенных расходов воды из систем коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь проводится в соответствии с Инструкцией по расчету потерь и неучтенных расходов воды из систем коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь, утвержденной постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 31 августа 2005 г. № 43 [5].

Заключение

Анализируя вышеизложенное, следует отметить, что для повышения рационального водопользования на объектах ВКХ необходима реализация мероприятий как технического, так и институционального характера:

- внедрение наилучших, доступных технических методов при эксплуатации объектов водоснабжения;
- организация приборного учета использования воды при функционировании СПИВ;
- уточнение или переработка Инструкции № 39 с учетом дополнительных расходов воды на технологические нужды, образующихся на предприятиях ВКХ в процессе эксплуатации систем водоснабжения;
- приведение в соответствие законодательства по проектированию и строительству систем водоснабжения, включая сооружения водоподготовки с природоохранным законодательством в части отведения сточных вод в окружающую среду;
- приведение в соответствие санитарных норм и правил с природоохранным законодательством в части отведения сточных вод в окружающую среду и в системы канализации.

Список литературы

1. Постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 29 декабря 2004 г. № 39 «Об утверждении инструкции по оценке и расчету норматива технологических расходов воды в системе коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь».
2. ТКП 45-4.01-31-2009 «Сооружения водоподготовки. Строительные нормы проектирования».
3. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-3.
4. «Методические указания по расчету потерь горячей, питьевой, технической воды в централизованных системах водоснабжения при ее производстве и транспортировке», утвержденные приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 октября 2014 г. N 640/пр.
5. Постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 31 августа 2005 г. № 43 «Об утверждении Инструкции по расчету потерь и неучтенных расходов воды из систем коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь».

ПРИМЕНЕНИЕ АЛЮМОСОДЕРЖАЩИХ КОАГУЛЯНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВОДЫ РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА

Комаровский Д.П., Т.М. Моняк

УО «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Республика Беларусь, D_komarovsky@mail.ru

In the article the main physical and chemical indicators of water quality in the river Western Dvina are considered and data of long-term change of their concentration within yearly seasons are studied. Results of laboratory researches in relation to choice of a coagulant and its optimum dose for the purpose of clarification and de-colouration of water of the Western Dvina are given. Advantage of polyoxochloride of aluminum against aluminum sulfate is noted.

Введение

Значительное количество промышленных предприятий на территории Республики Беларусь для технологических нужд используют воду из поверхностных источников. Для предприятий, расположенных в Полоцком районе, ОАО «Нафтан», завод «Полимир», Новополоцкая ТЭЦ, завод «Стекловолокно» источником промышленного водоснабжения является река Западная Двина.

Река Западная Двина принадлежит к типу равнинных рек с преобладанием снегового питания. Вода в реке относится к маломутным водам средней, а в отдельные периоды года и высокой цветности.

Основные показатели качества воды в реке Западная Двина (по данным лаборатории завода «Полимир») представлены в таблице 1.

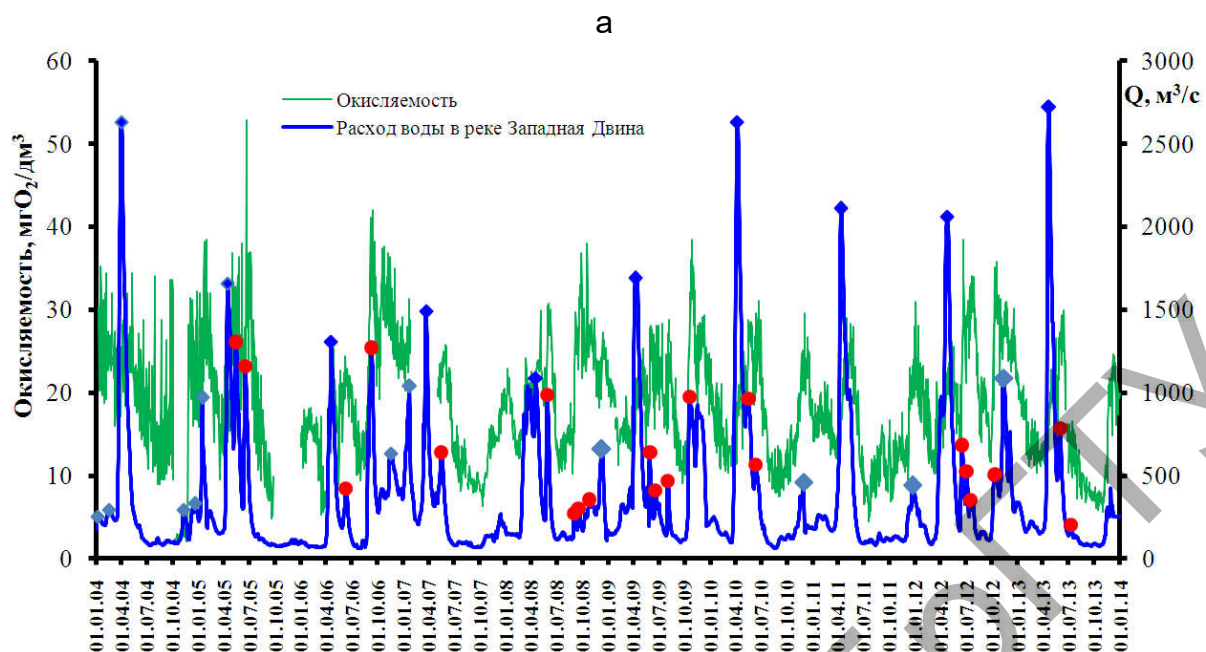
Таблица 1 – Показатели качества воды в р. Зап. Двина

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Значения
1	Водородный показатель, рН	ед.	7-8,5
2	Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	4-50
3	Цветность	градусы	50-250
4	Железо общее	мг/дм ³	0,2-3
5	Щелочность общая	мг-экв/дм ³	1-3
6	Мутность	мг/дм ³	3-9
7	Сульфаты	мг-экв/дм ³	0,1-0,4
8	Хлориды	мг-экв/дм ³	0,15-0,3

Предварительная подготовка речной воды включает её осветление и обесцвечивание для снижения, прежде всего, окисляемости и цветности и проходит с добавлением коагулянтов.

Динамика изменения среднемесячных концентраций окисляемости и цветности в реке Западная Двина за период с 2004 по 2013 гг. показана на рисунке 1.

В период весеннего половодья, когда расходы воды в реке Западная Двина наибольшие за год, окисляемость находится в пределах 25-30 мгО₂/дм³, а цветность – 150-200 градусов.



◆ – половодье; ● – паводки в период летне-осенней межени; ◆ – паводки в период зимней межени

Рисунок 1 – Динамика изменения концентраций окисляемости (а), цветности (б) в реке Западная Двина за 2004-2013 гг

После окончания половодья, в период летне-осенней межени, окисляемость и цветность снижаются и если отсутствуют дождевые паводки, то окисляемость и цветность принимают минимальные годовые значения – 4-6 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ и 50-70 градусов соответственно.

Летние и осенние дождевые паводки приводят к резкому увеличению как окисляемости, так и цветности. Во время паводков окисляемость и цветность принимают максимальные годовые значения – 40-50 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ и 200-250 градусов соответственно.

В зимнюю межень на значения окисляемости и цветности оказывают влияние зимние паводки, вызванные дождевыми осадками или таянием снега, которые чаще наблюдаются с ноября по конец января. В период этих паводков окисляемость и цветность принимают максимальные значения для зимней межени – 25-30 мгО₂/дм³ и 130-150 градусов соответственно. Минимальные значения окисляемости и цветности наблюдаются в конце марта начале апреля, перед началом весеннего половодья, и составляют 11-14 мгО₂/дм³ и 75-100 градусов соответственно.

Для снижения цветности и органических загрязнений, характеризующиеся перманганатной окисляемостью, на станциях водоподготовки применяют коагуляционную обработку воды [1-4]. Эффективность проведения коагуляционного процесса зависит от многих факторов: температуры и рН воды, наличия необходимого щелочного резерва, количества взвешенных и коллоидных частиц, концентрации органических соединений в воде, правильного выбора дозы коагулянта и быстроты смешения его с водой, а также наличия предварительного окисления исходной воды [1, 2, 5, 6].

На сегодняшний день многие промышленные предприятия в коагуляционном процессе в качестве реагента используют сульфат алюминия (далее по тексту – СА), однако в паводковый период и в холодное время года очистные сооружения, работающие с использованием данного коагулянта, в большинстве случаев не могут обеспечить необходимое качество очищенной воды, в особенности по перманганатной окисляемости. Для улучшения процесса коагуляции согласно [2-4, 7, 8], применяют высокоэффективные реагенты: полиоксихлориды алюминия (далее по тексту – ПОХА), неорганические полимеры, содержащие гидроокись хлорида алюминия. Этот вид коагулянта обладает рядом преимуществ по сравнению с другими реагентами: более широкая область применения в интервале рН, возможность использования при низких температурах, уменьшение дозы вводимого реагента, поставка в готовом рабочем растворе, что позволяет отказаться от процесса растворения коагулянта.

В данной статье приводятся результаты пробного коагулирования воды реки Западной Двины коагулянтами сульфата алюминия и полиоксихлорида алюминия. В задачу работы входило определение оптимальной дозы коагулянтов. В качестве диктующих показателей, по которым определялась оптимальная доза коагулянта, нами было выбрано цветность и перманганатная окисляемость.

Методика проведения исследований

В качестве коагулянтов использовали:

Сернокислый алюминий 2 сорта с массовой долей оксида алюминия 16%.

Полиоксихлорид алюминия АКВА-АУРАТ™10 с массовой долей оксида алюминия 10,4% и плотностью 1,26 г/см³.

Для проведения пробного коагулирования готовился рабочий раствор коагулянтов с концентрацией активной части по Al₂O₃ равной 0,1%.

Цветность, перманганатную окисляемость и щелочность воды определяли согласно принятых методик [9-11].

Мерные цилиндры заполняли исследуемой водой объемом 1000 мл. Назначали 5 доз коагулянта с интервалом 2÷5 мг/дм³. В 1-ый, 2-ой, ... 5-ый мерные цилиндры вводили назначенные дозы коагулянта. Далее осуществляли легкое перемешивание стеклянной палочкой в течение 15 минут и отстаивание – в те-

чение 90 минут, визуально наблюдая за процессом осаждения образующейся взвеси. По истечении времени отстаивания из верхней части цилиндров отбирали пробы, фильтровали через бумажный фильтр белая лента и проводили определение цветности, перманганатной окисляемости и щёлочности.

Речная вода для проведения пробного коагулирования отбиралась из водопровода сырой воды, поступающей на фильтровальную станцию завода «Полимир». Отбор воды производился в характерные периоды года: зимнюю межень, весеннее половодье, летне-осеннюю межень. Качество исходной воды приведено в табл. 2.

Таблица 2 – Качество исходной воды р. Западная Двина

Наименование показателей	Значения показателей и даты отбора воды		
	13.02.2015	10.04.2015	19.11.2015
рН, ед.	7,5	7,1	7,9
Цветность, град	146,8	295,13	63
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /дм ³	14,87	28,16	10,7
Щелочность, ммоль/дм ³	3,4	1,6	4,4

Результаты и их обсуждение

Результаты пробного коагулирования представлены на рисунках 2-4.

На рисунке 2 представлены результаты пробного коагулирования, проведенного в период зимней межени (13.02.2015 г.). Значения определяемых физико-химических показателей исходной воды представлены в таблице 2. Для снижения цветности оптимальную дозу коагулянтов ПОХА и СА можно принять равной 10 мг/дм³. При этом эффективность применения ПОХА составит 84%, а при СА – 73%.

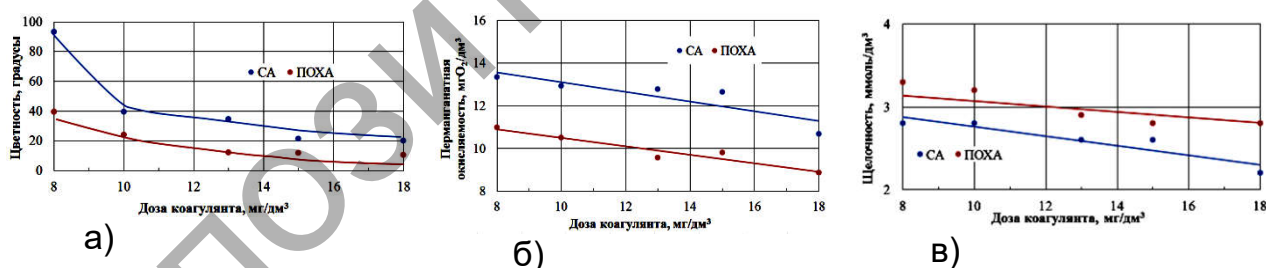


Рисунок 2 – Зависимость показателей качества воды (а – цветность; б – перманганатная окисляемость; в – щелочность) от дозы коагулянта

Изменение перманганатной окисляемости в изучаемом диапазоне доз коагулянтов носит линейный характер. Эффективность снижения перманганатной окисляемости при дозе коагулянта 10 мг/дм³ составляет для ПОХА – 29%, а для СА – 13%. При дозе коагулянта 18 мг/дм³ составляет для ПОХА – 40%, а для СА – 28%.

Положительным моментом для коагулянта ПОХА можно отметить тот факт, что при его применении щелочность воды снижается в меньшей степени, чем при СА.

На рисунке 3 представлены результаты пробного коагулирования воды, отобранной в период весеннего половодья на реке Западная Двина (10.04.2015 г.). Физико-химические показатели исходной воды представлены в таблице 2.

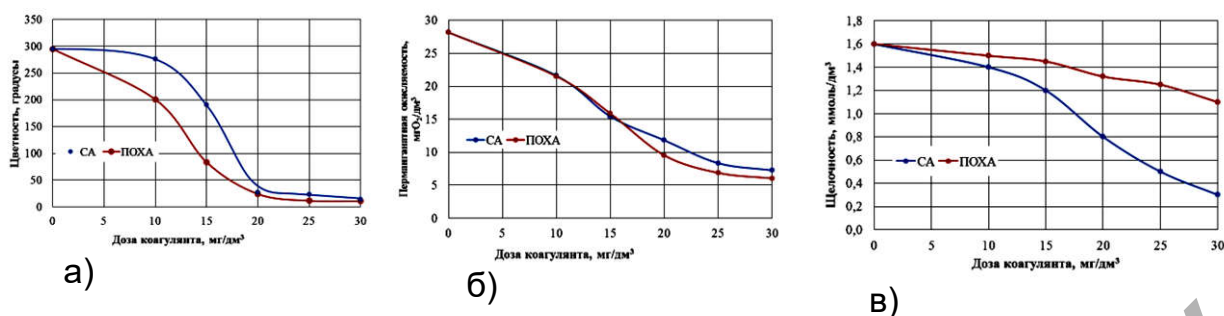


Рисунок 3 – Зависимость показателей качества воды (а – цветность; б – перманганатная окисляемость; в – щелочность) от дозы коагулянта

Из анализа коагуляционных кривых изменения цветности воды от дозы коагулянта (рис. 3 а) следует, что оптимальной дозой для коагулянтов СА и ПОХА является доза 20 мг/дм³. Полученная доза в 2 раза больше принятой при коагулировании воды в зимний период, что связано с большей загрязненностью воды в этот период (см. таблицу 2). Эффективность применения рассматриваемых коагулянтов при дозе 20 мг/дм³ практически одинаковая и составляет для ПОХА – 92%, а для СА – 91%.

Для снижения перманганатной окисляемости оптимальную дозу коагулянтов можно также принять 20 мг/дм³. Эффективность снижения данного показателя составляет для ПОХА – 66%, а для СА – 58%.

Необходимо отметить резкое снижение щёлочности воды при применении коагулянта СА до значений 0,8 ммоль/дм³, что может свидетельствовать о необходимости ввода подщелачивающего реагента.

В период осенней межени отбор воды реки Западная Двина проводился 19.11.2015 г. Значения определяемых физико-химических показателей исходной воды представлены в таблице 2. На рисунке 4 представлены результаты пробного коагулирования воды.

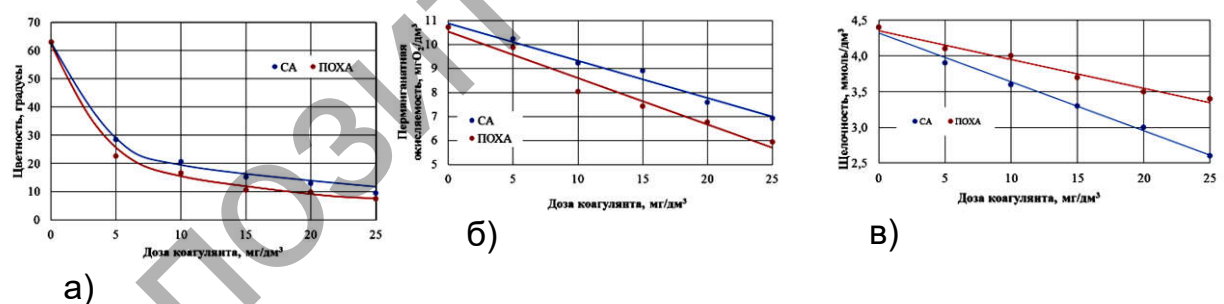


Рисунок 4 – Зависимость показателей качества воды (а – цветность; б – перманганатная окисляемость; в – щелочность) от дозы коагулянта

Применение коагулянтов СА и ПОХА показало практически одинаковую интенсивность снижения цветности (см. рис. 4 а). Оптимальная доза коагулянтов для снижения цветности равна 5 мг/дм³, эффективность при этой дозе составляет для ПОХА – 64%, а для СА – 55%.

Снижение перманганатной окисляемости носит линейный характер на всем диапазоне изменения дозы коагулянтов (см. рис. 4 б). Применение рассматриваемых коагулянтов не показало их высокую эффективность снижения перманганатной окисляемости. При максимальной дозе 25 мг/дм³ эффективность ПОХА составила – 45%, а СА – 35%.

По-прежнему щелочность коагулированной воды ниже при использовании СА, чем при ПОХА, но остается достаточной, чтобы воду не подщелачивать.

Выводы

Выполненное пробное коагулирование воды реки Западная Двина в периоды зимней межени, весеннего половодья и осенней межени с применением коагулянтов ПОХА и СА показало:

Оптимальные дозы применения коагулянтов составляют в период зимней межени – 10 мг/дм³; весеннего половодья – 20 мг/дм³; осенней межени – 5 мг/дм³.

Коагулянт ПОХА обладает большей эффективностью по снижению цветности на 7-11% и по снижению перманганатной окисляемости на 2-16% по сравнению с СА. Применение коагулянтов дает больший эффект по снижению цветности воды, чем перманганатной окисляемости.

Снижение щелочности воды меньше при применении ПОХА, особенно в период весеннего половодья, что не требует подщелачивания воды.

Список литературы

1. Драгинский, В.Л., Алексеева, Л.П., Гетманцев, С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод/В.Л.Драгинский, Л.П.Алексеева, С.В.Гетманцев – Москва: 2005. – 576 с.

2. Потапов, В.В., Бровкин, А.Е. Улучшение качества очистки природных вод с применением реагентов нового поколения / Б.Н. Потапов, А.Е. Бровкин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – №7. – С.15-21.

3. Гетманцев, С.В., Линевич, С.Н., Казанок, Л.С. Коагуляционная водообработка на Таманском групповом водопроводе/С.В. Гетманцев// Водоснабжение и санитарная техника. –2004.–№9.–С.30-33.

4. Мясников, И.Н., Потанина, В.А., Жолдакова, З.И., Артёмова, Т.З. Исследование процессов коагуляции и обеззараживания при очистке воды поверхностных источников/ И.Н. Мясников // Водоснабжение и санитарная техника. –2003. –№9. –С.13-15.

5. Сомов, М.А. Водоснабжение: Учебник / М.А. Сомов, Л.А. Квитка. – Москва: ИНФРА-М, 2007. –278 с.

6. Фрог, Б.Н. Водоподготовка: Учебное пособие для вузов / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – Москва: Издательство МГУ, 1996. – 680 с.

7. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография / С.М. Эпоян, Г.И. Благодарная, С.С. Душкин, В.А. Сташук – Харьков: ХНАГХ, 2013. – 190 с.

8. Кинебес, А.К. Эффективность использования полиоксихлоридов алюминия при очистке природных вод / А.К. Кинебас и др. // Водоснабжение и санитарная техника: – 2013. – №9. – С.52-56.

9. ГОСТ Р 55684-2013. Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости. Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 октября 2013 г. № 1320-ст.

10. ГОСТ 3351-74. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности. Утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 1 июля 1975 г. № 1309-ст.

11. ГОСТ Р 52963-2008. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 сентября 2008 г. № 224-ст.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ МОДЕЛИ КАРТРИДЖА ФИЛЬТРА-КУВШИНА

Манойленко А. Е., Ермолович О.А., Громыко Ж.Н.

Министерство транспорта и коммуникаций «Белорусский государственный университет транспорта» г. Гомель, Республика Беларусь
ermolovich@yandex.ru

The main idea of the method of water filtration, that the water move in a spiral, as a result increasing the time contact and contact area of the water with feed material.

Введение

Современные методы подготовки питьевой воды хороши тем, что дают возможность выбрать именно тот метод, который окажется самым эффективным для конкретных условий его применения.

Водопроводная вода, пройдя долгий путь по трубам, теряет свои первоначальные свойства, повышается концентрация солей кальция и магния. Значительная часть железа вымывается в питьевую воду из водопроводных труб вместе с другими металлами, входящими в их состав: хром, марганец, кобальт, никель, цинк и др. В настоящее время повышенное содержание железа в воде обнаруживают в водопроводах Гомельской области, а также в ведомственных водопроводах Брестской, Гродненской и Могилевской областей. Такую ситуацию специалисты объясняют недостатком станций обезжелезивания. Употребление воды, содержащей вредные примеси, может существенно повлиять на организм человека, привести к болезням суставов, образованию камней в почках, циррозу печени, артеросклерозу, инфаркту и другие.

Очистка воды с использованием фильтров

Бытовые фильтры очистки воды почти всегда рассчитаны на небольшие пропускные объемы и, соответственно, имеют малые габариты и вес. В большинстве случаев фильтрующий элемент представляет собой кассету, имеющую различные функциональные параметры. Как правило, бытовые фильтры врезаются непосредственно в водопроводную сеть через посредство резьбовых муфт или фланцевых соединений. В бытовых условиях широко используются различные фильтры-кувшины и насадки на кран, Российских производителей «Гейзер», «Brita», «Барьер», «Новая вода», «Аквафор».

Фильтры для очистки питьевой воды делятся на несколько групп:

1. Фильтры механической очистки питьевой воды служат для удаления таких механических частиц, как песок, ржавчина, или другие твердые частицы, которые не растворяются в воде.

2. Фильтры для обезжелезивания нужны при большом содержании растворенного железа. В основе таких фильтров лежат окислители, в качестве окислителей выступают смолы и природные минералы, которые взаимодействуют с железом и марганцем, благодаря чему образуются оксиды. Оксиды выпадают в осадок, и в таком виде их легко отфильтровать.

3. Угольные фильтры очистки питьевой воды улучшают вкус, цвет и запах воды, поглощая растворенные газы, органические соединения, хлор и его производные (принцип работы угольного фильтра и физика процессов, происходящих в нём).

Однако в отношении угольных фильтров определяется опасность размножения в них бактерий, и по этой причине следует уделять особое внимание к периоду их использования в бытовых системах водоподготовки. Их использование целесообразно в составе комбинированных фильтров очистки воды.

4. Умягчители на основе полимерных смол удаляют соли жесткости, тем самым умягчая воду и предотвращая появление накипи. Помимо этого специальные умягчающие засыпки фильтра могут удерживать и другие растворенные элементы, например, железо, марганец, нитраты, нитриты, сульфаты, органические соединения.

5. Ультрафиолетовые стерилизаторы применяются для обеззараживания воды, то есть для удаления микроорганизмов. Ультрафиолетовые лучи, проникая в клетку микроорганизма, разрушают ее изнутри. В результате такой очистки питьевая вода практически полностью освобождается от бактериологических загрязнений.

6. Фильтры очистки питьевой воды обратного осмоса считаются лучшими среди бытовых систем водоочистки. За счет использования полупроницаемой мембраны вода и растворенные вещества разделяются на молекулярном уровне. Вода проходит через мембрану, а загрязнения остаются с другой стороны и затем сбрасываются обратно в канализацию.

В домашней водопроводной сети часто применяются различного рода кассетные фильтры. Их выбор достаточно широк и зависит от поставленной задачи, т.е. от того, насколько тонкой должна быть очистка. Существуют необслуживаемые одноразовые фильтры, подлежащие периодической замене. Но большая часть фильтров моющиеся, т.е. восстанавливающиеся промывкой воды. Промывка выполняется обратным током воды самим пользователем так часто, как того требует фактическая загрязненность фильтра.

Существуют также самоочищающиеся фильтры, обслуживание которых выполняется автоматически по определенной программе. Интервалы между периодической очисткой фильтра, время и продолжительность промывки устанавливаются при помощи пульта управления. Фильтры могут комплектоваться манометром, отображающим рабочее значение потери нагрузки. Фильтры, устанавливаемые на входе в домашний контур, т.е. в точке подключения к водопроводной магистрали, могут оснащаться редукторами давления, которые независимо от колебаний давления на входе будут поддерживать постоянное давление на выходе.

Особое внимание заслуживают фильтры-кувшины, которые не нужно подключать к водопроводу и производить какие-то специальные установочные работы по их использованию. Принцип очистки воды прост и понятен практически каждому: воду необходимо залить в кувшин через верхнее отверстие, за счет силы тяжести она пройдет через сменную кассету, после чего проходит в резервуар для очищенной воды.

Следует особое внимание обратить на сменные кассеты для данного типа фильтров, так как они могут быть самыми разнообразными. Большой популярностью пользуются картриджи, применяемые для жесткой воды с целью её умягчения и улучшения органолептических свойств. С целью выполнения вышеописанных функций в таких фильтрах в качестве загрузки применяется ионообменные смолы. Ионообменные смолы представляют собой нерастворимые высокомолекулярные соединения с функциональными ионогенными груп-

пами, способными вступать в реакции обмена с ионами раствора. Некоторые типы ионитов обладают способностью вступать в реакции комплексообразования, окисления-восстановления, а также способностью к физической сорбции ряда соединений.

Умягчение воды катионированием основано на явлении ионного обмена, сущность которого состоит в способности ионообменных материалов или ионитов поглощать из воды положительные ионы в обмен на эквивалентное количество ионов катионита. Каждый катионит обладает определенной обменной емкостью, выражающейся количеством катионов, которые катионит может обменивать в течение фильтроцикла. Обменную емкость катионита измеряют в грамм-эквивалентах задержанных катионов на 1 м³ катионита, находящегося в набухшем (рабочем) состоянии после пребывания в воде, т.е. в таком состоянии, в котором катионит находится в фильтрате. Различают полную и рабочую обменную емкость катионита. Полной обменной емкостью называют то количество катионов кальция и магния, которое может задержать 1 м³ катионита, находящегося в рабочем состоянии, до того момента, когда жесткость фильтрата сравнивается с жесткостью исходной воды. Рабочей обменной емкостью катионита называют то количество катионов Ca⁺² и Mg⁺², которое задерживает 1 м³ катионита до момента «проскока» в фильтрат катионов солей жесткости. Обменную емкость, отнесенную ко всему объему катионита, загруженного в фильтр, называют емкостью поглощения.

При пропуске воды сверху вниз через слой катионита происходит её умягчение, заканчивающееся на некоторой глубине. Слой катионита, умягчающий воду, называют работающим слоем или зоной умягчения (рисунок 1).

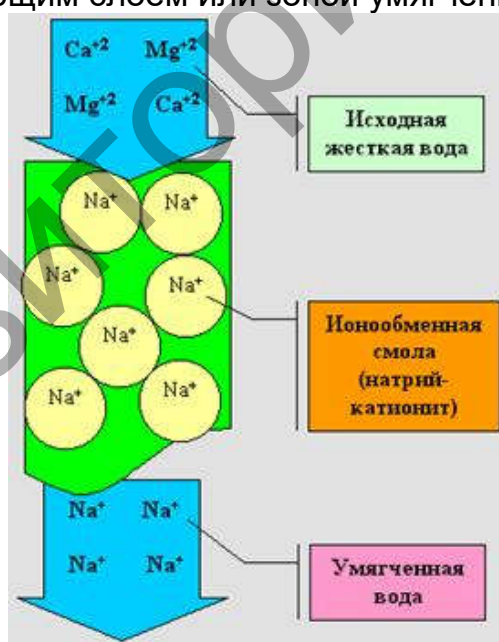


Рисунок 1 – Схема умягчения воды

При дальнейшем фильтровании воды верхние слои катионита истощаются и теряют обменную способность. В ионный обмен вступают нижние слои катионита, и зона умягчения постепенно опускается. Через некоторое время наблюдаются три зоны: работающего, истощенного и свежего катионита. Жесткость фильтрата будет постоянной до момента совмещения нижней границы зоны умягчения с нижним слоем катионита.

Для механической очистки воды в картридже применяются следующие зернистые загрузки в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, требуемой степени очистки воды: кварцевый песок, дробленый антрацит, керамзит, пористый алюмосиликат. Примером служат такие фильтры, как Гейзер, Барьер, Новая вода.

Анализ существующих картриджей показал, что фильтрующие материалы, используемые в фильтрах-кувшинах, основаны на угольном сорбенте, т.к. это наиболее дешевый сорбент из существующих. Использование такого рода наполнителя в фильтрах имеет свои плюсы и недостатки. Угольный фильтр имеет смысл применять для доочистки водопроводной воды, особенно если в качестве обеззараживающего элемента местная водоочистная станция использует хлор, продукты распада которого крайне вредны.

Механизм действия угольных фильтров основан на двух процессах – адсорбции (притяжения примесей, содержащихся в воде, к поверхности адсорбента) и каталитическом сокращении (процесс притяжения положительно заряженными ионами углерода, из которых состоит поверхность угольного фильтра, отрицательно заряженных частиц, содержащихся в фильтруемой воде). Обычный уголь (уголь-сырец) имеет сравнительно небольшую адсорбционную способность, так как его удельная поверхность сравнительно невелика и поры в значительной степени заполнены смолами и продуктами неполного сгорания, образующимися при получении угля. Обычный активированный уголь получают чаще всего из дуба, ели, березы, сосны. Более эффективный и экологически безопасный является кокосовый уголь. Благодаря своей структуре кокосовый уголь обладает улучшенными сорбционными возможностями, обеспечивает более качественную очистку воды в сравнении с обычным углем, вследствие большей суммарной площади фильтрующих пор.

В последнее время в качестве загрузочного материала фильтр-кувшинов стали применять также природные минералы, как шунгиты, цеолиты. Исследования, проводимые в этой сфере показали, что эффективность шунгита при очистке воды может достигать 95 %. Среди примесей, от которых может очистить воду шунгит, тяжелые металлы, нефтепродукты, хлороорганические соединения, фенолы, диоксины и радионуклеиды. После этой очистки улучшается вкус воды, она становится прозрачной и насыщается микро- и макроэлементами, необходимыми для человека. Очистка снижает мутность воды на 95% и устраняет неприятный запах на 85%.

Так же большую популярность, в качестве загрузочного материала, получили цеолиты – природный минерал (алюмосиликат), имеющий пористую структуру, содержащий в своем составе множество таких элементов, как оксиды кремния, железа, магния, кальция, калия, натрия, цинка, титана, меди, фосфора, марганца, серебра, бора, фтора, а также кобальта, молибдена, никеля и прочих металлов. Цеолит взаимодействует с водой как фильтрующий материал и адсорбент. Благодаря ионообменным свойствам, цеолит способен длительное время проводить очистку воды от разного типа неорганических (например, от тяжелых металлов, железа общего, ионов аммиака, сульфатов, нитратов, нитритов, фосфатов, хлоридов, фтора, цианидов и т.д.) органических веществ (от поверхностно-активных веществ), фенола, эмульгированных нефтепродуктов, трихлорэтилена и т.д.) с последующей регенерацией.

Загрузка на основе природных цеолитов позволяет производить очистку пищевых и технических жидкостей от ионов железа, кобальта, магния, кальция, меди, кадмия, цинка, никеля и других металлов, а также органических веществ и нефтепродуктов. Цеолит подвергается многократной регенерации исходной водой или солевым раствором, в зависимости от целей его использования.

Новыми методами очистки водопроводной воды считаются мембранная фильтрация и электрохимический способ очистки. Однако использование таких методов очистки для домашнего использования не представляется возможным в виду их высокой стоимости.

Комплексное использование различных способов очистки позволяет исключить недостатки отдельных методов и получить наиболее качественную питьевую воду.

Разработка способа и метода очистки воды

Главный недостаток проточного картриджа в том, что вода, проходя через слой загрузочного материала, образует в нем каналы (русла), и вода в дальнейшем проходит не через загрузку фильтра, а проходит «транзитом» через образовавшиеся русла. Это приводит к снижению эффективности доочистки питьевой воды, так как большинство загрузочного материала просто не используется (рисунок 2).

Обычный проточный картридж

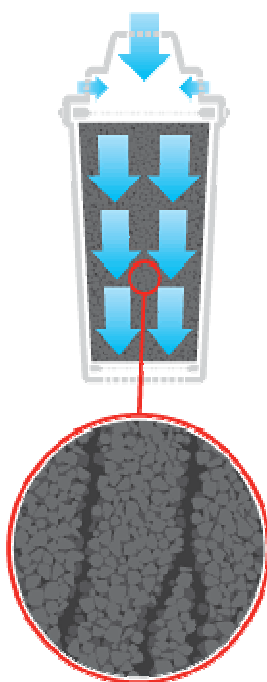


Рисунок 2 – Проточный картридж

Сутью разработанной модели является то, что внутри картриджа устанавливается специальная тонкая многовитковая спираль со специально подобранным шагом, которая заворачивает поток воды во внутреннем объеме картриджа, меняя схему очистки с проточной на спиральную. Это увеличивает длину пути, которую проходит вода внутри картриджа при заданном его объеме и скорости потока, и, соответственно, увеличивает время контакта воды с сорбентом.

Это существенно улучшает степень очистки (рисунок 3).

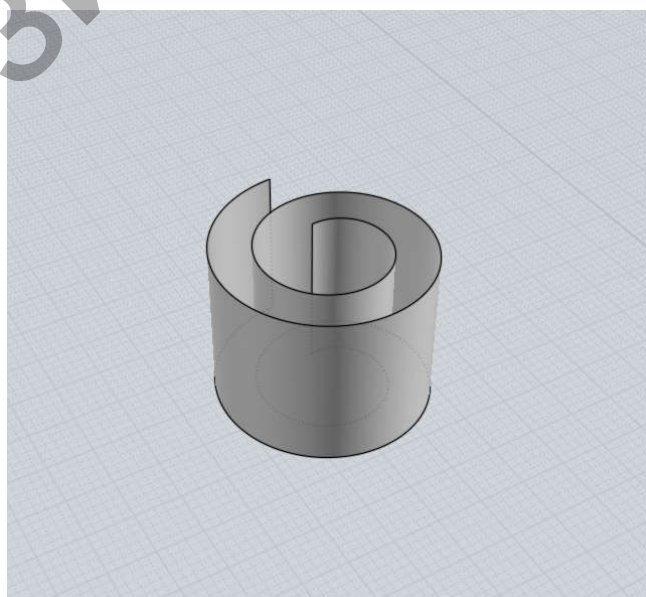


Рисунок 3 – Спираль помещаемая в тело фильтра

Кроме того, движение воды по спирали в гранулированной фильтрующей среде картриджа предотвращает образование русел, что не только увеличивает время контакта воды с фильтрующей средой, но и способствует более полному и равномерному использованию её фильтрующих свойств в объеме всего картриджа. Это улучшает срок эффективной сорбции (для активированного угля) или эффективного умягчения (для ионообменной смолы), т.е. продлевает ресурс картриджа. Преимущество данной разработки заключается в возможности многократной замены фильтрующего материала в разработанном картридже любым существующим в настоящее время, в зависимости от условий его использования.

Выводы

Данная разработанная модель картриджа фильтра-кувшина может быть использована с любыми существующими в настоящее время на рынке фильтрующими материалами. Для внедрения и практического применения разработанного картриджа фильтра-кувшина требуется проведение дополнительных исследований и анализов на эффективность применения в конкретных условиях с увеличением степени очистки воды. Экономическая целесообразность данной разработки заключается в снижении затрат на приобретение нового картриджа, вследствие возможности замены фильтрующего материала.

УДК 628.314

ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Новикова О. К., Вострова Р.Н., Власюк Т.А.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель, Республика Беларусь, olanov2007@mail.ru

The paper assesses the qualitative composition of the wastewater of the dairy industry. Results norms of permissible concentrations. The problems in the standardization of concentrations of pollutants in waste water discharged into the municipal sewage system.

Введение

Защита водных объектов является одной из ряда важных проблем современности. Основным источником загрязнений водоемов являются сточные воды, отводимые канализационной сетью города. Если качество бытовых сточных вод можно считать постоянным, то сточные воды промышленных предприятий содержат в своем составе различные загрязнения в широком диапазоне колебания концентраций.

В составе городских сточных вод они поступают на очистные сооружения, где подвергаются очистке. Для обеспечения эффективной работы городских очистных сооружений к сточным водам предъявляются требования, определяемые величиной предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе городских сточных вод, поступающих на очистные сооружения, на основании которых устанавливаются предельно допустимые концентрации загрязняющих

веществ в суммарном расходе производственных сточных вод, превышение которых может нарушить ход биологической очистки и снизить фактический эффект очистки, что повлечет увеличения концентраций загрязняющих веществ на выпуске в водный объект.

Основная часть

На основании оценки качественного состава производственных сточных вод, поступающих в городские сети водоотведения, установлено, что наибольшими концентрациями загрязняющих веществ характеризуются сточные воды предприятий по производству продуктов питания. Наиболее распространенными в группе пищевой промышленности являются предприятия молочной промышленности, выделенные в отдельную подотрасль.

Предприятия молочной промышленности являются одними из крупных потребителей пресной воды и источниками образования значительных объемов сточных вод. Удельный расход сточных вод молочных заводов составляет в среднем 5–7 м³ на 1 тонну перерабатываемого молока, но на заводах с устаревшей технологией производства этот показатель значительно выше [1].

Сточные воды молочной промышленности интенсивно загрязнены легкоразлагаемыми органическими веществами (жир, белок, лактоза), неорганическими соединениями и синтетическими поверхностно – активными веществами (моющие вещества), способными нанести большой ущерб как работе городских очистных сооружений, так и водным объектам – приемникам сточных вод.

Наибольшее количество загрязненных сточных вод образуется в результате мойки стеклопосуды, фляг, автомобильных молочных цистерн, площадок для их мойки, механизированных линий по уходу за сырами и пр.

В соответствии с укрупненными нормами качественный состав сточных вод предприятий молочной промышленности представлен показателями:

- ХПК – 1400 мг/дм³;
- БПК_{полн} – 1200 мг/дм³;
- взвешенные вещества – 350 мг/дм³;
- железо общее – 0,5 мг/дм³;
- фосфаты – 8 мг/дм³;
- азот аммонийный – 60 мг/дм³ [1].

Состав и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах конкретных предприятий зависят от профиля и производительности предприятий.

Таблица 1 – Качественный состав сточных вод предприятий молочной промышленности

Наименование загрязняющего вещества	Концентрация, мг/дм ³
рН	6,5-12 (7,78)
БПК ₅	272-1375 (352,5)
Взвешенные вещества	115-1150 (250,6)
Железо общее	0,38-1,24 (0,78)
Азот аммонийный	1,43-93 (15,9)
Фосфаты	4,5-30 (10,9)
Сухой остаток	296-5323 (814)
Хлориды	8,9-124,1(81,0)
Сульфаты	11,5-88 (66)
СПАВ	0,12-0,63 (0,35)
Нефтепродукты	0,13-0,92 (0,18)
ХПК	210-840 (300)
медь	0,04-0,12 (0,08)

На основании обследования водохозяйственных комплексов предприятий молочной промышленности Гомельской области установлена характеристика качественного состава сточных вод (таблица 1). Экстремальные значения концентраций (минимальные и максимальные) отмечаются в разовых пробах, поэтому о качественном составе сточных вод целесообразно судить по средним значениям показателей.

Молочные заводы расположены в городах и сбрасывают сточные воды в городскую канализацию. Для данных предприятий на основании нормативов допустимого сброса сточных вод в водные объекты, анализа работы городских очистных сооружений и допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе городских сточных вод, поступающих на очистные сооружения, качественного состава коммунально-бытовых сточных вод установлены нормативы допустимых концентраций на выпуске в городскую канализационную сеть (таблица 2).

Таблица 2 – Нормативы допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод предприятий молочной промышленности на выпуске в городскую канализационную сеть

Наименование загрязняющего вещества	Наименование предприятия			
	Жлобинский молочный завод	МКК Рогачев	Мозырские молочные продукты	Калинковичский молочный комбинат
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9	6,5-9
БПК ₅	500	511	855	310
Взвешенные вещества	400	390	382	290
Железо общее	2,0	2,2	4,0	4,0
Азот аммонийный	20	18	35	50
Фосфаты	10	10	3,7	3,7
Сухой остаток	1000	1000	1500	1500
Хлориды	300	300	500	500
Сульфаты	100	100	150	150
СПАВ	1,5	10	2,5	2,5
Нефтепродукты	5,0	0,6	2,0	2,0
ХПК	1000	1050	1575	550
медь	0,2	0,3	0,5	0,5
цинк	0,1	0,3	0,3	0,3
Никель	–	0,04	0,05	0,05
Хром общий	0,03	–	0,1	0,1
Фенолы	–	–	0,9	0,9

На величину допустимой концентрации в составе производственных сточных вод, отводимых в городскую канализацию, существенно влияет норматив допустимой концентрации по рассматриваемому показателю в составе городских сточных вод, поступающих на очистные сооружения.

Так, например, допустимые концентрации загрязняющих веществ в городских сточных водах (смеси бытовых и производственных), поступающих на очистные сооружения ОАО «Мозырский НПЗ» установлены ОАО «Мозырский НПЗ» и доведены КЖУП «Мозырский райжилкомхоз».

Допустимая концентрация фосфат-иона (в пересчете на фосфор) в городских сточных водах (смеси бытовых и производственных городов Мозыря и Калинковичи) поступающих на очистные сооружения, должна составлять 3,7 мг/дм³.

Данная величина концентрации фосфат-иона (в пересчете на фосфор) ни при каких условиях не может быть достигнута в составе данной категории вод, поскольку концентрация фосфат-иона (в пересчете на фосфор) в бытовых сточных водах составляет 11,0–16,0 мг/дм³, фосфора общего – 6,8–8,6 мг/дм³ [3].

Производственные сточные воды ряда отраслей промышленности города в своем составе имеют фосфаты. При введении данного норматива в размере 3,7 мг/дм³ производственные сточные воды города должны разбавлять бытовой сток, что влечет устройство локальных очистных сооружений биологической очистки на каждом предприятии, а для обеспечения которой необходимо удаления ряда загрязняющих веществ, что требует затрат в миллионы долларов на абсурдную локальную очистку, поскольку концентрации фосфатов в бытовом стоке не изменятся.

Введение данного норматива в размере 3,7 мг/дм³ влечет необходимость устройства локальных очистных сооружений биологической очистки на каждом предприятии, что требует больших экономических затрат.

Нормативы допустимых сбросов загрязняющих веществ в водный объект, нормативы допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе городских сточных вод, в суммарном расходе производственных сточных вод и по отраслям промышленности – должны быть логичны. Они должны рассчитываться единым разработчиком, который рассматривал бы систему водоотведения города, в комплексе, начиная от водного объекта, с учетом фактической мощности очистных сооружений.

Зачастую предприятия водохозяйственного комплекса, имеющие на балансе очистные сооружения и принимающие стоки города на очистку, стремятся увеличить нормативы допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, что влечет ужесточение нормативов для промышленных предприятий и необходимость строительства локальных очистных сооружений.

Решением проблемы снижения воздействия городских сточных вод на водный объект может быть реконструкция городских очистных сооружений с интенсификацией как механической, так и биологической очистки, и при необходимости - устройство локальных очистных сооружений на предприятиях имеющих повышенные концентрации загрязняющих веществ.

Очевидным является необходимость строительства локальных очистных сооружений для предприятий молочной промышленности для обеспечения снижения концентраций ХПК, БКП₅, взвешенных веществ до требований отведения в городские сети.

Загрязненность данных стоков значительно превышает требования, предъявляемые к приему сточных вод в системы канализации населенных пунктов. Высокая концентрация сточных вод молочных производств, а также неравномерность их поступления приводят к перегрузке многих городских очистных сооружений и их неудовлетворительной работе. Серьезные проблемы имеют место и непосредственно на очистных сооружениях предприятий молочной промышленности, осуществляющих как сброс очищенных вод в водоемы, так и предочистку стоков со сбросом в канализацию.

Для очистки сточных вод молочных заводов применяются различные методы, выбор которых зависит от количества и характеристики загрязнений сточных вод, а также условий их сброса, устанавливаемых природоохранными органами и коммунальными организациями водопроводно-канализационного хозяйства.

Так как предприятия в основном располагаются в городской черте, то локальные очистные станции молзаводов должны быть компактны, просты и надежны в работе, обеспечивая требуемую степень очистки сточных вод. Для этой цели получила распространение коагуляция с последующим отстаиванием или флотацией, однако ее применение на молзаводах выявило ряд недостатков: высокие дозы традиционных видов коагулянтов, необходимость корректировки рН среды, нестабильность процесса коагуляции и, как результат, недостаточная степень снижения концентрации органических загрязнений.

Связано это с неоднородностью состава сточных вод молокоперерабатывающих заводов, объединяющих, как правило, стоки от разных производств молочных продуктов. В ходе технологического процесса переработки молока происходят изменения структуры его компонентов, что отражается на взаимодействии их с добавляемым коагулянтом.

Помимо физико-химических методов очистки сточных вод предприятий молочной промышленности получила распространение очистка с помощью аэробных микроорганизмов в аэротенках.

Технология аэробной биологической очистки в аэротенках применительно к высококонцентрированным сточным водам молочной промышленности обладают существенными недостатками:

- значительный расход электроэнергии на аэрацию,
- высокий прирост избыточной биомассы, обладающей плохими водоотдающими свойствами и требующей стабилизации,
- неустойчивость к залповым сбросам легкоокисляемых загрязнений, перерывам в подаче сточных вод.

В последнее время разработаны технологии локальной предварительной очистки сточных вод отрасли с использованием биофильтров с пластмассовыми загрузками либо с применением реагентной физико-химической обработки.

Использование биофильтров сдерживается высокой стоимостью современных загрузочных материалов. Физико-химические технологии, прежде всего, реагентная флотация, будучи эффективными в отношении жировых загрязнений, не могут решить проблему очистки от растворенных загрязнений (углеводов). Кроме того, они порождают вторичную проблему - образование большого (до 10% от объема сточных вод) количества легкозагнивающих органо-минеральных осадков, требующих стабилизации и обезвоживания.

Технология очистки производственных сточных вод предприятий молочной промышленности выбирается исходя из того, куда отводятся очищенные сточные воды качественного состава и допустимых концентраций на выпуске с учетом технико-экономического сравнения вариантов.

Список литературы

1. Яромский В.Н. Очистка сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий / В.Н. Яромский. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2009. – 171 с.
2. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности / совет Эконом. Взаимопомощи, ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1978. – 590 с.
3. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – АКВАРОС, М – 507с.

ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ

Пеньковская А.М., Попова Е.Н.

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г.Минск, Республика Беларусь, skivr@mail.ru

In this article, we present the results of the evaluation of modern ecological condition of water ecosystems of the basin of the Western bug river, were developed and proposed targets for water quality in the reservoirs of this basin, and also the sequence of reaching a good class of hydrochemical indicators water ecosystems, which are characterized by moderate ecological status.

Введение

В настоящее время РУП «ЦНИИКИВР» разрабатывает план управления бассейном реки Западный Буг.

Основная задача плана управления водными ресурсами бассейна водного объекта (далее – План) – определение водохозяйственных и иных мероприятий для удовлетворения перспективных потребностей населения и хозяйственной деятельности в водных ресурсах, обеспечения рационального использования и охраны вод, а также предотвращения и ликвидации вредного воздействия вод.

В соответствии с принципами Водной рамочной директивы Европейского союза и законодательства Республики Беларусь при выполнении Плана в ходе решения ключевых проблем должны устанавливаться целевые показатели качества воды водного объекта или бассейна реки с обозначенными сроками их реализации [1].

Целевые показатели позволяют определить цели управления на определенный срок с максимальным учетом ситуации на конкретном водном объекте в рамках доступного объема информации.

В основу определения целевых показателей положен анализ экологической обстановки в бассейнах рек. Экологическое состояние водных объектов бассейна реки Западный Буг оценено в соответствии с классами гидрохимических, гидробиологических и гидроморфологических показателей по каждому пункту наблюдений мониторинга поверхностных вод Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (далее – МПВ) и обследованных участков водных объектов (экспедиция 2015 года) [2, 3, 4, 5, 6].

С использованием имеющихся данных МПВ, данных Государственного водного кадастра (далее – ГВК) и результатов экспедиционных исследований рассчитаны целевые показатели качества вод, проведен их анализ и предложена последовательность достижения целевого качества воды водных объектов в бассейне реки Западный Буг.

Определение классов гидрохимических и гидробиологических показателей водных экосистем бассейна реки Западный Буг

МПВ в бассейне реки Западный Буг проводится на 11 водных объектах в 24 гидрохимических пунктах наблюдений, причем на водотоках – 20 пунктов, а на водоемах – 4 пункта. Гидробиологические наблюдения в бассейне реки Западный Буг в 2014 году проводились в 8 пунктах наблюдений.

Согласно данным [7] приоритетными загрязняющими веществами в бассейне реки Буг за 2006–2014 годы являются (в % от общего количества наблюдаемых за этот период превышений) – азот аммонийный (12,9%), азот нитритный (11,0%), БПК₅ (9,8%), железо общее (19,1%), марганец (9,4%), медь (9,0%), фосфаты или фосфор фосфатный (20,5%), цинк (6,4%) и др.

Реже встречаются повышенные концентрации азота общего (1 случай из 1039 определений), нефтепродуктов (10 случаев из 1042 определений), никеля (20 случаев из 1000 определений), СПАВ (7 случаев из 1042 определений), фосфора общего (26 случаев из 439 определений), хрома 6-ти валентного (1 случай из 233 определений) и хрома общего (5 случаев из 984 определений), что составляет 1,9% от общего количества наблюдаемых за этот период превышений.

Анализ результатов наблюдений за качеством поверхностных вод бассейна реки Западный Буг показал, что в 2014 году среднегодовые концентрации органических веществ по БПК₅, нитрит-иона и фосфора общего несколько уменьшились по сравнению с предыдущим годом, однако возросло содержание в воде аммоний-иона, фосфат-иона, нефтепродуктов и СПАВ.

Для сравнения данных 2014 года с многолетними данными предшествующего периода наблюдений рассчитаны индексы загрязненности воды (далее – ИЗВ) для всех пунктов наблюдений [8].

Согласно классификации качества воды по ИЗВ в 2014 году вода большинства пунктов наблюдений бассейна реки Западный Буг соответствовала категории «относительно чистые» – 75%, 25% – «умеренно загрязненные», а в 2013 году – 79,2% пунктов наблюдений классифицируются как «относительно чистые», а 16,7% – «умеренно загрязненные», 4,1% – «чистые». Таким образом, состояние водных объектов бассейна реки в целом стабильно и оценивается как достаточно благополучное.

Класс гидрохимических показателей установлен для 31 участка водных объектов бассейна реки Западный Буг, при этом 9 участков характеризуются удовлетворительным классом (29%), 20 участков – хорошим (64,5%) и 2 – река Пульва и 1 створ водохранилища Луковское – отличным (6,5%).

По результатам МПВ в 2014 году наиболее загрязненными (III класс гидрохимических показателей, удовлетворительный) по-прежнему остаются участки рек:

- Западный Буг – ниже г. Бреста (мост Козловичи),
- Западный Буг – н.п. Речица (пограничная застава Козловичи),
- Западный Буг – н.п. Терebuнь, Западный Буг – н.п. Новоселки,
- Лесная – н.п. Каменюки,
- Мухавец – в районе г. Кобрин (выше и ниже города),
- Копаювка (н.п. Леплевка), а также по результатам обследования – водохранилище Олтушское.

В 2014 году класс гидробиологических показателей определен для 8 участков водных объектов, 6 из них классифицируются хорошим классом (75%), а 2 – удовлетворительным (25%) – участки реки Западный Буг (н.п. Новоселки и н.п. Речица). Для определения качества воды остальных участков водных объектов по гидробиологическим показателям необходимы дальнейшие наблюдения. Поэтому экологический статус установлен лишь для 8 участков водных объектов, 4 из них классифицируется хорошим экологическим статусом (50%), 4 – удовлетворительным (50%).

Целевые показатели качества воды водных объектов бассейна реки Западный Буг

Целевые показатели (далее – ЦП) для бассейна реки Западный Буг разработаны с учетом природных особенностей этого речного бассейна, а также с учетом условий целевого использования водных объектов, расположенных в границах бассейна [9, 10].

Гидрохимические ЦП установлены путем статистической обработки данных МПВ (как нижний квартиль данных наблюдений) и представляют, по существу, нормативы качества окружающей среды в применении к исследуемому участку водного объекта.

Для оценки степени отклонения содержания в воде загрязняющих веществ от нормативов качества использованы предельно допустимые концентрации (далее – ПДК), установленные в Приложении 2 к Постановлению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30.03.2015 г. №13 «Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов».

Анализ соотношений ПДК, ЦП и фактических концентраций позволяет сделать вывод о характере и степени антропогенного воздействия на данный участок водного объекта, выявить реальные проблемы загрязнения воды на данном участке реки и разработать мероприятия по улучшению качества воды или же стабилизации обстановки на участке.

Для расчета ЦП проанализированы результаты гидрохимических наблюдений в бассейне реки Западный Буг за многолетний период (10 лет и более), определены воздействия как антропогенного, так и природного происхождения, вследствие которых достаточно часто наблюдались превышения над ПДК.

Для каждого пункта наблюдений бассейна реки Западный Буг рассчитаны ЦП по конкретным загрязняющим веществам, выделены наиболее проблемные участки рек. Определена последовательность достижения хорошего качества воды для водных объектов, оцененных III классом (удовлетворительным) гидрохимических показателей и – отличного качества воды для рек, а для водоемов бассейна II (хорошего) класса гидрохимических показателей.

В таблице 1 приведены расчеты поэтапного достижения хорошего качества воды водных объектов бассейна реки Западный Буг, характеризующихся удовлетворительным классом гидрохимических показателей.

Заключение

Использование длительных рядов наблюдений за химическим составом воды в стационарных пунктах наблюдений в бассейне реки Западный Буг позволило оценить современное состояние качества воды в водных объектах бассейна, установить целевые показатели качества воды по каждому пункту наблюдений по приоритетным загрязняющим веществам и наметить этапы достижения нормативного качества воды по конкретным участкам водных объектов.

Для достижения целевых показателей качества воды необходимо проведение мероприятий, позволяющих улучшить качество воды в первую очередь за счёт сокращения сбросов сточных вод локальными очистными сооружениями и проведения водоохраных мероприятий, обеспечивающих сокращение диффузного стока с загрязнённых территорий.

Таблица 1 – Поэтапное достижение хорошего качества воды водных объектов бассейна реки Западный Буг характеризующихся удовлетворительным классом гидрохимических показателей (по данным за 2014 год)

Пункт	Наименование показателя, загрязняющего вещества	Фактическая среднегодовая концентрация за 2014 год, мг/дм ³	ЦП, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³	Этап 1 – снижение фактической среднегодовой концентрации до уровня ЦП	Этап 2 – снижение среднегодовой концентрации до уровня ПДК
Пункт 1 (ИЗВ=1,50, класс гидрохимических показателей – удовлетворительный, класс гидробиологических показателей – удовлетворительный, гидроморфологические изменения – есть, 100% канализовано русло). Экологический статус – удовлетворительный						
г. Козятица с южной стороны	ХПК ср	42,3	47,9	30	–**	В 1,41 раза (или на 25%)
	Азот нитритный	0,040	0,038	0,024	В 1,053 раза (или на 5,3%)	В 1,667 раза (или на 40%)
	Азот аммонийный	0,88	0,67	0,39	В 1,31 раза (или на 31%)	В 2,26 раза (или на 58%)
	Фосфор фосфатный	0,182	0,182	0,066	–**	В 2,76 раза (или на 71%)
	Фосфор общий	0,252	0,291	0,2	–**	В 1,26 раза (или на 21%)
	СПАВ****	0,075	0,068	0,1	В 1,10 раза (или на 10%)	–*
	Железо общее	0,518	0,518	0,335	–**	В 1,55 раза (или на 39%)
	Цинк	0,017	0,023	0,014	–**	В 1,21 раза (или на 21%)
	Марганец	0,084	0,048	0,03	В 1,75 раза (или на 75%)	В 2,80 раза (или на 70%)
Пункт 2 (ИЗВ=1,39, класс гидрохимических показателей – удовлетворительный, класс гидробиологических показателей – удовлетворительный, гидроморфологические изменения – есть, 100% канализовано русло). Экологический статус – не определен, необходимы дополнительные исследования						
п. мостовичи	ХПК ср	40,6	43	30	–**	В 1,35 раза (или на 28%)
	Азот нитритный	0,032	0,033	0,024	–**	В 1,333 раза (или на 33%)
	Азот аммонийный	0,83	0,63	0,39	В 1,32 раза (или на 32%)	В 2,13 раза (или на 54%)
	Фосфор фосфатный	0,173	0,173	0,066	–**	В 2,62 раза (или на 67%)
	Фосфор общий	0,241	0,253	0,2	–**	В 1,21 раза (или на 21%)
	СПАВ****	0,065	0,063	0,1	В 1,03 раза (или на 3%)	–*
	Железо общее	0,435	0,548	0,335	–**	В 1,30 раза (или на 33%)
	Цинк	0,015	0,019	0,014	–**	В 1,07 раза (или на 7%)
	Марганец	0,072	0,043	0,03	В 1,67 раза (или на 67%)	В 2,40 раза (или на 60%)
Пункт 3 (ИЗВ=1,15, класс гидрохимических показателей – удовлетворительный, класс гидробиологических показателей – удовлетворительный, гидроморфологические изменения – есть, 100% канализовано русло). Экологический статус – не определен, необходимы дополнительные исследования						
п. м.п. ребушь	ХПК ср	36,6	40,0	30,0	–**	В 1,22 раза (или на 22%)
	Азот нитритный	0,033	0,039	0,024	–**	В 1,375 раза (или на 35%)
	Азот аммонийный	0,55	0,48	0,39	В 1,15 раза (или на 15%)	В 1,41 раза (или на 36%)
	Фосфор фосфатный	0,135	0,162	0,066	–**	В 2,05 раза (или на 51%)

дний	Наименование показателя, загрязняющего вещества	Фактическая среднегодовая концентрация за 2014 год, мг/дм ³	ЦП, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³	Этап 1 – снижение фактической среднегодовой концентрации до уровня ЦП	Этап 2 – снижение среднегодовой концентрации до уровня ПДК
	Фосфор общий	0,201	0,250	0,2	—**	В 1,01 раза (или на 1%)
	СПАВ****	0,063	0,051	0,1	В 1,24 раза (или на 24%)	—*
	Железо общее	0,380	0,505	0,335	—**	В 1,13 раза (или на 13%)
	Цинк	0,015	0,020	0,014	—**	В 1,07 раза (или на 7%)
	Медь***	0,004	0,005	0,0043	—**	—*****
	Марганец	0,086	0,047	0,03	В 1,83 раза (или на 83%)	В 2,87 раза (или на 287%)
Буг (ИЗВ=1,09, класс гидрохимических показателей – удовлетворительный, класс гидробиологических показателей – удовлетворительный, гидроморфологические изменения – есть, 100% канализовано русло). Экологический статус – удовлетворительный.						
и на гр.	ХПК ср	38,3	40,0	30,0	—**	В 1,28 раза (или на 28%)
ольшей	Азот нитритный***	0,023	0,034	0,024	—**	—*****
	Азот аммонийный	0,55	0,41	0,39	В 1,34 раза (или на 34%)	В 1,41 раза (или на 41%)
	Фосфор фосфатный	0,139	0,156	0,066	—**	В 2,11 раза (или на 211%)
	Фосфор общий	0,204	0,237	0,2	—**	В 1,02 раза (или на 2%)
	СПАВ****	0,060	0,050	0,1	В 1,20 раза (или на 20%)	—*
	Железо общее	0,390	0,478	0,335	—**	В 1,16 раза (или на 16%)
	Цинк***	0,014	0,018	0,014	—**	—*****
	Марганец	0,079	0,042	0,03	В 1,88 раза (или на 88%)	В 2,63 раза (или на 263%)
(ИЗВ=0,97, класс гидрохимических показателей – удовлетворительный, класс гидробиологических показателей – от удовлетворительного до удовлетворительного, гидроморфологические изменения – есть, 100% канализовано русло). Экологический статус – не определен, необходимы и дополнительные исследования.						
ыше г.	ХПК ср	41,7	50,7	30,0	—**	В 1,39 раза (или на 39%)
обрина	Азот нитритный	0,026	0,025	0,024	В 1,040 раза (или на 4%)	В 1,083 раза (или на 8,3%)
	Азот аммонийный	0,50	0,50	0,39	—**	В 1,28 раза (или на 28%)
	Фосфор фосфатный	0,105	0,105	0,066	—**	В 1,59 раза (или на 59%)
	Нефтепродукты****	0,023	0,021	0,05	В 1,10 раза (или на 10%)	—*
	СПАВ****	0,068	0,057	0,1	В 1,19 раза (или на 19%)	—*
	Железо общее	0,674	0,585	0,335	В 1,15 раза (или на 15%)	В 2,01 раза (или на 201%)
	Цинк	0,017	0,016	0,014	В 1,06 раза (или на 6%)	В 1,21 раза (или на 21%)
	Медь	0,006	0,004	0,0043	В 1,50 раза (или на 50%)	В 1,40 раза (или на 40%)
	Марганец	0,074	0,060	0,03	В 1,23 раза (или на 23%)	В 2,47 раза (или на 247%)

Коды	Наименование показателя, загрязняющего вещества	Фактическая среднегодовая концентрация за 2014 год, мг/дм ³	ЦП, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³	Этап 1 – снижение фактической среднегодовой концентрации до уровня ЦП	Этап 2 – снижение среднегодовой концентрации до уровня ПДК
Левый берег (ИЗВ=0,97, класс гидрохимических показателей – удовлетворительный, класс гидробиологических показателей – отсроченный, морфологические изменения – есть, 100% канализовано русло). Экологический статус – не определен, необходимы дополнительные исследования.						
м ниже обрина	ХПК ср	44,4	58,7	30,0	—**	В 1,48 раза (или на 42%)
	Азот аммонийный	0,53	0,55	0,39	—**	В 1,36 раза (или на 29%)
	Фосфор фосфатный	0,110	0,089	0,066	В 1,24 раза (или на 24%)	В 1,67 раза (или на 60%)
	Фосфор общий****	0,151	0,149	0,2	В 1,01 раза (или на 1%)	—*
	Нефтепродукты****	0,024	0,022	0,05	В 1,09 раза (или на 9%)	—*
	СПАВ****	0,074	0,065	0,1	В 1,14 раза (или на 14%)	—*
	Железо общее	0,789	0,789	0,335	—**	В 2,36 раза (или на 70%)
	Цинк	0,018	0,018	0,014	—**	В 1,29 раза (или на 31%)
	Медь	0,006	0,006	0,0043	—**	В 1,40 раза (или на 33%)
	Марганец	0,084	0,071	0,03	В 1,18 раза (или на 18%)	В 2,80 раза (или на 88%)
Среднее (ИЗВ=0,87, класс гидрохимических показателей – удовлетворительный, класс гидробиологических показателей – хороший, морфологические изменения – есть, 100% канализовано русло). Экологический статус – удовлетворительный.						
в черте сплевка	ХПК ср	46,8	42,8	30	В 1,09 раза (или на 9%)	В 1,56 раза (или на 48%)
	Азот аммонийный****	0,37	0,36	0,39	В 1,03 раза (или на 3%)	—*
	Фосфор фосфатный	0,131	0,129	0,066	В 1,02 раза (или на 2%)	В 1,98 раза (или на 50%)
	СПАВ****	0,045	0,040	0,1	В 1,13 раза (или на 13%)	—*
	Железо общее	1,310	1,495	0,315	—**	В 4,16 раза (или на 123%)
	Цинк	0,014	0,018	0,012	—**	В 1,17 раза (или на 17%)
	Медь***	0,004	0,005	0,004	—**	—*****
		Марганец	0,083	0,044	0,028	В 1,89 раза (или на 89%)
Правый берег (ИЗВ=0,85, класс гидрохимических показателей – удовлетворительный, класс гидробиологических показателей – хороший, морфологические изменения – есть, 100% канализовано русло, нарушена непрерывность потока). Экологический статус – удовлетворительный.						
м выше менюки	ХПК ср	47,7	38,3	30	В 1,25 раза (или на 25%)	В 1,59 раза (или на 48%)
	Азот аммонийный	0,37	0,30	0,39	В 1,23 раза (или на 23%)	—*
	Фосфор фосфатный	0,105	0,117	0,066	—**	В 1,59 раза (или на 48%)
	Нефтепродукты****	0,030	0,020	0,05	В 1,50 раза (или на 50%)	—*
	СПАВ****	0,053	0,050	0,1	В 1,06 раза (или на 6%)	—*
	Железо общее	0,745	0,620	0,315	В 1,20 раза (или на 20%)	В 2,37 раза (или на 70%)
	Цинк***	0,012	0,016	0,012	—**	—*****
	Медь***	0,004	0,005	0,004	—**	—*****

Наименование показателя, загрязняющего вещества	Фактическая среднегодовая концентрация за 2014 год, мг/дм ³	ЦП, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³	Этап 1 – снижение фактической среднегодовой концентрации до уровня ЦП	Этап 2 – снижение среднегодовой концентрации до уровня ПДК
Марганец	0,061	0,053	0,028	В 1,15 раза (или на 15%)	В 2,18 раза (или на 45%)
<p>ИЗВ=0,67, класс гидрохимических показателей – удовлетворительный, класс гидробиологических показателей – удовлетворительный (данные). Экологический статус – не определен, необходимы дополнительные исследования.</p>					
ХПК cr	41,49	31,12	30	В 1,333 раза (или на 33.3%)	В 1,383 раза (или на 36.3%)
Фосфор фосфатный	0,120	0,090	0,066	В 1,333 раза (или на 33.3%)	В 1,818 раза (или на 50.0%)
Цинк	0,021	0,016	0,010	В 1,313 раза (или на 31.3%)	В 2,10 раза (или на 110.0%)
Медь	0,0064	0,0048	0,0035	В 1,333 раза (или на 33.3%)	В 1,829 раза (или на 118.0%)

Если фактическая среднегодовая концентрация не превышает ПДК, то есть значение ПДК достигнуто (к настоящему времени); если фактическая среднегодовая концентрация не превышает ЦП, то есть значение ЦП достигнуто (к настоящему времени); если фактическая среднегодовая концентрация превышает ЦП и ПДК, можно предположить, что вероятен риск увеличения содержания данного вещества в воде водоема в результате антропогенной деятельности, поэтому необходимы систематические наблюдения за содержанием этого показателя в воде водоема. Если фактическая среднегодовая концентрация превышает ЦП, но не превышает ПДК, для достижения отличного качества воды по гидрохимическим показателям необходимо на первом этапе снижения фактической среднегодовой концентрации до уровня ПДК (достижение ПДК), а на втором – до уровня ЦП.

Результаты разовых обследований 2015 года;

При наличии высокого риска загрязнения, необходимы систематические дальнейшие наблюдения за качеством поверхностных вод.

Список литературы

1. Водный кодекс Республики Беларусь от 30.04.2014 г. № 149-3;
2. ТКП 17.13-08-2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Правила определения химического (гидрохимического) статуса речных экосистем»
3. ТКП 17.13-09-2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Правила определения химического (гидрохимического) статуса озерных экосистем»
4. ТКП 17.13-10-2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Правила определения экологического (гидробиологического) статуса речных экосистем»
5. ТКП 17.13-11-2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Правила определения экологического (гидробиологического) статуса озерных экосистем»
6. ТКП 17.13-21-2015 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Порядок отнесения поверхностного водного объекта к классам экологического состояния (статуса)»
7. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 1994–2012 годы), Мн., РУП «ЦНИИКИВР», 1995–2013 гг.
8. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям / Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. – Москва, 1988
9. Книга 3 «Целевые показатели» проекта «Разработка Схемы комплексного использования водных ресурсов бассейна реки Днепр (российской часть)»: отчет о НИР / рук. Кривошей В.А., Вильдяев В.М. и др.
10. Беляев С.Д. Использование целевых показателей качества воды при планировании водохозяйственной деятельности // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – №3, 2007. – с. 3–26.

УДК 628.171

О НОРМИРОВАНИИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ратникова А.М.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель, Республика Беларусь, ratnikova_a.m@mail.ru

The article is devoted to the problem of calculation of water consumption rates for mechanical engineering enterprises. Water consumption rates are used for planning water consumption, evaluating the efficiency of water usage.

Введение

Машиностроение является одной из ведущих отраслей промышленности Республики Беларусь. Доля предприятий машиностроения в общем объеме промышленного производства составляет около 20 %. Машиностроение является значительным потребителем водных ресурсов, забирающим около 10 % свежей воды от общего расхода воды промышленностью.

Приоритетными проблемами использования воды на производственные нужды являются:

- высокий уровень использования питьевой воды в технологических процессах;
- значительные потери воды и ее высокий расход на выпуск единицы продукции.

Актуальной научной проблемой является разработка теоретических положений, обеспечивающих прогнозирование и оценку объемов водопотребления с целью создания комплекса технических решений, направленных на совершенствование процессов управления в водном хозяйстве, повышение эффективности использования водных ресурсов на машиностроительном предприятии.

Нормирование водопотребления на предприятиях машиностроения

Рациональная схема водного хозяйства предприятия во многом зависит от структуры водохозяйственного баланса, то есть от количественных значений отдельных его составляющих (объемов потребляемой свежей воды, сточных вод, безвозвратных потерь, оборотной и повторно используемой воды) при различных схемах водоснабжения и водоотведения. Поэтому весьма важно установить теоретические (технологические) и статистические закономерности между отдельными составляющими водохозяйственного баланса, а также их зависимости от технологических процессов производства.

Анализ водохозяйственного баланса поможет определить технологически необходимые объемы воды, а также качество воды, требуемое в каждом технологическом процессе, разработать мероприятия по оптимизации использования воды в процессе производства и снизить объемы ее потребления, что, в свою очередь, приведет к уменьшению затрат на электроэнергию.

Технологические нормативы водопотребления представляют собой обоснованное расчетами количество воды с учетом ее качества, необходимое для производственного процесса, устанавливаемое на единицу производимой продукции, используемого сырья, материалов.

Согласно действующему ТКП, технологические нормативы водопотребления могут быть рассчитаны следующими методами: теоретическим (на основе составления баланса водопотребления и водоотведения с учетом особенностей производственных процессов, систем водоснабжения и канализации) и отчетно-статистическим (на основе статистических данных об объемах водопотребления, водоотведения и производства продукции).

Технологические нормативы водопользования служат базовой основой для оценки и обеспечения рационального использования водных ресурсов, обоснования получения разрешений на спецводопользование, установлении лимитов водопотребления и водоотведения, определения плановой потребности в воде на предприятиях.

Для прогнозирования расходов воды предприятиями машиностроения наиболее целесообразным представляется комбинирование методов - теоретического (для составления водохозяйственного баланса и анализа его составляющих) и отчетно-статистического (для расчета нормативов водопотребления и прогнозирования расходов).

Расчет нормативов водопотребления производится в следующей последовательности:

- 1) составление водохозяйственного баланса отдельных технологических процессов, участков, цехов и всего предприятия в целом с учетом требований к качеству потребляемой воды;

- 2) анализ водохозяйственного баланса;
- 3) определение количества выпущенной продукции, выраженной в условных единицах;
- 4) расчет технологического норматива на условную единицу выпускаемой продукции;
- 5) сопоставление фактического расхода воды и расчетного;
- 6) вывод о достоверности полученных результатов.

Нормы водопотребления зависят от следующих факторов:

- характера производства;
- назначения воды в процессе производства;
- уровня использования природных и производственных ресурсов;
- систем водоснабжения и канализации;
- качества и свойств применяемой и отводимой воды;
- возможности очистки и обработки воды.

Объем водопотребления согласно [0] определяется по формуле:

$$W_{\text{тех.норм}} = W_0 + N_1 \cdot П_1 + N_2 \cdot П_2 + \dots + N_n \cdot П_n, \text{ м} \quad (1)$$

где - W_0 - нормативный среднегодовой объем воды, не зависящий от производства продукции, обусловлен технологическими нуждами, м^3 ; $N_1, N_2 \dots N_n$ - норматив водопотребления для соответствующего вида основной производимой продукции, единица измерения; $П_1, П_2 \dots П_n$ - объем основной производимой продукции, единица измерения.

Нормативный среднегодовой объем воды, не зависящий от производства продукции, величина условно постоянная для каждого предприятия.

При разработке нормативов необходимо внимательно подходить к выбору единиц выпускаемой продукции.

Для предприятий машиностроительной отрасли номенклатура выпускаемой продукции достаточно широка. Разработка нормативов водопотребления на каждый вид выпускаемой продукции является довольно трудоемким процессом. Поскольку перечень выпускаемой продукции из года в год может изменяться, то разработка нормативов на каждый вид продукции является нецелесообразной. Для упрощения расчетов вводится условная единица выпускаемой продукции, выраженная через трудоемкость или вес произведенной продукции. Достоинством такого метода является наиболее точное определение количества выпущенной продукции, поскольку имеется возможность учитывать остатки незавершенного производства.

Регрессионный анализ проводится с целью получения по экспериментальным данным регрессионных моделей, представляющих собой экспериментальные факторные модели. Задачей регрессионного анализа является определение параметров экспериментальных факторных моделей объектов проектирования или исследования, т.е. определение коэффициентов проектирования при выбранной их структуре.

Регрессионный анализ включает три основных этапа:

- 1) статистический анализ результатов эксперимента;
- 2) получение коэффициентов регрессионной модели;
- 3) оценку адекватности и работоспособности полученной экспериментальной факторной модели технической системы.

Все расчеты и анализы данных проводились применительно к предприятиям сельскохозяйственного машиностроения. Для определения характера функциональной зависимости между водопотреблением и объемами выпускаемой продукции построен график – диаграмма рассеяния (рисунок 1).

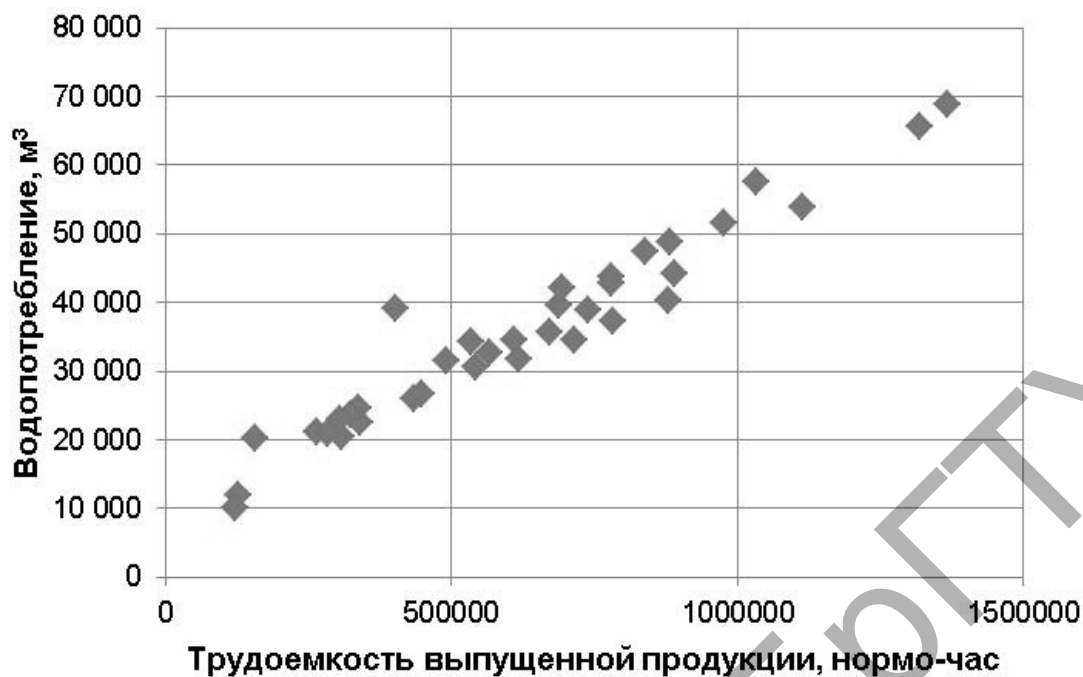


Рисунок 1 – Зависимость объемов водопотребления от объемов выпускаемой продукции

Анализируя график зависимости водопотребления от количества нормо-часов, затраченных на производство продукции, можно сделать вывод о наличии линейной зависимости между этими показателями.

Определение характера связи расхода воды с выпуском основных видов продукции осуществляется с помощью линейной многофакторной регрессии методом наименьших квадратов. Факторами в данном случае являются различные технологические процессы обработки материалов и изделий. Анализируется удельный вес каждого фактора, и из дальнейшего рассмотрения исключаются малозначные (в технологическом процессе используется малое количество воды, которым можно пренебречь) и незначительные (вода в технологическом процессе не используется) факторы.

На основании анализа технологических процессов производства продукции на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения были выделены основные технологические процессы (факторы): механическая обработка; литейные и кузнечные (заготовительные), прессовые, слесарно-сборочные, сварочные; малярные, деревообрабатывающие работы; гальваническая и термическая обработка; упаковка; деревообработка и прочие виды работ.

Упаковочные и деревообрабатывающие виды работ могут быть исключены из списка факторов, как незначительные.

Для упрощения расчетов можно выделить следующие укрупненные группы факторов: заготовительные, обрабатывающие, сборочные и прочие.

Производственная структура машиностроительного предприятия приведена на рисунках 2 и 3.

Расходы воды определяются исходя из технических характеристик обрабатывающего технологического оборудования, его коэффициентов загрузки, времени работы и составления водохозяйственного баланса.

Адекватность модели оценивается сравнением с фактическими данными объемов водопотребления.



Рисунок 2 – Производственная структура машиностроительного предприятия

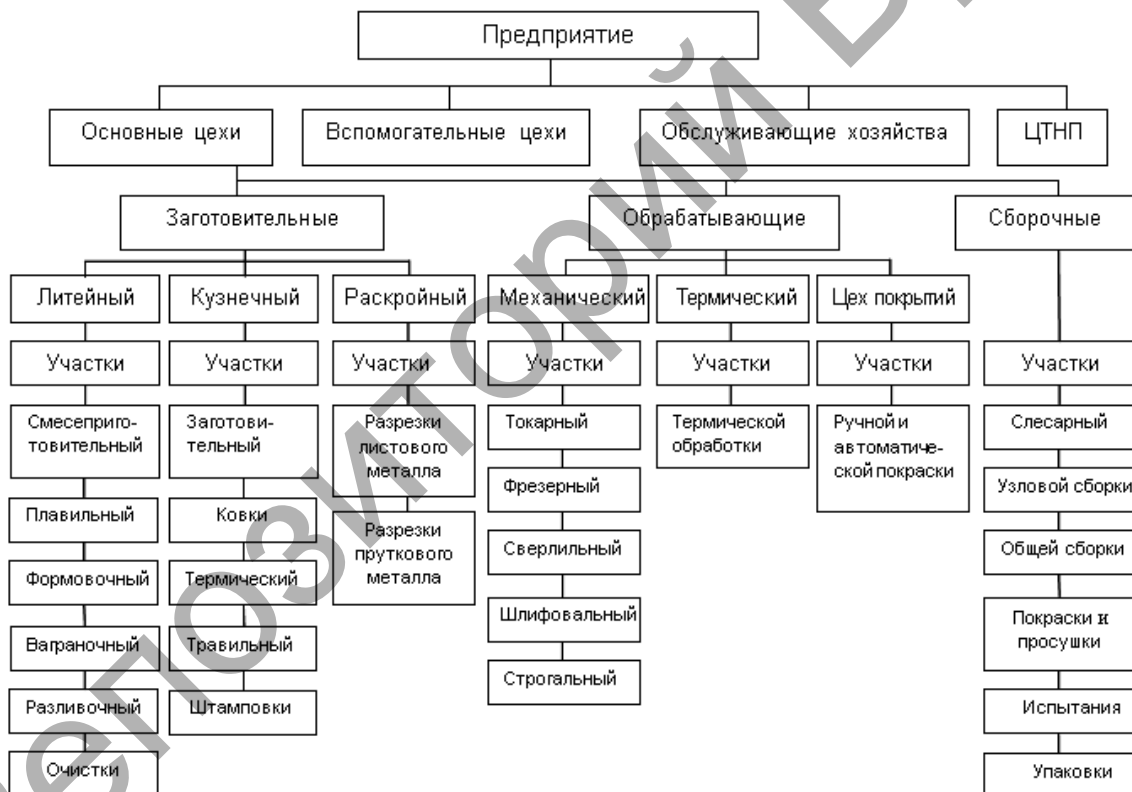


Рисунок 3 – Производственная структура машиностроительного предприятия с технологической специализацией цехов

Объем водопотребления на технологические нужды в зависимости от трудоемкости в технологическом процессе рассчитывается по формуле

$$W_{\text{тех}} = W_0 + \sum q_i T_i, \quad (2)$$

где W_0 - среднегодовой объем воды, не зависящий от производства продукции, обусловлен технологическими нуждами, м^3 ; q_i - расход воды на 1 норма-час выпускаемой продукции в i -том технологическом процессе, $\text{м}^3/\text{норма-час}$; T_i - трудоемкость выпускаемой продукции в i -том технологическом процессе, норма-час.

Объем воды, не зависящий от производства продукции, определяется как сумма объемов воды, обусловленных технологическими нуждами обслуживающих хозяйств и вспомогательных цехов.

Если на предприятии имеется обратная система водоснабжения, то необходимо ввести поправочный коэффициент.

$$W_{\text{тех}} = W_0 + \sum K_{\text{об } i} \cdot i \cdot q_i \cdot T_i \quad (3)$$

где $K_{\text{об } i}$ – коэффициент, учитывающий процент использования воды в обороте.

$$K_{\text{об } i} = 1 - \frac{P_{\text{об } i}}{100} \quad (4)$$

где $P_{\text{об}}$ – процент использования воды в обороте, %.

Процент использования воды в обороте

$$P_{\text{об } i} = 1 - \frac{W_{\text{об}}}{W_{\text{об}} + W_{\text{св}}} \cdot 100 \quad (5)$$

где $W_{\text{св}}$, $W_{\text{об}}$ – количество свежей и оборотной воды.

Коэффициенты регрессии уточняются по мере внедрения нового оборудования путем введения коэффициента

$$K_{\text{зам}} = W_{\text{пр.оборуд.ст}} / W_{\text{пр.оборуд.нов}} \quad (6)$$

Заключение

В результате исследований рассмотрены особенности расчета нормативов водопотребления предприятий машиностроения.

Расчитанные нормы расхода воды позволяют:

- 1) планировать потребность в воде на производство определенного количества продукции;
- 2) анализировать и оценивать работу предприятия и его производственных подразделений путем сопоставления норм и фактических удельных расходов воды;
- 3) оценивать эффективность использования водных ресурсов;
- 4) определять удельную энергоёмкость производства данного вида продукции.

Список литературы

1. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года = WaterstrategyoftheRepublicofBelarusfortheperiodtill 2020 / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, Центр. науч.-исслед. ин-т комплексного использования водных ресурсов. – Минск: Бел НИЦ "Экология", 2011. – 80 с.

2. О некоторых вопросах разработки технологических нормативов водопользования: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 04.05.2015 № 21.

3. ТКП 17.02-13/1-2015 (33140). Охрана окружающей среды и природопользования. Технологические нормативы. Ч.1. Расчет технологических нормативов водопользования: утвержден и введен в действие от 30 января 2015 г. №1-Т. – Минск: Минприроды, 2015. – 38 с.

4. Ковальский, В.И. Организация и планирование производства на машиностроительном предприятии: учеб. пособие / В.И. Ковальский – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.

5. Урецкий, Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий: монография / Е.А. Урецкий; под общ. ред. С.Е. Березина, А.Д. Гуриновича. – Брест : БрГТУ, 2008. – 319 с.

6. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов. / В.П. Тарасик – Минск: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ЛАНДШАФТНЫХ ПРОВИНЦИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Рыбкина И.Д.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия,
irina@iwep.ru

Based on the data from the State statistical reports of the Federal Water Resources Agency, the volume of water used in 2009-2013 in the landscape provinces of Western Siberia is evaluated. Taking into account all previous estimates of the potential water availability, the coefficients of water use are calculated. Using two provinces (Nazarovo and Kuznetsk Alatau) as an example, the estimation of real water resources for a 3-year dry periods is carried out.

Введение

Формирование водных ресурсов происходит в природных границах, в то время как показатели их использования чаще всего обобщаются по административно-территориальному принципу. В этом скрытом, неявном, на первый взгляд, противоречии заложена ошибка планирования водохозяйственной деятельности в речных бассейнах и муниципальных образованиях регионов. Для повышения достоверности представляемой информации предлагается анализировать данные по использованию водных ресурсов в ландшафтных границах, в случае регионального уровня исследований – в границах физико-географических провинций.

Сотрудниками ИВЭП СО РАН в целях рационализации регионального природо(водо)пользования выполнен углубленный анализ азональных и зональных факторов ландшафтной дифференциации и разработана обобщенная схема физико-географического районирования Сибири [1]. На территории Западной Сибири выделены 83 ландшафтные провинции. При этом управление водными ресурсами и региональными системами природо (водо) пользования предложено осуществлять в рамках ландшафтно-бассейнового подхода [2-4]. Согласно водохозяйственному районированию России, в Западной Сибири располагается 81 водохозяйственный участок в границах 15 регионов и субъектов РФ (включая Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий АО).

Исходной информацией для анализа использования водных ресурсов явились сведения Федерального агентства водных ресурсов (ФАВР) России по формам государственной статистической отчетности 2тп-водхоз, выложенные в открытом доступе на официальном статистическом сайте [5], а также данные, предоставленные Верхне- и Нижне-Обским бассейновыми водными управлениями.

Основная часть

На основе данных 2тп-водхоз определены объемы использованных поверхностных и подземных водных ресурсов как среднее значение за период 2009-2013 гг. и рассчитаны коэффициенты использования водно-ресурсного потенциала в границах ландшафтных провинций Западной Сибири.

Анализ полученных результатов показал, что наибольшими объемами использования поверхностных речных вод характеризуются Кузнецко-Алатауская (более 1400 млн м³), Верхнеобская (794 млн м³), горно-таежная Урала (684 млн м³),

Сургутская (544 млн м³), Назаровская (527 млн м³), Североприаргинская (436,9 млн м³), Кузнецкая межгорно-котловинная (351,7 млн м³), Туринская (317,6 млн м³), Вахская (295,2 млн м³), горно-лесостепная Урала (292,9 млн м³), Западнобарабинская (206,1 млн м³), Зауральская (109,1 млн м³) ландшафтные провинции. При этом в 14 из 83 провинций использование речных вод не зарегистрировано по причине отсутствия постоянно проживающего населения. Среднее значение за период 2009-2013 гг. объема используемых речных вод одной провинции составляет 76,1 млн м³.

Из подземных водных источников используются воды преимущественно в Сургутской (316,6 млн м³), Тарко-Салесской (110,7 млн м³), горно-таежной Урала (109,7 млн м³), Кузнецко-Алатауской (77,0 млн м³), Кузнецкой межгорно-котловинной (76,8 млн м³), Верхнеобской (73,8 млн м³) и Североприаргинской (59,9 млн м³) ландшафтных провинциях. Использование подземных вод отсутствует в 16 провинциях (14 из них совпадают с провинциями, в которых отсутствует использование речных вод по причине отсутствия постоянного населения). Среднее значение объема используемых подземных вод в ландшафтных провинциях Западной Сибири за 2009-2013 гг. составляет 15,2 млн м³.

Результаты сопоставительного анализа ранее рассчитанных и опубликованных [6] показателей потенциальной водообеспеченности (на основе среднесуточных значений речного и подземного стока) и показателей использования водных ресурсов в ландшафтных провинциях Западной Сибири частично приведены в таблице, где представлены ландшафтные провинции, для которых коэффициенты использования водных ресурсов превышают 1 %.

Сопоставительный анализ объемов используемых вод из поверхностных водных объектов и имеющегося общего (с учетом транзитного стока) потенциала речных вод свидетельствует о наиболее напряженной водохозяйственной обстановке в горно-лесостепной Уральской, Назаровской, Кузнецко-Алатауской, Зауральской и горно-таежной Уральской провинциях. Коэффициенты использования общего речного стока здесь превышают 3,0 %, достигая максимальных значений в Назаровской и горно-лесостепной Уральской провинциях – 9,5 % и 16,2 % соответственно.

Сопоставительный анализ объемов используемых подземных вод и водно-ресурсного потенциала, рассчитанного по модулю подземного стока зоны интенсивного водообмена, показал, что наибольшую нагрузку на водные ресурсы испытывают территории, расположенные в Кузнецко-Алатауской, Тарко-Салесской, Кузнецкой межгорно-котловинной, Кулундинской, горно-степной Уральской, Зауральской, Сургутской, горно-лесостепной Уральской, Усть-Надымской, Североприаргинской, Тобол-Убаганской и Верхненыдской провинциях. Здесь коэффициенты использования подземных водных ресурсов превышают 3 %, достигая максимума в Кузнецко-Алатауской провинции – 19,7 %.

Для детализации оценок изъятия водных ресурсов в отдельных провинциях, где коэффициенты использования водных ресурсов превышают 5 % стока, были дополнительно рассчитаны реальные водные ресурсы и уровни их использования по методике, предлагаемой авторским коллективом Государственного гидрологического института [7] с привлечением данных Росгидромета.

По данным Росгидромета были выбраны многолетние ряды наблюдений за речными расходами таких нагруженных провинций, как Назаровская и Кузнецко-Алатауская. При этом реальные водные ресурсы оценивались исключительно за маловодный трехлетний период, а их использование – с учетом объемов безвозвратного водопотребления.

Таблица 1 – Использование водных ресурсов Западной Сибири в разрезе ландшафтных провинций (фрагмент)

№	Провинция	Использование водных ресурсов, млн м ³		Коэффициент использования ресурса, %	
		из поверхностных вод	из подземных вод	поверхностного	подземного
1	Усть-Обская	2,536	3,492	0,00	1,85
2	Усть-Надымская	1,653	13,793	0,01	3,71
3	Верхнеыдская	1,086	14,686	0,03	3,04
4	Горно-таежная Урала	684,300	109,488	3,01	2,83
5	Тарко-Салесская	12,036	110,747	0,05	8,40
6	Сургутская	544,363	316,600	0,23	4,08
7	Вахская	295,243	29,944	1,27	0,62
8	Туринская	317,555	49,207	1,74	1,47
9	Горно-степная Урала	16,473	14,466	1,66	5,39
10	Горно-лесостепная Урала	292,984	16,037	16,23	3,72
11	Зауральская	109,101	28,040	3,10	4,21
12	Тобол-Убаганская	11,401	2,041	1,34	3,30
13	Ишимская	11,478	5,399	0,46	1,03
14	Западнобарабинская	206,083	1,872	0,74	1,16
15	Теке-Кызылкакская	1,546	2,098	1,63	1,77
16	Южнобарабинская	6,863	1,614	0,03	1,33
17	Барабинская	20,996	12,958	0,84	2,94
18	Восточнобарабинская	0,822	2,861	0,09	1,49
19	Вьюновская	0,804	1,322	0,00	1,57
20	Североприаргинская	436,980	59,890	0,79	3,66
21	Кузнецкая межгорно-котловинная	351,769	76,828	1,23	8,31
22	Южноприаргинская	81,145	7,472	0,65	1,28
23	Назаровская	527,479	6,791	9,49	2,58
24	Кузнецко-Алатауская	1427,878	76,993	4,08	19,73
25	Кулундинская	9,242	27,607	1,28	5,45
26	Южноприалейская	35,192	18,429	0,46	1,97
27	Верхнеобская	794,052	73,813	1,30	2,91

В Назаровской ландшафтной провинции для оценки ресурсов речного стока использованы данные наблюдений по гидропосту р. Чулым – с. Тегульдет (рис. 1). За 1932-2006 гг. выбраны два маловодных периода 1963-1965 гг. с речными расходами 254-282 м³/с (среднее значение за три года 263,6 м³/с) и 1996-1998 гг. с речными расходами 196-214 м³/с (среднее значение за три года 207,3 м³/с).

При выходе на Назаровскую котловину Чулым из горной реки превращается в равнинную и делает так называемую Назаровскую петлю. На данном участке река характеризуется площадью водосбора 55,3 тыс. км². Гидропост в с. Тегульдет имеет расстояние до устья реки 598 км.

Для маловодных периодов коэффициент изъятия здесь может достигать 9,8 % при обеспеченности реальными водными ресурсами (с учетом безвозвратного водопотребления) 37,8-58,2 тыс. м³/чел. в год. Риск водопользования могут испытывать жители расположенных в ландшафтной провинции населенных пунктов с общей численностью населения около 130,0 тыс. чел.

В Кузнецко-Алатауской провинции для оценки ресурсов речного стока использованы данные наблюдений по гидропосту р. Томь – г. Новокузнецк (рис. 2). За 1894-2008 гг. выбраны два маловодных периода 1899-1901 гг. с речными расходами 366-581 м³/с (среднее значение за три года 472,3 м³/с) и 1980-1982 гг. с речными расходами 487-590 м³/с (среднее значение за три года 541,3 м³/с).

На данном участке река характеризуется площадью водосбора 29,8 тыс. км². Гидропост в г. Новокузнецк является замыкающим для водохозяйственного участка (ВХУ 13-01-03-002), имеет расстояние до устья реки 580 км. В пределах провинции данный ВХУ выбран нами неслучайно, антропогенная нагрузка здесь имеет высокие уровни, что показано нами в более ранних работах [8].

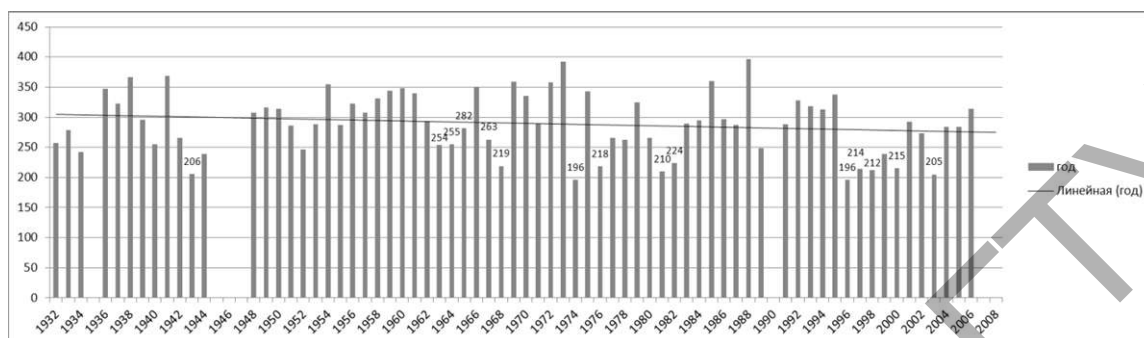


Рисунок 1 – Хронограф среднегодовых значений речных расходов р. Чулым (с. Тегульдэт) в Назаровской провинции, м³/с

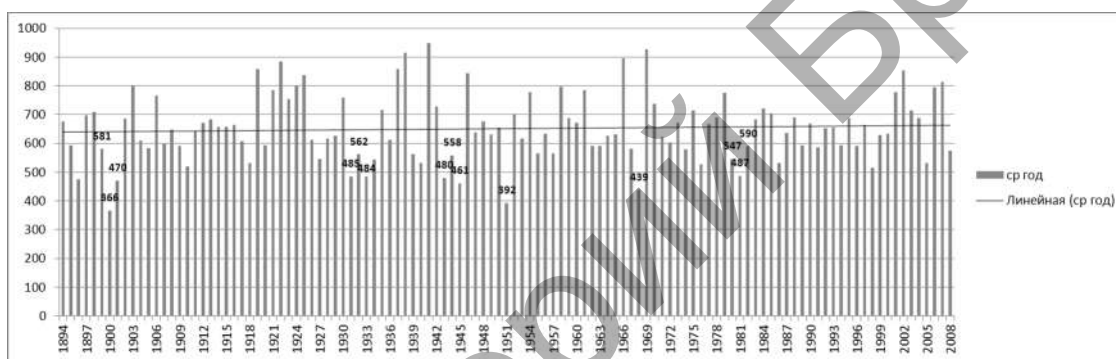


Рисунок 2 – Хронограф среднегодовых значений речных расходов р. Томь (г. Новокузнецк) в Кузнецко-Алтауской провинции, м³/с

Для маловодных периодов коэффициент изъятия здесь может достигать 9,7 % при обеспеченности реальными водными ресурсами (с учетом безвозвратного водопотребления) 13,7-15,8 тыс. м³/чел. в год. Риск водопользования могут испытывать жители расположенных в ландшафтной провинции городов: Новокузнецк, Мыски, Междуреченск, Калтан и другие с общей численностью населения около 1,0 млн человек.

Заключение

Анализ использования водных ресурсов в ландшафтных провинциях позволяет привести в соответствие два вида разнородной по обобщению информации: формирование ресурса и его использование. Приведение данных по использованию водных ресурсов к природным (ландшафтным) границам, в которых происходит формирование водно-ресурсного потенциала, способствует детализации оценок водообеспеченности населения, позволяя уточнить уровни нагрузок на отдельные водные объекты и водохозяйственные участки.

Список литературы

1. Винокуров, Ю.И. Региональная ландшафтная структура Сибири: монография / Ю.И. Винокуров, Ю.М. Цимбалей / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т вод. и экол. проблем; Мин-во образования и науки РФ, ГОУ ВПО «Алт. гос. ун-т», Геогр. фак. Барнаул: Изд-во АГУ, 2006. 95 с.

2. Винокуров, Ю.И. Принципы управления устойчивым водопользованием в бассейне реки Обь / Ю.И. Винокуров, И.В. Жерелина, Б.А. Красноярова // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: матер. Межд. науч. конф. Томск: Изд-во НТЛ, 2000. С. 608-614.

3. Винокуров, Ю.И. Физико-географическое районирование Сибири как основа разработки региональных систем природопользования / Ю.И. Винокуров, Ю.М. Цимбалей, Б.А. Красноярова // Ползуновский вестник. – 2005. – №4. – С. 3-13.

4. Цимбалей, Ю.М. Ландшафтно-бассейновый подход при оценке водных ресурсов / Ю.М. Цимбалей // Мир науки, культуры, образования. – 2008. – №4(11). – С. 13-15.

5. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicators/start.do> (дата обращения: 01.03.2015).

6. Рыбкина, И.Д. Оценка водообеспеченности регионов Западной Сибири / И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева, Л.А. Магаева, М.С. Губарев, В.Ф. Резников, Н.Ю. Курепина // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды Четвертой Всероссий. науч. конф. с межд. участием (г. Москва, 15-18 сентября, 2015 г.) / ИВП РАН: отв. Ред. Болгов М.В. Москва: ИВП РАН, 2015а. С. 512-514.

7. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. - СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.

8. Рыбкина, И.Д. Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) / И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева, Н.Ю. Курепина // Водное хозяйство России. –2011. – №4. – С. 42-52.

УДК 614.777

К ВОПРОСУ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ БАСЕЙНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЫРДАРЬЯ

Усманов И.А.

НИИ ирригации и водных проблем, г. Ташкент, Узбекистан.

islamabbasovich@gmail.com

*The article is devoted to hygienic standardization of sanitary-indicative microorganisms in water sources of centralized drinking water supply in the Republic of Uzbekistan. The norm of enterococci (*Str. Faecalis*) in water reservoirs for drinking water is recommended at the level of 100 microbial corpuscles in 1 liter of water, the norm of staphylococci (*St. Aureus*) – at the level of 500 microbial cells in 1 liter of water.*

Введение

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в качестве основных бактериологических показателей, характеризующих качество питьевой воды, рекомендует определение в воде общих колиформных бактерий и *E. Coli*. В ряде стран СНГ до настоящего времени, основным показателем, нормируемым в воде питьевого водопользования является определение глюкозоположительных колиформных бактерий и *E.Coli*, которые рассматриваются как показатели свежего фекального загрязнения воды.

Качество воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в Узбекистане регламентируется стандартом O'zDST 951:2011 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» [1]. Качество воды по микробиологическим показателям нормируется по установленной величине косвенных показателей и включает определение индекса бактерий группы кишечных палочек (БГКП) и общего микробного числа (ОМЧ) в воде.

Все возрастающее значение рекреационного водопользования, особенно в регионах с жарким климатом, ставит проблему предупреждения не только кишечных инфекций, но и заболеваний верхних дыхательных путей и кожных покровов. Известно, что у людей после контакта с загрязненной водой возникали аденовирусные заболевания, конъюнктивиты, стафилококковые инфекции. Это обуславливает необходимость регламентирования в воде водных объектов возбудителей инфекций верхних дыхательных путей и кожных покровов. В качестве санитарно-показательных микроорганизмов можно рекомендовать представителей кокковой микрофлоры (стафилококки), постоянно обитающих на кожных покровах и верхних отделах дыхательных путей [2,3,4].

Вышеизложенное свидетельствует о том, что существующий мониторинг качества воды водных объектов не в достаточной степени эффективен, не отвечает требованиям ИСО и не гарантирует эпидемической безопасности водоемов, используемых для хозяйственно-питьевых нужд и рекреации.

Основная часть

Цель исследований состояла в проведении комплекса экспериментов для обоснования регламентов дополнительных микробиологических показателей качества воды водных объектов бассейна среднего течения реки Сырдарья. Для этого были проведены эксперименты, включающие оценку индикаторной значимости санитарно-показательных микроорганизмов: *E. Coli*, лактозоположительных кишечных палочек (ЛКП), энтерококков (*Str. Faecalis*), стафилококков (*St. Aureus*) и их нормирование в воде водоемов хозяйственно-питьевого и рекреационного водопользования.

Установлено, что независимо от степени бактериального загрязнения воды, ее происхождения, концентрации модельных штаммов, продолжительности и вида инокуляции (совместный, отдельный) скорость отмирания штаммов примерно одинаковая.

Выживаемость лактозоположительных кишечных палочек (ЛКП) и *E. Coli* не превышает выживаемости в воде энтерококков и стафилококков. Динамика отмирания в воде модельных водоемов общепринятых санитарно-бактериологических показателей ЛКП и *E. Coli* и вновь изученных энтерококков и стафилококков примерно одинаковая и имеет тенденцию незначительного снижения к концу эксперимента.

Устойчивость индикаторных микроорганизмов к воздействию дезинфицирующих средств изучали в условиях моделей водоемов при воздействии на них хлора и фенола. Как известно, питьевая вода дезинфицируется различными соединениями хлора в зависимости от исходного качества воды и доводится до требований стандарта «Вода питьевая».

Фенол (или карболовая кислота) – гидроксильное производное ароматического углеводорода бензола. Обладает характерным запахом, антисептическими свойствами и является широко распространенным органическим загрязнителем поверхностных водоемов республики. Помимо этого, хлор и фенол обладают наиболее выраженным антибактериальным действием на микроорганизмы среди химических соединений. Вышеизложенное обусловило необходимость изучения бактерицидного действия этих широко используемых дезинфицирующих средств на жизнедеятельность индикаторных микроорганизмов.

В качестве сапрофитных микроорганизмов использовали естественную микрофлору речной воды, взятой для опыта. При этом физико-химический состав речной воды соответствовал требованиям стандарта 951:2011. Объем воды в модельных водоемах составлял не менее 3 литров. Антибактериальное действие дезинфицирующих веществ изучали при температуре 23-25⁰С, что соответствует температуре воды в летне-осенний период года. Расчет концен-

трации микроорганизмов производили путем определения плотности суспензии суточных агаровых культур в изотоническом растворе по стандарту мутности с последующим разведением в стерильной водопроводной воде до необходимой концентрации. Суспензию каждого штамма готовили отдельно. За исходное число микроорганизмов в модельных водоемах принимали фактическое, определяемое путем посева воды сразу же после внесения тест-культур.

Антибактериальное действие хлора изучали в концентрациях 0,5; 1,5; и 3,0 мг/дм³. При этом учитывали, что при дезинфекции воды в городских водопроводах концентрация остаточного хлора в воде должна быть на уровне 1,5 мг/дм³, а в сельских водопроводах, так как здесь часто проводят гиперхлорирование, концентрация хлора в воде намного превышают его допустимый уровень. Действие фенола на отмирание микроорганизмов изучали в концентрациях 0,02; 0,1 и 0,5 мг/дм³. При этом учитывали, что ПДК фенола в воде водных объектов установлен на уровне 0,1 мг/дм³. Оценку результатов проводили путем сравнения скорости отмирания микроорганизмов в модельных водоемах по отношению к контролю.

Исследователями установлено, что хлор в концентрации 3 мг/л оказывает высокий бактерицидный эффект. За первые сутки наблюдения число ЛКП снизилось в 4 раз, *E. Coli* – в 2,72 раз, энтерококков – в 2,35 раз и стафилококков – в 2,31 раз. Динамика отмирания микроорганизмов при воздействии хлора в концентрации 1,5 мг/дм³ была аналогичной, но менее выраженной. Ещё менее выраженная динамика отмирания микроорганизмов на моделях водоёмов отмечена при воздействии хлора в концентрации 0,5 мг/дм³. Установлено, что наиболее устойчивыми являются энтерококки (*Str. Faecalis*) и стафилококки (*St. Aureus*). Наименее устойчивыми являются ЛКП.

Полученные результаты подтверждены следующей серией экспериментов, в которых изучено антибактериальное действие фенола. Фенол в концентрации 0,1 мг/л (на уровне ПДК) оказывал заметный бактерицидный эффект. Число ЛКП к концу эксперимента снизилось в 2,8 раз; *E. Coli* – 3 раз; энтерококков – 1,69 раз и стафилококков – 1,76 раз. Этой серией экспериментов также установлено, что менее устойчивыми микроорганизмами к воздействию фенола являются ЛКП.

Выполненные экспериментальные исследования дают основание считать, что изученные индикаторные микроорганизмы обладают различной устойчивостью к действию дезинфицирующих химических веществ, используемых в водопроводной практике. Отмечается прямая взаимосвязь отмирания микроорганизмов в воде в зависимости от времени и концентрации химических дезинфицирующих воду веществ. Среди изученных тест-микрорганов наиболее устойчивыми к бактерицидному действию химических веществ является *Str. Faecalis*, индикаторное значение которого по сравнению с ЛКП и *E. Coli* более выражено. Наименее устойчивыми микроорганизмами по отношению к хлору и фенолу, независимо от времени экспозиции и концентрации химических веществ, являются лактозоположительные кишечные палочки.

Следующая серия экспериментов была направлена на проведение нормирования микробного загрязнения воды хозяйственно-питьевого и рекреационного водопользования. Как известно критерием эпидемической безопасности воды является отсутствие изменений в состоянии здоровья населения, обусловленных возбудителями кишечных инфекций, распространяющихся водным путем. Экспериментальные исследования выполнены на моделях водоёмов согласно «Методическим рекомендациям по нормированию микробного загрязнения водных объектов», разработанных НИИ стандартизации, метрологии и сертификации совместно с НИИ ирригации и водных проблем, утвержденных Министерством здравоохранения Республики Узбекистан .

В качестве нормируемых показателей использовали индикаторные микроорганизмы: энтерококки (*Str.Faecalis*) и стафилококки (*St. Aureus*).

Методология регламентирования энтерококков и стафилококков в воде водоёмов предусматривала проведение двух серий экспериментов. В первой серии опытов наблюдали за жизнедеятельностью и отмиранием микроорганизмов в течении 30 суток (1, 5, 10, 20, 30) в условиях моделей водоёмов. В качестве тест-микроорганизмов изучали: ЛКП, *E. Coli*, *Str.Faecalis*, *S.Typhi*, *Sh.Flexneri*. Во второй серии экспериментов тест-микроорганизмами служили: ЛКП, *E. Coli*, *St. Aureus*, *S. Typhi*, *Sh.Flexneri*. Концентрации микроорганизмов в воде модельных водоёмов создавали исходя из результатов натурных исследований по количественному распространению индикаторных и патогенных микроорганизмов в воде поверхностных водоёмов бассейна среднего течения реки Сырдарья: рек Чирчик, Ахангаран и Геджикент. С этой целью в эксперименте были испытаны максимальные (река Геджикент), минимальные (река Чирчик) и средние (река Ахангаран) концентрации санитарно-показательных микроорганизмов и патогенных энтеробактерий при их совместном присутствии при температуре 23-25⁰ С.

В качестве разводящей воды использовали речную воду выше сброса промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Качество воды, при этом, соответствовало требованиям Санитарных правил и норм (СанПиН) 0172-04 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод на территории Республики Узбекистан» и O,zDST 951:2011. Динамику отмирания микроорганизмов рассчитывали по отношению к контролю. Концентрации микроорганизмов выражались в логарифмах (lg) клеткообразующих единиц (КОЕ) в 1 литре воды.

Результаты экспериментальных исследований показали, что в I серии опытов на моделях водоёмов установлена выраженная динамика отмирания изучаемых штаммов микроорганизмов, которая зависит от инфицирующей концентрации возбудителей и продолжительности эксперимента. К 30 суткам количество лактозоположительных кишечных палочек снижается до десятков при исходной концентрации (1 сутки опыта) в воде lgКОЕ 7,6. Уменьшение исходной концентрации ЛКП в воде на 1–2 порядка приводит к её снижению на 20 сутки в пределах lgКОЕ 1,8–2,3. А на 30 сутки отмечен отрицательный рост микроорганизмов в питательных средах.

Более устойчивыми, в сравнении с ЛКП, являются *E. coli*. Так, если на 1 сутки эксперимента её величины составляли lgКОЕ 6,1, то к концу опыта – lgКОЕ 1,7. При уменьшении инфицирующей концентрации на порядок величина lgКОЕ к 30 суткам составляла 0,8.

Еще более устойчивыми к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды, являются энтерококки. К концу эксперимента отмечали наличие их в воде в пределах lgКОЕ 0,7-2,2. Салмонеллы, и особенно шигеллы, являются наименее устойчивыми и отмирают уже на 20 и 10 сутки эксперимента в зависимости от величины исходной концентрации в воде.

Аналогичные результаты получены во второй серии экспериментов. С помощью этих исследований установлено, что стафилококки являются менее устойчивыми по сравнению с *E.coli*, но более жизнеспособными, чем лактозоположительные кишечные палочки. К 30 суткам наблюдения величины стафилококков в воде составляли несколько десятков в 1 dm³. На основании выполненных экспериментальных исследований установлено, что индикаторами возбудителей сальмонелл и шигелл могут быть не только лактозоположительные палочки и *E.coli*, но и энтерококки, которые к тому же являются более устойчивыми к воздействию физических, химических и биологических факторов. Индикаторным показателем качества воды водных объектов рекреационного водопользования населения являются стафилококки.

Заключение

Научно обоснованы регламенты допустимого содержания энтерококков (*Str. Faecalis*) в воде водных объектов хозяйственно-питьевого водопользования на уровне 100 м.т. в 1 dm³ воды и стафилококков (*St. Aureus*) – на уровне 500 м.т. в 1 dm³ в воде водоёмов рекреационного назначения. Наличие этих микроорганизмов в воде в концентрациях, превышающих допустимые регламенты свидетельствует об ограничении или запрещении дальнейшего использования водного объекта. Использование таких водоёмов возможно только после их соответствующей обработки дезинфицирующими средствами и проведения контрольных санитарно-бактериологических анализов воды по рекомендуемым показателям.

Таким образом, для оценки качества воды водных объектов бассейна среднего течения реки Сырдарья по санитарно-бактериологическим показателям, наряду с проведением обязательных микробиологических анализов на наличие ЛКП и *E. Coli*, рекомендуем также определение в воде энтерококков (*Str. Faecalis*) и стафилококков (*St. Aureus*).

Список литературы

1. O'zDST 951:2011 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. – Ташкент. – 2011. – 12 с.
2. Алёшня, В.В., Журавлев, П.В., Яловина, С.В. // Особенности индикаторного значения бактериологических показателей при оценке качества воды в отношении эпидемической безопасности в условиях зарегулированного водоёма. 5 Международный Конгресс «Вода: Экология и технология». – М., 2002. - С.705 – 706
3. Калашников, И.А., Куличенко, О.А. // Водоснабжение из поверхностных водоёмов – потенциальная угроза здоровью водопользователей. 7 Международный Конгресс «Вода: Экология и технология». – М., 2006. – С.916-917.
4. Файзиева, Д.Х., Усманов, И.А., Бекжанова, Е.Е., Мусаева, А.К. // Изучение выживаемости энтерококков и стафилококков в воде в условиях эксперимента.- Бюллетень ассоциации врачей Узбекистана. – 2007. – №3. – С.84-85.

УДК 614.777:579

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНИТОРИНГА ЗА СОСТОЯНИЕМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАСЕЙНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЫРДАРЬЯ

Усманов И.А.

НИИ ирригации и водных проблем, г Ташкент, Узбекистан

islamabbasovich@gmail.com

In article you can see research results of Akhangaran river's water quality. Feature of research is that Almalyk Mining and Metallurgical Combine located on the Akhangaran river basin. Authors worked out recommendations about protection of reservoir from further contamination with poorly cleaned industrial wastewaters. The recommendations were approved by the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan.

Введение

В организации и проведении мониторинга поверхностных вод, используемых для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования населения, наиболее эффективным является бассейновый подход. Их количественные и качественные характеристики определяется целой совокупностью природных и антропогенных факторов [1].

Выявить взаимосвязи между изменением качества воды водных объектов и составом сбрасываемых сточных вод возможно только при анализе и исследовании закономерностей поступления антропогенного и техногенного загрязнения [2]. При этом важно установить, что антропогенное воздействие на водоёмы складывается из блока промышленных предприятий, хозяйственно-бытовых сточных вод, а также микробного загрязнения воды в зонах рекреации [4].

Среди наиболее важных факторов, влияющих на состояние здоровья населения, ведущее место занимает водоснабжение и качество воды водных объектов питьевого и рекреационного назначения. Особую опасность представляет химическое загрязнение источников водоснабжения. Для организма человека являются опасными такие токсичные металлы, как свинец, цинк, марганец, медь, кобальт, молибден, железо [3].

Основная часть

Целью настоящих исследований явилось изучение качества воды реки Ахангаран, в бассейне которой функционирует крупнейшее в республике предприятие по извлечению и добыче из горной породы различных металлов – Алмалыкский горно-металлургический комбинат (АГМК).

Для исследования качества воды реки Ахангаран было установлено три основных створа.

Створ №1 расположен выше сбросов промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод городской канализации. Створ № 2 установлен на участке реки Ахангаран ниже сброса производственных стоков АГМК, смешанных с хозяйственно-бытовыми сточными водами города Ахангаран. Створ №3 установлен в устьевом участке реки Ахангаран, выбран для характеристики качества воды реки перед её впадением в реку Сырдарья.

Река Ахангаран используется для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Ангрен, Ахангаран, Аккурган и нецентрализованного водоснабжения ряда сельских населенных пунктов. Она формирует качество грунтовых вод Сартамгалинского, Карахтайского и Ташского водозаборов, используемых для централизованного водоснабжения города Алмалык и для производственных нужд Алмалыкского промышленного района.

Анализы качества воды выполнены в Лаборатории гидроэкологии и охраны водных ресурсов Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем Министерства сельского и водного хозяйства республики Узбекистан.

Анализ качества воды реки Ахангаран в установленных створах наблюдения показал значительную степень её загрязнения.

Цветность воды значительно увеличивается на участках, принимающих производственные и хозяйственно-бытовые стоки, имея сезонную динамику с максимумом в летне-осенний период года и минимумом в зимний. На этих же участках водоисточника отмечалось ухудшение качества воды по органолептическим свойствам с максимумом летом и минимумом зимой.

Активная реакция воды достоверно снижается в створе, подверженного влиянию выбросов АГМК. Дефицит растворенного в воде кислорода чаще возникает летом и осенью на фоне высокой температуры окружающей среды и уменьшения водности реки. По мере продвижения воды в реке дефицит кислорода в ней в большинстве случаев уменьшается. В отдельных пробах воды летом его величина достигает 50–55% насыщения, что обусловлено особенностями гидрологического режима водотока и увеличением в этот период года реальный антропогенной нагрузки.

В процессе продвижения воды содержание органических веществ значительно колеблется. На начальных участках реки Ахангаран (створ № 1) их со-

держание в воде не превышает допустимые концентрации, что заметно по показателям биологического потребления кислорода (БПК) и химического потребления кислорода (ХПК).

Наиболее интенсивное загрязнение водоисточника наблюдается на участке реки, принимающей производственные и хозяйственно-бытовые стоки (створ № 2). Величины БПК и ХПК увеличиваются в этом створе в 3,2–8,1 раза. Максимальные значения загрязнений в этом створе приходятся на летний и осенний периоды года. Летом и осенью, в связи с возрастанием воздействия на водный объект уровней суммарного загрязнения, ухудшаются процессы самоочищения. Об этом свидетельствует тенденция увеличения величин БПК и ХПК.

Динамика процессов нитрификации, как известно, также характеризует интенсивность и направленность процессов самоочищения воды от органического загрязнения. Концентрации соединений азота имеют выраженный минимум в начальном участке, где речная вода менее интенсивно загрязнена органическими веществами. Тенденция увеличения концентраций азотсодержащих веществ отмечается в створе № 2, приближаясь по динамике к изменению величин БПК и ХПК.

Оценка качества воды реки Ахангаран, проводившаяся по ингредиентам, нормируемым по санитарно-токсикологическим и санитарно-химическим признакам вредности, выявила значительное загрязнение речной воды в створе водопользования, расположенном в 1 км ниже по течению реки, после сброса промышленных сточных вод.

Концентрации токсических металлов превышали установленные на них гигиенические нормативы по содержанию в воде свинца, молибдена, марганца, меди, железа, кобальта, цинка. Такое положение обусловлено низкой санитарно-технической эффективностью работы очистных сооружений АГМК и сбросом недостаточно очищенных промышленных стоков в водоём.

Проведен расчет допустимых уровней суммарной нагрузки токсических металлов на водоём по критериям самоочищения в соответствии с разработанными нами математическими моделями с известными величинами коэффициентов множественной регрессии.

Установлено, что сброс сточных вод АГМК не окажет неблагоприятного влияния на процесс БПК, если концентрация меди в воде будет на уровне 0,33 мг/дм³ (в 3 раза ниже ПДК). Концентрации свинца, цинка, железа, марганца, молибдена и кобальта могут быть в пределах ПДК (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние токсичных металлов на качество воды реки Ахангаран по критериям самоочищения соответствует величинам ПДК в воде водоемов

Показатели, мг/дм ³	Критерии самоочищения воды				
	БПК ₅	ХПК	Азот аммиака	Азот нитритов	Азот нитратов
Свинец	0,03*	0,01	0,03*	0,03*	0,03*
Цинк	1,0*	0,04	1,0*	1,0*	0,15
Медь	0,33	0,05	0,44	1,0*	0,17
Железо	0,3*	0,01	0,3*	0,3*	0,07
Марганец	0,1*	0,06	0,1*	0,1*	0,1*
Молибден	0,25*	0,02	0,15	0,24*	0,05
Кобальт	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*

По критериям ХПК концентрация свинца в воде должна быть ниже допустимой величины в 3, цинка в 25, меди в 20, железа в 30, марганца в 1,7 и молибдена в 12,6 раз. Кобальт может присутствовать в воде на уровне его гигиенического норматива.

По критериям аммонификации и нитрификации также получены данные, свидетельствующие о том, что наличие в воде токсических металлов при их совместном присутствии в воде даже в пределах ПДК не обеспечит нормальное течение процессов самоочищения воды.

В соответствии с требованиями санитарных правил и норм по охране поверхностных вод от загрязнения сточными водами (СанПиН РУз № 0056-06, 2006) при поступлении нескольких веществ с одинаковым лимитирующим показателем вредности (ЛПВ) предельно допустимая концентрация каждого из них должна быть снижена на сумму концентраций этих веществ в воде. С учетом этих требований рассчитаны величины допустимого содержания токсических металлов при их совместном содержании в воде.

Безопасные условия водопользования из реки Ахангаран могут быть обеспечены при содержании в воде цинка на уровне $0,04 \text{ мг/дм}^3$, меди $0,05 \text{ мг/дм}^3$, железа $0,01 \text{ мг/дм}^3$, марганца $0,06 \text{ мг/дм}^3$ и молибдена $0,02 \text{ мг/дм}^3$. Концентрации химических веществ соответственно в 12,5; 4,0; 6,0; 1,3 и 2,5 раз ниже ПДК, установленных с учетом ЛПВ. Величины свинца и кобальта совпадают с нормативами их содержания в воде (таблица 2).

Таблица 2 – Максимально допустимая нагрузка (МДН) суммарного загрязнения воды реки Ахангаран токсичными металлами

Показатели мг/дм^3	ПДК, мг/дм^3	ПДК по ЛПВ, мг/дм^3	МДН, мг/дм^3
Свинец	0,03	0,006	0,01
Цинк	1,0	0,50	0,04
Медь	1,0	0,20	0,05
Железо	0,3	0,06	0,01
Марганец	0,1	0,08	0,06
Молибден	0,25	0,05	0,02
Кобальт	0,1	0,02	0,02

Содержание в воде реки Ахангаран свинца, цинка, меди, марганца, молибдена, кобальта в концентрациях, превышающих допустимые уровни, обуславливает риск развития различных заболеваний у населения, использующего речную воду для хозяйственно-питьевых целей.

Ниже по течению река Ахангаран принимает городские хозяйственно-бытовые стоки, а её прибрежная территория используется для рекреационных, спортивных и оздоровительных нужд.

В связи с этим, помимо токсического, имеется также риск здоровью людей, обусловленный возможностью воздействия на организм биологического фактора. Таким образом, река Ахангаран, используемая как источник хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования населения, представляет потенциальную опасность для здоровья в связи с содержанием в воде токсичных элементов в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации.

Во многих случаях наличие в воде токсичных элементов даже на уровне ПДК с учетом одинакового лимитирующего признака вредности (ЛПВ) не обеспечивает безопасных условий водопользования, так как величина максимально допустимой нагрузки (МДН) металлов по критериям самоочищения воды установлена на более низких пределах.

Заключение

Установлен уровень максимально допустимой нагрузки на реку Ахангаран токсичных металлов при их совместном присутствии в воде, имеющих одинаковый лимитирующий показатель вредности для организма человека и животных: для свинца 0,01; цинка 0,04; меди 0,05; железа 0,01; марганца 0,06; молибдена

0,02 и кобальта 0,02 мг/дм³. При условии содержания в воде водоёма таких концентраций металлов могут быть обеспечены безопасные условия водопользования населения.

На основании результатов исследований разработаны рекомендации по охране водных объектов в районах расположения предприятий цветной металлургии, утвержденные Министерством здравоохранения Республики Узбекистан (№ 012-3/0283 от 08.08. 2013г.).

Список литературы

1. Вильдяев, В.М., Лагунов, О.Ю. // Бассейновый подход в картировании медико-экологических рисков, связанных с качеством питьевой воды. 7-ой Международный конгресс «Вода: Экология и технология». – М., 2006. - С. 910.

2. Гурвич, В.Б., Белоконова, Н.А., Корюкова, Л.В., Глинских, Н.П. // Критерии качества и безопасности питьевой воды. – М., 2002. – С.745–746.

3. Новиков, С.М., Шанина, Т.А., Скворцова, Н.С. // Проблемы оценки рисков здоровью населения, связанных с питьевой водой. 7-ой Международный конгресс «Вода: Экология и технология». – М., 2006. – С. 948–949.

4. Талаева, Ю.Г. Оценка надежности бактериологических показателей при контроле качества питьевой воды. М. : Медицина, 2006. – 123 с.

УДК 551.492

ОДНОВРЕМЕННОЕ БИОЛОГИЧЕСКОЕ УДАЛЕНИЕ СОЕДИНЕННЫЙ АЗОТА И ФОСФОРА ИЗ КОММУНАЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Чобану Н. Унгуряну Д.

Технический университет Молдовы, г. Кишинев, Республика Молдова
ciobnata@hotmail.com, dumitru42@yandex.com

Purpose of the work is to develop efficient technology and facilities to eliminate nitrogen and phosphorus compounds from wastewater and operation of recommended procedures required for the design and calculation of installations to their implementation in practice wastewater treatment. Keywords: removal of nutrients (nitrogen and phosphorus), biological wastewater treatment, anaerobic processes, anoxic and aerobic bioreactors.

Введение

За последние несколько лет был разработан ряд биологических процессов, направленных на одновременное снижение азота и фосфора. Во многих из них используют преимущественно активный ил, дополнительные комбинации зон или анаэробные, аноксидные и аэробные отсеки для обеспечения удаления азота и фосфора [1].

Основная часть

Процес A2/O с нитрификацией-денитрификацией [1, 2] является модификацией процесса A/O, содержащего 3 различные зоны: анаэробную, аноксидную и аэробную. Предположим, что не требуется удаление фосфора, анаэробная зона служит для инициирования процессов нитрификации-денитрификации, под названием анаэробный селектор. Это способствует развитию селективных полезных микроорга-

низмов и подавлению роста тех, нитчатых, которые могут возникнуть в зонах анак-сидной и аэробной части биореактора. Коэффициент внутренней рециркуляции может составлять от 100-300%, а по внешней рециркуляции 30-50% (рисунок 1).

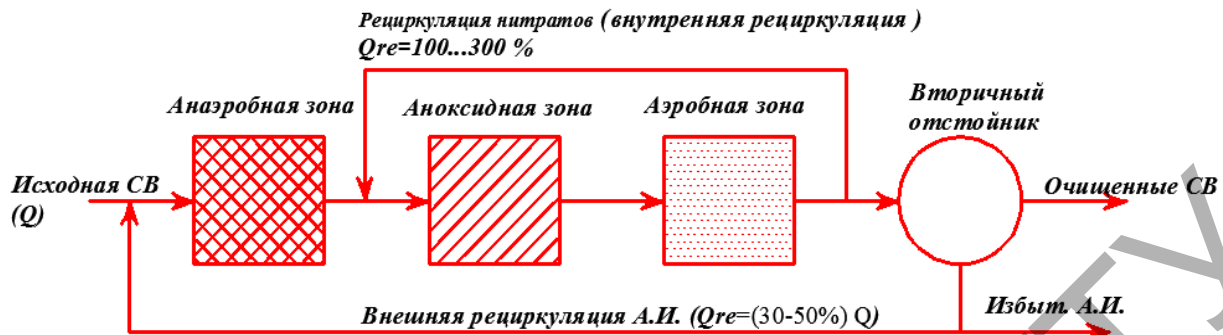


Рисунок 1 – Технологическая схема процесса очистки сточных вод

Процесс Vardenpho [1, 2], изначально разработанный для обеспечения нитрификации-денитрификации, в стадии биологической очистки включал четыре последовательных зоны: анак-сидную, аэробную, анак-сидную, аэробную (рисунок 2), которые могут удовлетворить условиям высокой эффективности в удалении соединений на основе азота. Различают две схемы рециркуляции:

- внутренняя рециркуляция между первой аэробной и первой анак-сидной зоной. В этом случае коэффициент рециркуляции может достигать 400%;
- внешняя рециркуляция между вторичным отстойником в начале первой анак-сидной зоны, с коэффициентом рециркуляции, максимум 100%.

Эта технология может быть модифицирована таким образом, чтобы достичь и биологической дефосфатизации путем применения анаэробного резервуара перед первым анак-сидным резервуаром (рисунок 3). В этом случае внешняя рециркуляция будет осуществлена перед анаэробным резервуаром. Последовательность этапов и методов рециркуляции отличается от процесса A2/O введением следующих трех отсеков: аэробный, анак-сидный 1, аэробный – для задержания азота, фосфора и окисления углерода; анак-сидный отсек 2, для дополнительной денитрификации, используют нитрат, производимый на аэробной стадии, как электрон-акцептор и органический эндогенный углерод в качестве электрон-донора; последний отсек, аэробный, используется для снятия остаточного газообразного азота из раствора и уменьшения выделения фосфора в конечном осветлителе. Смесь из первой аэробной зоны рециркулируется в анак-сидную зону. При этом используется более длительное время удержания ила (10–40 дней) по сравнению с процессом A2/O, что увеличивает потенциал окисления углерода.

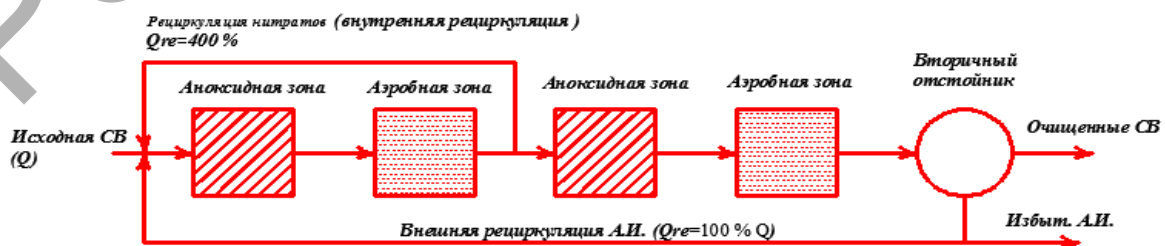


Рисунок 2 – Схема процесса очистки Vardenpho с нитрификацией – денитрификацией в четыре ступени

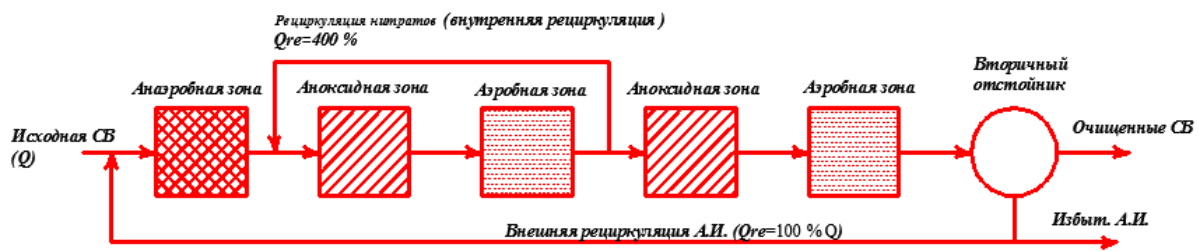


Рисунок 3 – Схема процесса очистки Vardenpho с нитрификацией - денитрификацией и дефосфоризацией

Процесс UCT (разработан в Техническом университете Кейптауна) [1, 2] (рисунок 4) - эта система аналогична процессу A2/O, с двумя исключениями:

- рециркуляция активного ила богатого нитратами из аэробной зоны в аноксидной зоне (коэффициент рециркуляции r_1 - 100-200%);
- дополнительная рециркуляция жидкости из аноксидной зоны в анаэробную зону (коэффициент рециркуляции r_2 = 100-200%).

При возврате активного ила в аноксидную стадию устраняется введение нитрата в анаэробную зону, тем самым устраняя фосфор в анаэробной зоне. Внутренняя рециркуляция позволяет увеличить эффективность использования органических веществ в анаэробной зоне. Смесь из аноксидной стадии содержит высокие концентрации органических растворимых веществ, но в ней мало нитратов. Рециркуляция аноксидной смеси предусмотрена для реализации оптимальных условий брожения, что имеет место на анаэробной стадии. Внешний коэффициент рециркуляции может изменяться от 50 до 100%.

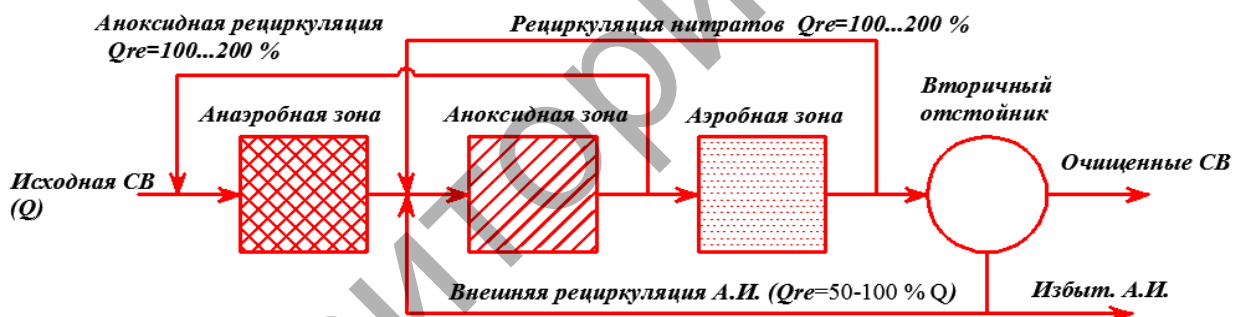


Рисунок 4 – Схема процесса очистки UCT

Модели Activated Sludge Models [3], предложенные группой исследователей International Water Association (IWA), считается основой математических моделей для биологической очистки сточных вод. Группа IWA предложила четыре математические модели: Activated Sludge Model No. 1, 2, 2d и 3 (ASM1, ASM2, ASM2d, ASM3). ASM1 и ASM3 описывает окисление органического углерода, нитрификацию и денитрификацию, в то время как ASM2 и ASM2d включают в себя и удаление фосфора.

Модель ASM1 учитывает два вида бактерий (гетеротрофных и автотрофных) и опирается на восемь фундаментальных биохимических процессов, описанных в кинетической модели, типа Monod: рост гетеротрофной биомассы в аэрируемых условиях, рост гетеротрофной биомассы в аноксидных условиях, рост биомассы, автотрофной, в газированных условиях, деградация гетеротрофной биомассы, деградация автотрофной биомассы, аммонификация растворимого органического азота, гидролиз твердого органического вещества и гидролиз твердого органического азота.

Далее сточные воды, очищенные от БПК, попадают в аэробную (оксидную) зону IV, где автотрофные микроорганизмы активного ила осуществляют нитрификацию аммонийного азота, содержащегося в биологически очищенной от БПК сточной воде.

Для реализации этой концепции предлагается использование резервуаров существующих аэротенков с реконструкцией отдельных бассейнов с разделенными зонами, упомянутыми выше.

Заключение

Общий анализ преимуществ всех этих процессов показывает, что количество образующегося осадка сопоставимо с образованием ила в обычных системах очистки сточных вод с активным илом и, что не менее важно, требует очень мало или совсем не требует химических реагентов для удаления фосфора. Некоторые из этих процессов, в измененной форме, могут быть использованы для задержания только фосфора или только азота.

Список литературы

1. Ovidiulanculescu, Gh.Ionescu, R.Racovițeanu. Epurarea apelor uzate, Editura. Matrix ROM, București, 2001. ISBN 973-685-333-0, 247 pagini.
2. Ungureanu D. Eliminarea nutrienților din apele uzate la stațiile de epurare din localitățile canalizate. (Удаление биогенных элементов из сточных вод на очистных сооружениях канализованных мест). Chișinău, Ed. Bons Offices, 2005, 71 p.
3. Metcalf and Eddy, Inc. Wastewater Engineering. Treatment and Reuse (Fourth Edition). McGraw-Hill Higher Education, 2003, 1819 p.
4. Мишуков, Б.Г., Соловьева, Е.А. Удаление азота на очистных сооружениях городской канализации. Санкт-Петербург: Изд-во Журнал «Вода и экология. Проблемы и решения», – 2004. 8 с.
5. Grady C.P. Lesley Jr., Daigger Glen T., Lim Henry C. Biological Wastewater Treatment (Second Edition). Marcel Dekker, Inc. 1999, 1076p.
6. Rittman, Bruce E., McCarty Perry L. Environmental Biotechnology: Principles and Applications. McGraw-Hill, C. Inc., 2001, 754 p.
7. Ovidiu Ianculescu, Gh.Ionescu, R.Racovițeanu. Epurarea apelor uzate, Editura. Matrix ROM, București, 2001. ISBN 973-685-333-0, 247 pagini.
8. ТЭО-ТЭР реконструкции Кишиневской станции очистки сточных вод. VP-Kinetic, Klatovy, ČR, 2005.
9. Directive 91/271/EEC on Urban Waste Water Treatment.
10. Directive 98/15/EEC amending directive 91/271/EEC.

УДК 628.33

РЕАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД СЕРНОКИСЛЫМ АЛЮМИНИЕМ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФОСФОРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Ющенко В.Д.1, Галузо А.В.2

¹ Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Республика Беларусь, yuvd46@mail.ru

² УП «Витебскводоканал», г. Витебск, Республика Беларусь, galuzo.anna@mail.ru

The article describes results of research on the chemical removal of phosphorus compounds from wastewater by using aluminum sulfate. Are determined input points of the reagents in the technological scheme of wastewater treatment plant in the UP "Vitebskvodokanal". The analysis of their characteristics is done and selection of basic kinds and types of reagents to achieve the required residual concentration of phosphorus in the treatment of a mixture of household and industrial wastewaters. A technique for research, conducting experiments, analyzed of the results.

Введение

Сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод в водоёмы приводит к нарушению в них экологического равновесия с перестройкой биоценоза водоёма и может заканчиваться полной гибелью аэробных организмов и развитием процессов гниения. В настоящее время к очистным сооружениям предъявляются более жесткие требования защиты водных источников от поступления биогенных элементов и токсических веществ [1,2].

Биогенные элементы, прежде всего азот и фосфор, представляют собой вещества, постоянно входящие в состав различных организмов и играющие большую роль в процессах их жизнедеятельности. Но поступление их повышенных концентраций в водоемы и водостоки нарушают в них естественные условия существования экосистем. В результате отрицательных воздействий азота и фосфора постепенно в водоеме начинают преобладать анаэробные процессы, которые сопровождаются образованием ядовитых веществ (фенолы, сероводород и метан). В итоге уничтожается большая часть аэробной флоры и фауны [3].

Для удаления азотных соединений в процессе очистки городских сточных вод, в основном, используется метод биологической нитрификации – денитрификации [4]. Сочетание этих процессов приводит к снижению общего азота, как правило, до требуемых нормативных значений.

Для извлечения общего фосфора из сточных вод могут быть использованы физические, физико-химические, биологические методы, а также их комбинации [2]. Причем, для глубокого удаления фосфора, менее 1 мг/л, желательно использовать реагентную коагуляцию сточных вод с применением растворимой соли алюминия или железа, реже – известь, можно также использовать отходы производств с содержанием этих веществ [6].

При обработке сточных вод сернокислым алюминием удаление соединений фосфора происходит вследствие выпадения в осадок нерастворимых фосфатов, а также сорбции сложных фосфатов и органических соединений фосфора на хлопьях гидроокисей Al (OH)₃, образующихся в результате гидролиза солей. Для растворимых ортофосфатов реакция непосредственного взаимодействия сернокислого алюминия в области величины pH 6,5-8,0 может быть следующей:



Объектом исследования является станция аэрации УП «Витебскводоканал» и реальная сточная вода, отбираемая в различных точках по технологической схеме ее обработки. На станцию аэрации УП «Витебскводоканал» поступает смесь хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, причем их количество и состав подвергаются постоянному изменению в соответствии с экономической ситуацией в республике [3]. Анализ состава сточных вод показывает, что доля сточных вод хозяйственно-бытового назначения составляет порядка 65-70%, следовательно, доля промышленных стоков – 30–35%. В настоящее время объем поступления смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод равен порядку 75–90 тыс. м³/сут. По данным 2013–2015 гг. средние показатели сточных вод составляют: взвешенные вещества – 385 мг/дм³, ХПК – 780 и БПК₅ – 250 мгО₂/дм³, азот по Кьельдалю – 60 и фосфор общий – 6 мг/дм³.

Цель работы

Определить эффективность воздействия различных типов коагулянтов в лабораторных условиях на удаление фосфора для различных точек их ввода по технологической схеме обработки сточных вод.

Методика проведения исследований. В качестве реагентов были использованы виды и сорта сернокислого алюминия различных поставщиков (таблица 1).

Таблица 1 – Массовая доля основного вещества (%) в сернокислом алюминии

№ п/п	Производитель (Поставщик)	Реагенты (условные обозначения)	Массовая доля основного вещества, %
1	СП «КСАНТ» ООО РБ, г. Гомель	Алюминия сульфат, Al ₂ (SO ₄) ₃ . ТУ BY400258949.003-2005. Гранулированный, второй сорт.	16
2	СП «КСАНТ» ООО РБ, г. Гомель	Алюминия сульфат, Al ₂ (SO ₄) ₃ . ТУ BY400258949.003-2005. Водный раствор.	7,7
3	КЕМИПОЛ (ЧТУП «ВЕГЛО-СТАЛ») Польша	Алюминия сульфат, Al ₂ (SO ₄) ₃ . Марка ALS. Водный раствор.	7,9

Лабораторные исследования по реагентной обработке сточных вод выполнялись по методике, обеспечивающей условия моделирования производственных процессов очистки воды: смешение рабочих растворов реагентов и сточной воды, продолжительность проведения гидролиза соли и отстаивание.

Лабораторная установка представляет собой автоматическую установку для перемешивания воды с реагентом в четырех мерных сосудах емкостью 0,5 л.

Последовательность выполнения работы:

1. Для проведения каждого опыта отбиралось по технологической схеме обработки стоков на очистных сооружениях в предполагаемых точках ввода реагентов около 10 л реальной сточной воды.

2. В пробе исходной воды определялись величина pH и содержание общего фосфора.

3. Исследуемую воду заливали в мерные цилиндры до метки 500 мл. Затем в каждый цилиндр пипеткой добавляли различное количество 1% раствора сернокислого алюминия по активному веществу.

4. После этого воду в цилиндрах перемешивали в течение 20...30 сек. со скоростью 60 об/мин, а затем ее снижали до 10...15 и продолжали перемешивание в течение 10...15 минут.

5. Далее цилиндры оставляли в покое на 30...120 мин. (в зависимости от предполагаемой точки ввода реагентов) и наблюдали за образованием и осаждением хлопьев (t_n), временем оседания (t_0), временем окончания оседания (t_k), видом хлопьев.

6. После окончания оседания хлопьев, из каждого цилиндра отбирали пробу воды из его средней части, не взмучивая осадок.

7. В пробе отобранной (обработанной) воды также определяли величину pH, содержание общего фосфора, по которому затем вычисляли эффект очистки:

$$\varepsilon = \frac{M_{исх} - M_k}{M_{исх}} \cdot 100\% \quad , \quad \% \quad (2)$$

где: $M_{исх}$ и M_k – исходные и конечные концентрации загрязнений, мг/л;

Первая точка дозирования реагента была определена перед первичными отстойниками, поэтому была отобрана проба сточной воды после песколовок с учётом отстаивания в течении 1,5 ч для максимального приближения к реальным условиям.

Вторая точка дозирования была определена перед контактными резервуарами, проба сточной воды отбиралась после вторичных отстойников. Время отстаивания принималось за 0,5 ч.

Исходная концентрация общего фосфора перед первичными отстойниками составляла 6, до контактных резервуаров – 3,5 мг/дм³.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований по эффективности удаления фосфора с использованием алюмосодержащих коагулянтов при отборе сточной воды после песколовок и контактными резервуарами представлены на рисунках 1-2.

Анализ результатов опытов показывает практически одинаковую эффективность рассматриваемых реагентов различных предприятий изготовителей и поставщиков. Остаточные концентрации общего фосфора при дозе реагента 60 мг/л не превышали после первичных отстойников - 2,5, а после контактных резервуаров – 0,5 мг/л, что ниже, чем его нормируемое значение по ТКП [7] и Спецводопользованию для станции аэрации г. Витебска.

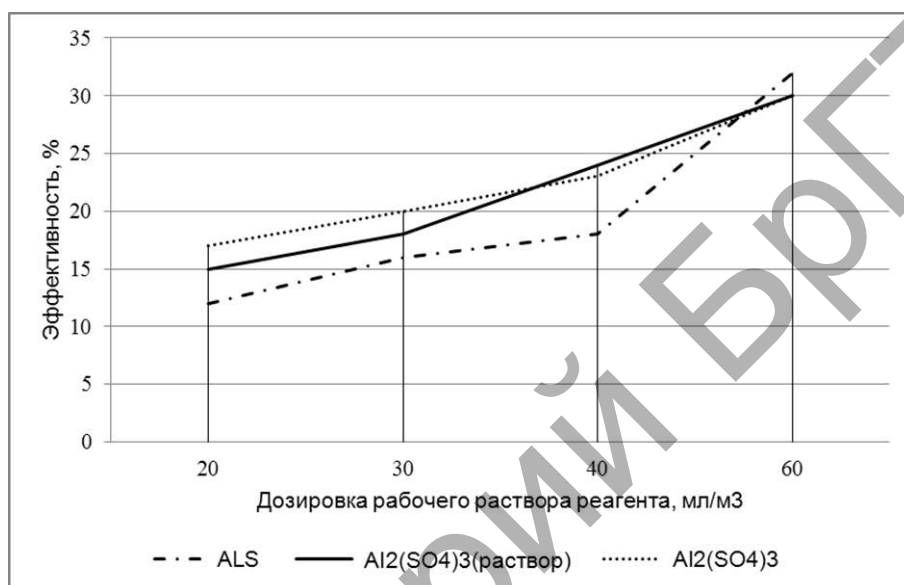


Рисунок 1 – Эффективность удаления общего фосфора при использовании алюмосодержащих коагулянтов перед первичными отстойниками

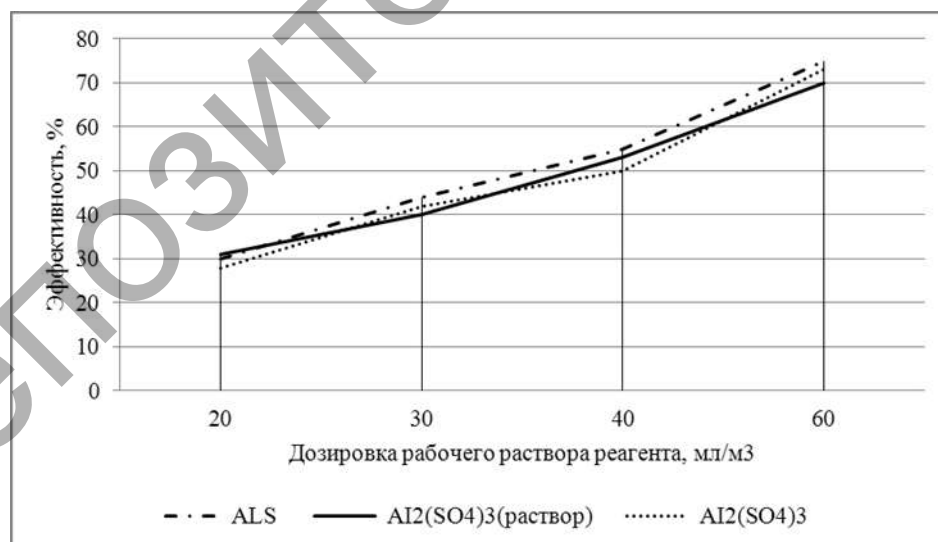


Рисунок 2 – Эффективность удаления общего фосфора при использовании алюмосодержащих коагулянтов перед контактными резервуарами

В таблице 2 представлены расчетные значения по потребности реагентов (готовой продукции) в сутки при достижении разных остаточных концентраций общего фосфора.

Таблица 2 – Потребность реагентов (готовой продукции) в сутки при достижении остаточных концентраций общего фосфора

№ п/п	Производитель	Реагенты, условные обозначения	Потребность реагента (готовой продукции) в сутки при расходе сточных вод 80 000 м3 и достижения остаточных концентраций общего фосфора, мг/л		
			3,5-2,0	3,5-1,5	1,5-0,5
	СП «КСАНТ»ООО РБ,г.Гомель	Алюминия сульфат технический очищенный, сорт высший ГОСТ 12966-85	Применение нецелесообразно. (дополнительное оборудование, охрана труда)		
	СП «КСАНТ»ООО РБ,г.Гомель	Алюминия сульфат-раствор ТУ ВУ400258949.003-2005	3,7 м3 4,8 тонн	4,98м3 6,5 тонн	13,2м3 17,1тонн
	КЕМИПОЛ (ЧТУП«ВЕГЛОСТАЛ»)	Водный раствор сернокислого алюминия ALS	3,6м3 4,7тонн	4,86м3 6,4тонн	12,8м3 16,8тонн

Примечание:

1. В таблице представлены данные по снижению общего фосфора после вторичных отстойников с 3,5 и ниже в мг/дм³ (что соответствует временному разрешению на Спецводопользование).
2. Предусмотрена точка ввода перед контактными резервуарами.
3. Результаты получены лабораторным путём и могут отличаться от потребности применения реагента в производственных условиях.

Заключение

Эффективность удаления фосфора из сточных вод не зависит от различных поставщиков и изготовителей реагента сернокислого алюминия.

Окончательный выбор поставщика сернокислого алюминия необходимо определять с учетом предлагаемой стоимости реагента и способа его доставки на станцию аэрации г. Витебска.

Список литературы

1. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод в сооружениях с аэротенками. – М.: Акварос, 2003.
2. Долина, Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов. Монография. – Днепропетровск : Континент, 2011.
3. Ющенко, В.Д., Куприянич, Т.С., Галузо, А.В. Особенности изменения количества и состава сточных вод, поступающих в очистные сооружения г. Витебска. Сб. материалов IV -й МНПК «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания». – Брест, 2013.
4. Мишуков, Б.Г., Соловьёва, Е.А. Удаление азота и фосфора в очистных сооружениях канализации // Приложение к журналу «Вода и экология. Проблемы и решения» – СПб : ЗАО «Водопроект-Гидрокоммунводоканал», 2004.
5. Ющенко, В.Д., Галузо, А.В. Характеристика и выбор реагентов для удаления соединений фосфора из сточных вод. – Вестник ПГУ. – №16. Серия F. Строительство. – 2015. Новополоцк.
6. Ющенко, В.Д., Галузо, А.В., Куприянич, Т.С. Анализ работы сооружений для удаления соединений фосфора из сточных вод на станции аэрации города Витебска. – Вестник ПГУ. – №3. Серия В. Промышленность, прикладные науки. – 2015. Новополоцк.
7. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод. ТКП 17.06-08-2012(02120). – Минск : РУП ЦНИИКИВР, 2012.
8. Хенце, М., Армоэс, П., Ля-Кур-Янсен И., Арван, Э. Очистка сточных вод, биологические и химические процессы: Пер. с англ. – М. : Мир, 2009.

ЭНЕРГО И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 502.36

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УЧРЕЖДЕНИЯХ СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Корженевич С.В.¹, Корженевич Е.А.²

¹Пинский колледж УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», г. Пинск, Республика Беларусь, ksv1974@tut.by

²ГУО «Средняя школа № 16 г. Пинска», kate250884@mail.ru

In conditions of shortage of domestic fuel and energy resources in the Republic of Belarus, energy saving is an important aspect. The article says about the way of energy conservation in educational institutions. A lot of attention is paid to the questions related, to the formation of knowledge in this field, implementation of measures for energy efficiency.

Введение

Структурные изменения, происходящие в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве, в других экономических сферах, модернизация производств оказывают существенное воздействие на рациональное использование природных ресурсов и на уровень загрязнения окружающей среды. В этой связи в Республике Беларусь в последние десятилетия приоритетное значение получило направление, называемое энергосбережением, которое призвано решать проблемы рациональной добычи, переработки и использования различных видов топлива. Основной целью энергетической политики страны является определение путей и формирование механизмов оптимального развития и функционирования отраслей топливно-энергетического комплекса, надежное и эффективное энергообеспечение всех отраслей экономики, создание условий для производства конкурентноспособной продукции, достижение стандартов уровня жизни населения аналогичного высокоразвитым государствам [1, с. 167]. Одна из ведущих ролей в этом процессе отводится системе образования. Поэтому перед учреждениями образования, в том числе и среднего специального, стоит задача воспитания у подрастающего поколения гражданской позиции, навыков рационального и экономного использования топливно-энергетических ресурсов как неотъемлемой части энергосберегающей политики нашего государства.

Основная часть

Будущее науки и процессов энергосбережения в стране во многом зависят от тех навыков научно-исследовательской деятельности, которые учащиеся получают в учреждениях среднего специального образования. Исходя из этого, мы определили два основных направления энергосберегающей деятельности в учреждениях среднего специального образования:

- формирование теоретических знаний в сфере энергосбережения, расширение интереса к исследованию и творчеству в данной области;
- прикладная деятельность преподавателей и учащихся по практической реализации конкретных энергосберегающих мероприятий.

С целью формирования теоретических знаний в данной области в учебные планы подготовки специалистов была введена дисциплина «Охрана окружающей среды и энергосбережение», одной из основных целей которой является знание вопросов эффективного энергосбережения на основе всемирного опыта и политики, проводимого государством [2, с. 180]. Для погружения в данную проблему, привлечения учащихся к решению энергетических проблем нами был разработан тест «Умеете ли вы беречь энергию?». Тест включает в себя вопросы эффективного расположения предметов домашнего интерьера (постановка холодильника в прохладной комнате; мебели в тех местах, где нет обогревателей); снижения температуры в помещении при выходе из него, ночью; учета энергопотребления в результате его систематического фиксирования; путей экономного расхода энергетических ресурсов при приготовлении пищи, уборки помещений; правильного подбора электрических ламп, их рационального размещения, выбора цвета окраски потолков, стен, пола и др. В результате его проведения учащиеся узнают о многих эффективных путях сохранения энергии в быту, что является основой для формирования первоначальных знаний в области энергосбережения.

Следующим этапом расширения знаний у учащихся является выработка путей экономного использования энергии по основным направлениям энергосбережения в промышленности, агропромышленном комплексе, жилищно-коммунальном хозяйстве, учреждениях образования, быту, транспорте как обладающими наибольшими возможностями для уменьшения энергозатрат. Определив возможные пути решения данной проблемы, создается определенная база знаний, которая в дальнейшем будет способствовать эффективной прикладной деятельности в области энергосбережения. В дальнейшем учащиеся разрабатывают проект «Город будущего», который подразумевает слияние теории и практики, включает в себе постановку определенной умственной задачи, ее практическое выполнение. Метод проектов – один из немногих методов, выводящих педагогический процесс из стен учреждения образования в окружающий мир. На основе имеющихся знаний моделируется «идеальный» город будущего, в котором вместо традиционных источников энергии используются возобновляемые, где приоритет отдается экологическим ценностям, его жители являются не пассивными созерцателями, а творцами, новаторами, рационализаторами. Учащиеся проектируют не абстрактный город, находящийся за тысячи километров от них, а конкретно определяют его место в Республике Беларусь, аргументируют свой выбор, определяют его преимущества в сравнении с имеющимися городами. В этой связи стоит обратить внимание на тот факт, что в последнее время участились случаи переноса многими государствами столиц своих стран в новые города, которые проектировались с учетом новейших технологий, в том числе, и в сфере энергосбережения. Достаточно вспомнить такие государства как Боливия (Сукре), Бразилия (Бразилиа), Индия (Нью-Дели), Казахстан (Астана), где появились новые столицы. Надо заметить, что они чаще всего возникали на местах, где не существовало никаких поселений. В настоящее время в Египте идет обсуждение месторасположения нового главного города страны, который по предварительным прогнозам должен появиться через 20–25 лет в районе побережья Красного моря.

Для учащихся, желающих более детально изучить вопросы энергосберегающей политики государства, мирового опыта энергосбережения, поучаствовать в различных проектах, можно организовать соответствующие факультативные занятия. Примером такого курса могут стать факультативы «Энергоэффективность: энергопользование и экология», «Энергоэффективность: производственное и бытовое энергосбережение, энергопользование и экология», основными задачами которых будут являться формирование экологического

мировоззрения, системы знаний в сфере энергоэффективности, воспитание высокоморальных отношений к природе, процесс экологизации личности. Программы данных факультативов успешно апробированы в учебных заведениях Гомельской области.

Во многих учреждениях среднего специального образования созданы научные общества учащихся, одним из направлений работы которых является энергосбережение. Привлечение учащихся к изучению данного направления будет способствовать формированию их дальнейшей профессиональной заинтересованности, разработке собственных естественнонаучных исследований, экспериментальных работ, проектов, оригинальных технических решений, включая учебно-наглядные пособия в области энергосберегающих технологий.

Прикладная деятельность преподавателей и учащихся, прежде всего, должна начинаться с рекламной деятельности в области энергосбережения, что является одним из условий обеспечения бережного и рационального использования топлива и энергии, сокращения их потерь. Основным назначением данной деятельности является доведение до всех членов трудового коллектива государственной важности экономного и бережного использования тепловой и электрической энергии, недопущения их потерь во всех помещениях, вовлечение в работу по экономии каждого работника организации, организация работы общественных организаций по выявлению и устранению очагов потерь, изысканию и использованию резервов экономии, премирование преподавателей и сотрудников за экономию, принятие строгих мер к расточителям тепловой и электрической энергии [3, с. 91]. Приведем некоторые конкретные энергосберегающие мероприятия, характерные для учреждений среднего специального образования.

Исходя из особенностей проектирования зданий и помещений средних специальных учебных заведений и санитарных норм и правил для учреждений среднего специального образования, территория учреждения образования должна быть озеленена. Предусматривается насаждение ветро- и пылезащитных полос древесных и кустарниковых насаждений со стороны господствующих ветров и возможных источников загрязнения воздушных потоков. При этом зеленые насаждения должны занимать не менее 30 % площади территории участка. Проект озеленения территории учебного заведения следует выполнять, учитывая все элементы природного ландшафта, а также размещение деревьев (если они имеются), их породы и возраст [4, с. 8]. Посадка деревьев на территории учреждения образования должна производиться на расстоянии не менее 10 м, кустарников – 5 м от зданий учреждений образования. В этой связи руководителям учреждений образований следует обратить внимание на выполнение этих норм, так как близкое расположение древесно-кустарниковых пород к окнам зданий способствует их более интенсивному затемнению, что однозначно ведет к перерасходу энергии, особенно в утренние и вечерние часы. Также необходима своевременная стрижка деревьев и кустарников, которые непосредственно примыкают к зданию. Часто расстояние от здания до деревьев и кустарников соблюдается, а вот ветви располагаются в 3–5 метрах от окон здания, что не способствует увеличению естественного освещения помещений. Также важно учитывать и выбор пород, которые наиболее приемлемы для озеленения территории учреждения образования. Рекомендуется высаживать такие породы деревьев как ель колючая, клен остролистный, липа сердцелистная, рябина обыкновенная, ясень обыкновенный. Среди кустарников предпочтение отдается следующим видам: сирени обыкновенной, спирее городчатой, черемухе обыкновенной и др.

Немаловажным аспектом в решении задач энергосбережения является расписание учебных занятий. Для уменьшения затрат на освещение учебных помещений в период с ноября по февраль целесообразно начинать учебные занятия не с 08 часов утра, как в большинстве учебных заведений, а на час позже. Продолжительность естественного освещения в это время на территории Беларуси наименьшая, особенно в более высоких широтах (Витебская область). Например, в декабре светлое время суток на юге страны составляет 280 часов, на севере республики этот показатель уменьшается до 270 часов [5, с. 474]. Учитывая, что в учреждениях среднего специального образования в день проводится, как правило, не более 7–8 учебных занятий, время их окончания, даже в самые короткие дни (декабрь), будет совпадать с заходом солнца. Необходимо, конечно, делать поправку и на метеорологическую обстановку (облачность), которая может влиять на необходимость использования искусственного освещения. Но, даже если в среднем в каждом месяце наблюдается 8–10 ясных дней, эффект за счет введения данной инициативы будет достаточно ощутимым. Также следует обратить внимание на максимальную загрузку учебных помещений, окна которых выходят на южную сторону, если это не влияет на качество проведения учебных занятий. Данный путь опять же будет направлен на максимальное использование естественного освещения, что позволит сэкономить определенное количество электрической энергии. Это является примером так называемого пассивного использования солнечной энергии. Кстати, в мире получает все большее распространение метод строительства домов «солнечной архитектуры», в основе которого и лежит пассивное использование солнечной энергии. Примером такого здания в Беларуси может служить немецкий Международный образовательный центр (IBB) в городе Минске [3, с. 34].

Учитывая важность работы по энергосбережению, в учреждениях среднего специального образования рекомендуется осуществлять следующие мероприятия:

- создание банка данных научно-педагогических технологий и методик воспитания и обучения учащихся энергосбережению и экономии природных и энергетических ресурсов;
- создание видеотеки и компьютерной базы информации по энергосбережению;
- регулярные выпуски информационных бюллетеней по вопросам энергосбережения;
- проведение общественно значимых акций по экономии и бережливости, приуроченных к определенным датам;
- расширение сотрудничества с международными организациями, общественными объединениями, учебными заведениями, работающими в области энерго- и ресурсосбережения.

Заключение

Основа развития любого государства – его энергетическая безопасность. Соответственно, повышение энергоэффективности, реализация мероприятий в области энергосбережения – одна из гарантий такой безопасности и, как следствие, важнейший ресурс ускорения экономического роста страны. Энергосбережение – не только технологический процесс, это образ жизни общества и каждого человека, вырабатывающий определенный алгоритм поведения. Переход к устойчивому развитию нашего государства, обеспечивающему сбалансированное решение социально-экономических задач, проблем сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения материаль-

ных и духовных потребностей, должен решить в перспективе проблему паритета между экономикой и экологией. В этой связи реализация направлений энергосбережения в различных сферах нашей жизни станет неотъемлемой задачей всего нашего общества на последующие десятилетия.

Список литературы

1. Кравченя, Э.М. Охрана труда и энергосбережение: Учеб. пособие / Э.М. Кравченя, Р.Н. Козел, И.П. Свирид. – Минск : ТетраСистемс, 2005. – 288 с.
2. Корженевич, С.В. Методические особенности преподавания курса «Охрана окружающей среды и энергосбережение» в ССУЗах педагогического профиля / С.В. Корженевич // Мониторинг окружающей среды : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 сентября 2013 г.: / Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина; редкол.: И.В. Абрамова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2013. – Ч. 2. – С. 180.
3. Самойлов, М.В. Основы энергосбережения: Учеб. пособие / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. – Минск : БГЭУ, 2002. – 198 с.
4. Проектирование зданий и помещений профессионально-технических, средних специальных и высших учебных заведений, институтов повышения квалификации / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь; редкол.: Г.М. Гаврикова [и др.]. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2005. – 72 с.
5. Природа Белоруссии: Попул. энцикл. / Белорус. Сов. Энцикл.; [редкол.: И.П. Шамякин (гл. ред) и др.]. – 2-е изд. – Минск : БелСЭ, 1989. – 599 с.

УДК 336.27

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ПРИНЯТИЮ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ

Куган С.Ф., Радчук А.П.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь ef.bstu@tut.by

Information and analytical support of the organization is based on the analysis of the subject areas in management departments, and the environment with the release of the priorities and criteria. information and analytical support system must take into account the specifics of each business unit, priorities and conditions for the implementation of management decisions.

Введение

В современных условиях экономического кризиса при снижении спроса на многие товары и услуги обеспечить жизнеспособность предприятия возможно на основе снижения себестоимости и, в первую очередь, за счет ресурсосбережения. Во многом обеспечить экономию используемых ресурсов, материальных затрат возможно за счет грамотных и своевременно применяемых управленческих решений.

В этой связи в значительной степени повышается роль экономических служб, таких как финансовый менеджмент, маркетинг и др. В настоящее время при оценке альтернативных вариантов управленческих решений необходимо использовать механизмы управленческого учета. Кроме планирования и реализации различных ресурсосберегающих мероприятий, значительного эффекта можно достичь, произведя соответствующие расчеты до принятия решения о соответствующих капитальных вложениях.

В условиях рыночных отношений, когда экономическая ситуация постоянно меняется, очень важно отслеживать такие факторы, как спрос, емкость рынка, платежеспособность, конъюнктуру и др. Обработывая маркетинговую информацию и производя расчеты с учетом будущих затрат, можно значительно повысить эффективность принимаемых решений.

Анализ показывает, что на многих предприятиях уровень расходов, связанных с недогрузкой производственных мощностей, не соответствует объему продаж. Кроме этого, на некоторых предприятиях не отслеживается рост цен на основное сырье и материалы, хотя он зачастую опережает рост объема продаж. В таких условиях в качестве одной из основных задач выступает поиск путей наиболее эффективного использования имеющихся ограниченных ресурсов посредством планирования, калькулирования, контроля затрат и бюджетирования внутрипроизводственной деятельности. В этой связи решающую роль играет информационное обеспечение принятия решений, прежде всего, за счет финансового менеджмента, внедрения производственного и управленческого учета.

Информационно-аналитическое обеспечение управленческой деятельности

Отправной точкой для построения системы производственного и управленческого учета должна стать организационная структура управления предприятием, поскольку именно она определяет контролируемость затрат, порядок их группировки по центрам ответственности. Оргструктура, в свою очередь, влияет на документооборот внутри предприятия и обеспечивает кодирование документов, что важно для автоматизации обработки информации.

Информационное взаимодействие подразделений организации позволяет сформировать гибкую систему управления. При этом одним из основных требований при подготовке управленческих решений остается обоснованность и своевременность поступления информации об экономическом состоянии структурных подразделений организации и внешней среды. Таким образом, совместно с материальным, правовым и другим обеспечением управленческой деятельности все большее значение приобретает информационно-аналитическое, организованное на основе современных и безопасных информационных технологий и систем.

Использование информационных систем и технологий в управленческой деятельности помогает организовать мониторинг, обеспечить моделирование и прогнозирование развития, а также разработать эффективные решения, оперативно контролируя ход выполнения поставленных задач. Информационно-аналитическое обеспечение организации основывается на анализе предметных областей управления как в подразделениях, так и во внешней среде с выделением приоритетных задач и критериев. Система информационно-аналитического обеспечения должна учитывать специфику каждого подразделения, приоритетные задачи и условия реализации управленческих решений.

В функции текущего управления входит не только внутренняя работа структурных подразделений, но и внешнее взаимодействие с организациями поставщиков и заказчиков, органами исполнительной власти и др. Все эти связи образуют контур взаимодействия, опирающийся на закон обратной связи, без которого невозможно управление.

Автоматизация деятельности производственной организации предоставляет технические возможности для того, чтобы поддерживать высокий качественный уровень выпускаемой продукции, обеспечивая ее конкурентоспособность. Система управления сбытом готовой продукции обеспечивает эффективное управление реализацией, начиная от приемки заявки от покупателей до доставки продукции покупателю не только на местном рынке, но и за пределами Республики Беларусь. Система планирования, ценообразования, учета за-

трат на производство готовой продукции и определение ее себестоимости обеспечивает производство готовой продукции, исходя из плановой цены. Информационные системы труда и заработной платы, управления кадрами позволяют обеспечить учет приема на работу, движения кадров, расчет заработной платы, планирование сокращения работников. Состав автоматизированной системы управления может варьироваться в зависимости от направления деятельности и подразделений организации.

Информационные потребности подразделений обычно находятся в различных плоскостях, поэтому важной задачей является такая организация информационных потоков, которая позволит снизить затраты, связанные со сбором, обработкой, изменением и предоставлением информации.

Процесс управления организацией необходимо рассматривать во взаимосвязи трех временных периодов: стратегическом, текущем и оперативном.

В реальной практике управления информационно-аналитические системы поддержки принятия решений охватывают все три временных периода, начиная с мониторинга событий в оперативном режиме с дальнейшей их группировкой по временным шкалам и смысловым отношениям [1].

Управленческие задачи стратегического периода связаны, как правило, с перспективным развитием организации, соответствуя основным целям и задачам. Организация представляет собой систему определенной организационной структуры, элементы которой взаимосвязаны и совместно функционируют для достижения постоянных целей. Для реализации задачи поиска ресурсов (трудовых, материальных, финансовых) создается система постоянного мониторинга производственных, сбытовых и прочих процессов, с постоянно обновляемой базой или базами данных, которые включают в свой состав соответствующую информацию. Оценка доступности и воспроизводства ресурсов может способствовать созданию спектра стратегических целей. Предупреждение кризисных процессов, поиск наилучшего выхода из создавшегося положения, оценка возможных последствий от принятия управленческих решений, выявление тенденций развития финансовой ситуации, стратегическое планирование, а также многое другое требует не просто информационного описания, а аналитического решения с учетом реального экономического положения.

Следует отметить, что каждая, описанная выше, ситуация, находится под влиянием многих факторов, которые, в свою очередь, взаимосвязаны. При этом определенная ситуация характеризуется не только многоаспектностью проходящих в ней процессов, но и отсутствием достаточной количественной информации об их динамике, связанной с изменчивостью характера процессов во времени.

Независимо от характера причин изменений учет процессов приводит к необходимости корректировки исходной модели ситуации в текущем диапазоне. Эффективность принимаемых управленческих решений осуществляется за счет прогнозирования и планирования, что позволяет, в свою очередь, создать более точную исходную модель. В состав процесса прогнозирования входят процедуры формирования целей решения проблем, выбор метода прогнозирования в соответствии с целями прогноза, объемом и характером информации; использование обоснованных нормативов расходования ресурсов и прочее. На каждую конкретную цель накладываются, а также определяются количественные характеристики, позволяющие судить о степени их достижения. Ограничения могут варьироваться в зависимости от реальной ситуации. В соответствии с принятыми критериями проводится оценка качества прогноза, разрабатываются альтернативные варианты и принимаются решения. Решения в стратегической перспективе обычно носят коллективный характер и часто основываются на методах долгосрочного сценарного анализа. Экстрополярное прогнозирование эффективно в тех случаях, когда накоплены соответствующие статистические ряды и ситуация не меняется скачкообразно [2].

Решение тактических управленческих задач направлено на текущее организационное и финансово-ресурсное обеспечение выполнения стратегических задач и включает мониторинг, анализ, регулирование состояния экономических показателей, контроль и корректировку исполнения стратегических планов. При осуществлении текущего управления необходимо обращать внимание на динамику изменения показателей экономического состояния организации. Информация о направлениях и темпах изменений отдельных показателей характеризует качество и полноту разработки тактических планов, степень успешности их реализации, уровень управляемости (закон обратной связи).

Несмотря на высокий уровень развития информационных технологий, руководящим звеном многих организаций недостаточно используются технологии информационной поддержки принятия управленческих решений. Внедрение в практику работы руководителей элементов информационной поддержки управления, позволит проводить анализ деятельности организации на качественном уровне, при этом следует учитывать степень информационной безопасности.

Сбором, обработкой, хранением и анализом профильной информации для текущего управления могут заниматься как отдельные специалисты, так и соответствующее подразделение (отдел) организации. Специалисты этого подразделения должны быть экспертами в той или иной сфере деятельности и отвечать за достоверность, качество и полноту проводимого анализа. К наиболее значимым направлениям информационной поддержки принятия управленческих решений (ИППУР) можно отнести следующие:

- снижение затрат на сбор, обработку, хранение, передачу и представление служебной информации;
- доступ к информации, регламентированной в соответствии с должностными обязанностями, степень конфиденциальности;
- подготовка и предоставление информационных продуктов и услуг для обмена с другими организациями отрасли или предприятиями сферы сопряжения;
- организация групповой работы над блоком документов или задач, подготовка решений и альтернативных вариантов их реализации;
- исключение возможности несанкционированного доступа к информации, ее утраты;
- совместимость и преемственность информационных потоков разных уровней управления [3].

В функции текущего управления входит не только внутренняя работа структурных подразделений, но и внешнее взаимодействие с организациями поставщиков и заказчиков, органами исполнительной власти. Все эти связи образуют контур взаимодействия, опирающийся на закон обратной связи, без которого невозможно управление. Принятие и реализация оперативных решений – один из важнейших аспектов управленческой деятельности. Решения в условиях оперативного управления осуществляются в предельно ограниченное время (от смены до 1 часа), что не снимает требований по своевременности и обоснованности решений, полному и эффективному использованию всех имеющихся в распоряжении руководства возможностей.

В подобных условиях требуется точная и достоверная оценка ситуации и перспектив ее развития, знание возможностей и ресурсов, необходимых для управления ситуацией. При оперативном управлении деятельность сотрудников информационно-аналитического подразделения (отдела) может быть сосредоточена на следующих направлениях:

- повышение уровня достоверности прогнозирования закупочных, производственных и сбытовых ситуаций;
- организация комплексного мониторинга и обработки поступающей информации в режиме реального времени;

- математическое моделирование состояния уровней развития организации;
- оптимизация и обеспечение возможности оперативной корректировки планов действий;
- обеспечение современного уровня технических возможностей для осуществления сбора, анализа и предотвращения утечки информации;
- поиск современных технологий и методов, направленных на совершенствование производства, замену устаревшего оборудования.

Для совершенствования оперативного управления необходимо автоматизировать наиболее трудоемкие и рутинные процессы (например – мониторинг), т.к. в предельно короткие сроки требуется обобщать и оценивать большой поток входящей информации, оперативно реагировать на любые изменения ситуации и вносить коррективы в формируемый информационно-аналитической службой выходной информационный поток, направленный на корректировку текущей производственной деятельности [4].

Обеспечение системы оперативного управления предполагает существенное расширение функций текущего управления. Информационная система организации при этом должна соответствовать динамике развития экономической ситуации, а также ориентирована на обеспечение работы и принятия решений на различных уровнях управления, в пределах компетенции руководителей, создание и поддержание необходимого уровня информационного обмена структурных подразделений.

Специфика информационного обмена в оперативном управлении состоит в необходимости переработки больших объемов информации в ограниченное время. Постоянно поступает мониторинговая информация о складывающейся ситуации, при этом уровень достоверности, точности и полноты информации напрямую зависит от умений и навыков специалистов, предоставляющих эту информацию. Иерархия управления является фактором, замедляющим прохождение информации и вносящим определенные помехи в информационный поток. Поэтому основной функцией информационно-аналитической службы (отдела) организации при оперативном управлении должна быть организация эффективной работы при оценке, анализе, обобщении поступающей информации, прогнозе дальнейшего развития ситуации, разработке планов действий, с использованием имеющихся в его распоряжении технологий. Деятельность отдела предполагает выполнение ряда требований к его информационной системе, ресурсам и методам организации работ:

- трансформация доступных информационных ресурсов для визуального представления;
- наличие телекоммуникационных систем, поддерживающих защиту информации и связь с удаленными подразделениями;
- возможность внесения изменений в систему разграничений доступа к информационным ресурсам;
- работа с различными форматами и возможность приведения их в единую форму представления данных;
- реализация запросов к информационным ресурсам подразделений организации;
- создание специализированных баз данных, позволяющих оперативно производить расчеты по оценке необходимых материальных, трудовых, финансовых и технических ресурсов [5].

В настоящее время все большее число организаций используют в своей работе системы оперативного управления MES, реализуемые на различных платформах, в частности, SIMATICIT, представляющей собой набор компонентов для координации систем и стандартизации производства в объеме всей организации, сохранения производственных процессов. Платформа IRIUS-MES

позволяет автоматизировать системы управления производством, обеспечивая реализацию функций планирования, учета, контроля, анализа и управления производственными процессами. Основные функциональные возможности:

- планирование и управление производством;
- обеспечение объективной, достоверной и своевременной информацией о работе производства;
- автоматизированное формирование основных производственных и экономических показателей;
- автоматизированная идентификация отклонений технологических и производственных показателей и причин их возникновения;
- информационное обеспечение принятия управленческих решений.

Основными пользователями системы являются представители административного и инженерно-технологического персонала, участвующие в управлении производством. Система оперативного управления MES является связующим звеном между автоматизированными системами технологического уровня и системами высокого уровня управления деятельностью организации (ERP).

При принятии важных управленческих решений относительно объемов выпускаемой продукции, капитальных вложений в различные проекты, особенно в условиях ограниченного спроса и ресурсов, целесообразно использовать такой показатель, как маржинальная прибыль (МП) и коэффициент маржинальной прибыли (КМП). С их помощью можно отслеживать рентабельность по видам продукции в денежном выражении. В тех случаях, когда для производства различных видов продукции не используются одни и те же ресурсы и не задействуются полные мощности, возможно произвести анализ МП по каждому виду продукции:

$$\text{Прибыль} = (\text{МП1} \cdot \text{ед. прод.1} + \text{МП2} \cdot \text{ед. прод.2} + \dots + \text{МПn} \cdot \text{ед. прод.n}) - \text{Пост/затраты} \quad (1)$$

При принятии таких решений, особенно для многопрофильных предприятий, анализ связей следует проводить по представленной блок-схеме (рисунок 1).

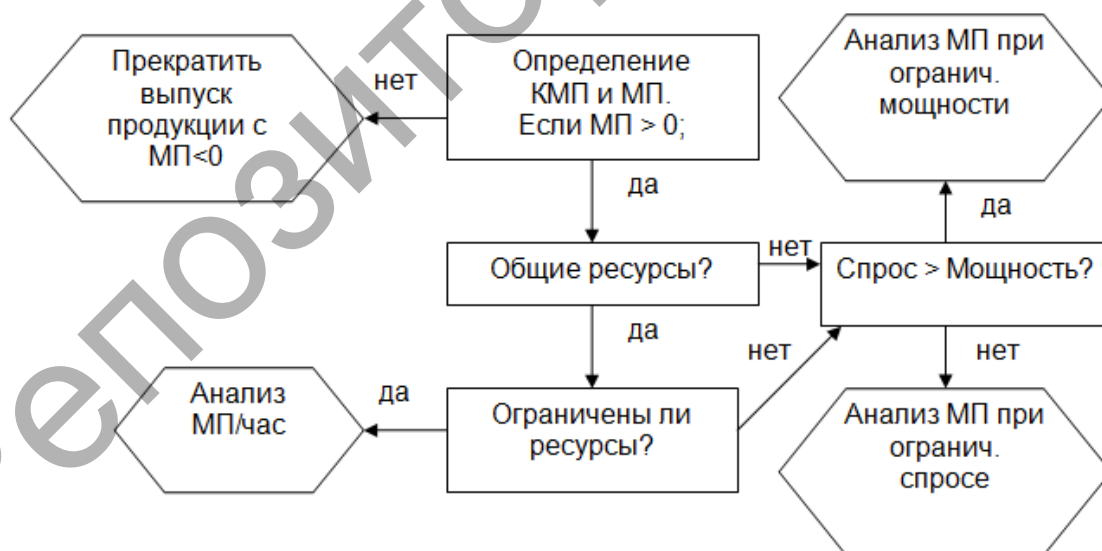


Рисунок 1 – Структура анализа с использованием значения маржинальной прибыли

Заключение

Таким образом, в условиях рынка перед многими организациями стоят актуальные задачи переоснащения производства с учетом участия и возможностей современных автоматизированных систем управления. Многие проблемы

будут решены при внедрении современных технологий менеджмента, в том числе самых передовых корпоративных информационных систем, позволяющих не только совершенствовать процессы внутреннего контроля, но и обеспечивать информационную безопасность. Использование механизмов управленческого учета позволит обеспечить ресурсосбережение, снизить себестоимость работ.

Список литературы

1. Автоматизированные информационные технологии в экономике : учеб. для студентов вузов / [Г.А. Титоренко и др. ; под ред. Г.А. Титоренко]. – М. : ЮНИТИ, 2005. – 399 с.
2. Дуж, Я. Организация системы информации на предприятии / Я. Дуж ; сокр. пер. с венг.: Э.Э. Батизи, В.М. Симчера. – М. : Прогресс, 1972. – 252 с.
3. Информационная структура предприятия // http://www.itconto.ru/services/network/sks_struct.shtml
4. Информационные технологии управления : учеб. пособие для вузов / под ред. Г.А. Титоренко. – М. : ЮНИТИ-Дана, 2003. – 439 с.
5. Чеботаев, А.А. Логистика. Логистические технологии : учеб. пособие / А.А. Чеботаев. – М. : Дашков и К, 2002. – 172 с.

УДК 697:721.011.25

ОСНОВЫ ТЕОРИИ, РАСЧЁТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЧЕРДАЧНЫХ ЗДАНИЙ С ПЛАСТИНАТЫМИ ВОЗДУХО-ВОЗДУШНЫМИ ТЕЛОУТИЛИЗАТОРАМИ

Липко В.И., Ланкович С.В., Никифорова К.Д.

Учреждение образование «Полоцкий государственный университет»,
г. Новополоцк, Республика Беларусь, kafedratgsv@mail.ru

The article presents the results of studies on the modernization of systems of heat and air supply of buildings with multi-level recovery scheme, using recycled and natural sources and modeling heat and mass transferring processes using criterial equations of thermodynamic similarity for the treatment of moist air in the heat exchangers.

Введение

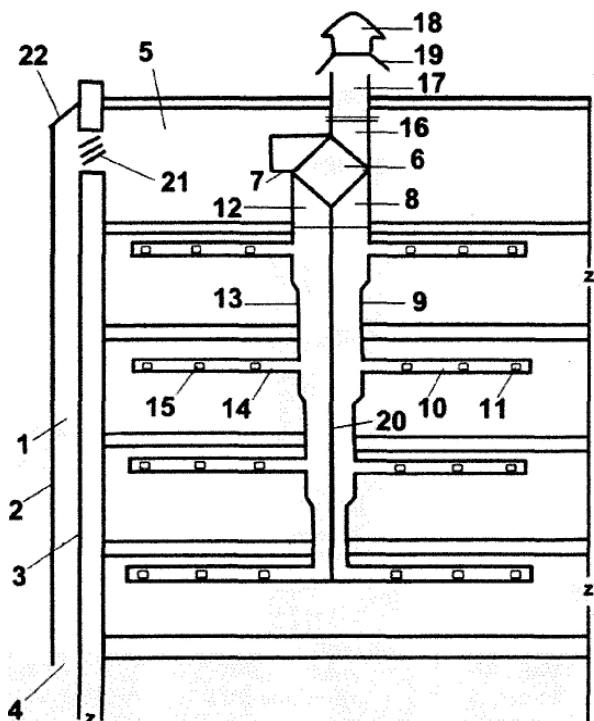
По данным комиссии ЮНЕСКО инженерные системы зданий являются одним из наиболее энергоёмких объектов, где на цели теплоснабжения, отопления и вентиляции расходуется около 40% всего добываемого твёрдого и газообразного топлива.

Объёмы строительства новых зданий не сокращаются, и ежегодное потребление энергии непрерывно возрастает, особенно в странах с умеренно-холодным климатом, к которым относится и Республика Беларусь. Создание современных зданий с эффективным использованием энергии от внешних источников, использованием теплоты солнечной радиации и других естественных источников, утилизация вторичных энергоресурсов наряду с усилением теплозащиты конструкций наружных ограждений, оптимизацией объёмно-планировочных решений являются стратегическими направлениями снижения энергоёмкости национального валового продукта в градостроительстве.

Научные исследования в области совершенствования строительной энергетики, создания новых современных типов зданий, разработки более совершенных конструкций теплотехнического оборудования и методов их расчета и проектирования в условиях обострения мирового энергетического кризиса являются актуальными и приоритетными.

Основная часть

Инновационная научная разработка энергоресурсоэффективного тепло-воздухоснабжения зданий выполнена в Полоцком государственном университете по патенту №8381 [1]. Рекуперативное устройство приточно-вытяжной вентиляции здания, представленное схематично на рисунке 1, разработано с многоступенчатым эффектом утилизации теряемой зданием теплоты:



– через вентилируемый навесной светопрозрачный фасад с отбором трансмиссионной теплоты, теряемой зданием через вертикальные конструкции наружных стен и окон;

Рисунок 1 – Рекуперативное устройство приточно-вытяжной вентиляции здания

– через тёплый чердак, превращённый в объёмную секционную приточную вентиляционную камеру с отбором теплоты, теряемой зданием через горизонтальные конструкции перекрытия верхнего этажа и теплопоступления за счёт солнечной радиации через верхнее покрытие здания;

– через рекуперативный пластинчатый теплоутилизатор, установленный в объёме чердака, с отбором теплоты вытяжного вентиляционного воздуха;

– через контактные поверхности приточных и вытяжных вертикальных воздуховодов.

Для утилизации низкопотенциальных вторичных тепловых отходов, каким является вытяжной вентиляционный воздух, в теплотехнике наилучшее применение нашли рекуперативные поверхностные теплоутилизаторы диагонального перекрестно-точного типа с просветом между пластинами до $l = 10$ мм и толщиной пластин из металла от $\delta = 0,2$ до $0,5$ мм. Конструкция и схема компоновки такого теплообменника представлена на рисунке 2. В корпусе теплообменника предусматривается штуцер для присоединения конденсатоотводящей трубы. В качестве материала пластин используется стальной лист, алюминий, медь и их сплавы в виде фольги. Кроме того, в некоторых теплообменниках применяют полиэтиленовые плёнки, стекло и другие теплопроводящие материалы.

В зависимости от взаимного направления потоков теплоносителей различают прямой противоток, перекрестный ток, смешанный ток, а также сложные схемы тока.

В рекуперативных теплообменниках изменения температуры теплоносителей в графическом изображении представлены на рисунке 3 [2]. В практике эксплуатации теплоутилизаторов в наиболее распространённом случае воздухонагреватели подогревают наружный воздух с начальной отрицательной температурой. Во избежание замерзания теплоутилизационные установки оборудуются автоматикой безопасности от замерзания и инееобразования так, как это показано на рис. 2б [3].

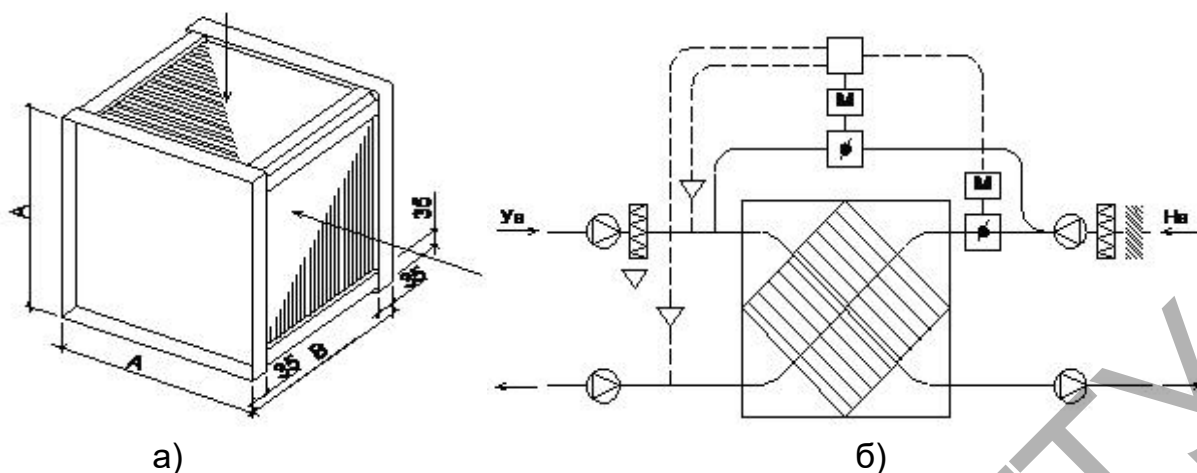


Рисунок 2 – а) схема перекрестно-точного пластинчатого рекуперативного теплообменника; б) схема компоновки диагонального теплообменника в установке с учетом исключения инееобразования

Расчёт воздухо-воздушных теплоутилизаторов производится с учётом различных условий работы. Теплоутилизатор может работать в режиме «сухого» теплообмена, а так же с выпадением конденсата на всей или части теплообменной поверхности.

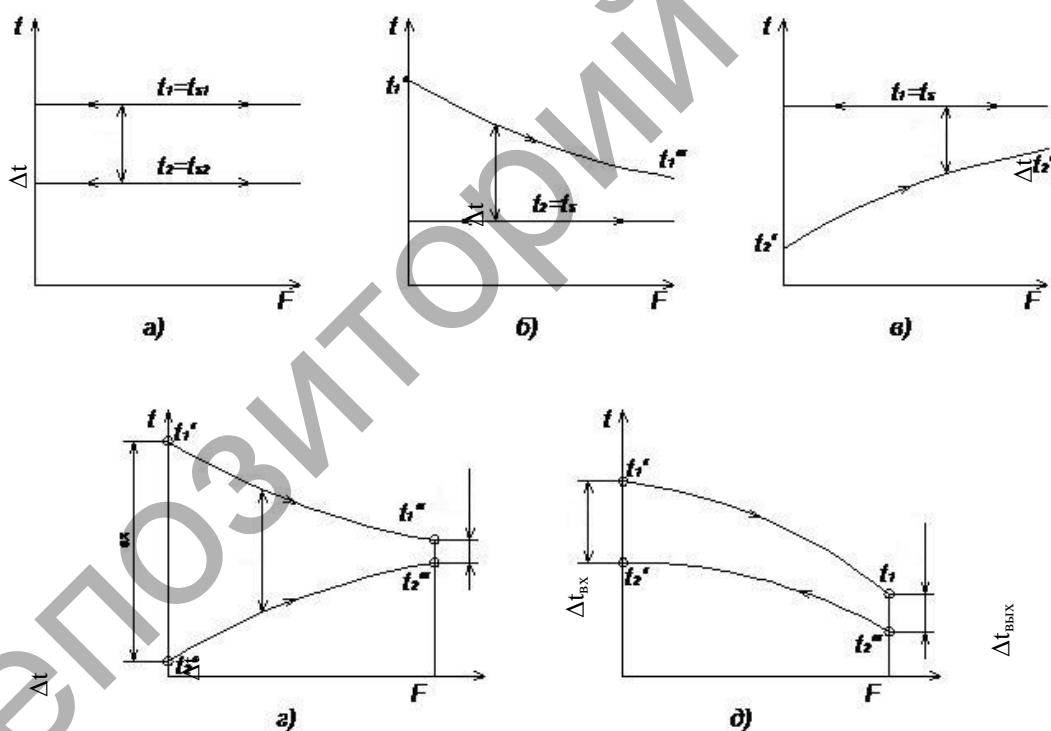


Рисунок 3 – Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике: а) при фазовых превращениях обоих теплоносителей (конденсация одного, испарение другого); б) при испарении нагреваемого теплоносителя; в) при конденсации греющего теплоносителя; г) при прямоточном движении теплоносителей без фазовых превращений; д) при противоточном движении теплоносителей без фазовых превращений

Рассмотрим работу теплоутилизатора на I-d диаграмме [4]. Термодинамическое состояние влажного воздуха на входе в теплообменник характеризуется точкой 1в с параметрами $t_{1в} = 20^\circ\text{C}$, $\phi = 15\%$, $d = 2\text{г/кг}$, $l = 26\text{ кДж/кг}$.

Опускаясь из точки 1в по линии $d=\text{const}$ на пересечении с линией $\varphi = 100\%$ получим точку росы при температуре воздуха у поверхности жидкости в точке 1пов, а чуть ниже и температуру самой жидкости в точке 1к. В данном случае $t_{рс} = t_{ж.н}$ и соответственно $l_{рс} = l_{ж.н}$, при этом относительный перепад энтальпий $\theta_{рсл}$ будет равен нулю, т.е.

$$\theta_{рсл} = \frac{l_{рс} - l_{ж.н.}}{l_{вн} - l_{ж.н.}} = 0,$$

где $l_{ж.н}$ – энтальпия насыщенного воздуха при температуре $t_{ж.н}$, кДж/кг.

Поскольку для точки 1в величина $\theta_{рсл}=0$, то в данном случае теплоутилизатор работает в «сухом» режиме теплообмена (рисунок 4). Далее рассмотрим точку 2 в на l - d диаграмме (рисунок 4) при той же температуре $t_{в}=20^{\circ}\text{C}$, $\varphi=50\%$, $d=7\text{г/кг}$, $l=37,59$ кДж/кг. Тогда на поверхности теплоутилизатора с некоторых значений ($d_{рс}^{\min}, t_{рс}^{\min}, l_{рс}^{\min}$) влажного воздуха начнет конденсироваться пар.

Параметры точки 2в соответствуют условию, когда в наиболее холодной части теплоутилизатора температура поверхности $t_{пов}$ становится равной температуре точки росы $t_{рс}$, соприкасающегося с ней влажного воздуха, который характеризуется относительным перепадом энтальпий $\theta_{рсл}^{\min}$.

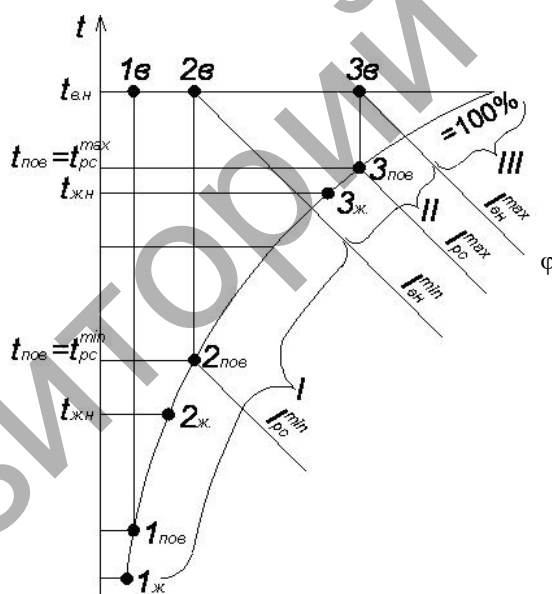


Рисунок 4 – l - d диаграмма с изображением параметров воздуха и жидкости для различных условий работы воздухоохладителя: I – «сухой» теплообмен; II – конденсация на части поверхности; III – конденсация на всей поверхности

При дальнейшем увеличении первоначальной влажности и достижения термодинамического состояния, соответствующего точке 3в (рисунок 4) ($d_{рс}^{\max}, t_{рс}^{\max}, l_{рс}^{\max}$) на всей поверхности теплообмена в теплоутилизаторе будет выпадать конденсат. Такое состояние влажного воздуха характеризуется относительным перепадом энтальпий $\theta_{рсл}^{\max}$.

Расчет пластинчатого воздухо-воздушного теплоутилизатора выполним по рекомендациям [4] в следующей последовательности:

1. По таблице 3.2 [1, с.89] при просвете $l=10\text{мм}$, $F_v=196\text{м}^2$, $f_{уд}=0,985\text{м}^2$, $D_{экв}=20\text{мм}$ и габаритах теплообменника $1,0\text{Ч}1,0\text{Ч}1,0\text{м}$ определим

$$f = 1,041,040,985 = 0,985 \text{ м}^2;$$

$$\text{и } F = F_1 = F_2 = F_v \cdot V = 196 \cdot 1 \cdot 1 = 196 \text{ м}^2.$$

2. Определим массовую скорость движения воздуха в живом сечении теплообменника

$$(\omega\rho)_e = \frac{G}{3600 \cdot f} = \frac{13662}{3600 \cdot 0,985} = 3,85.$$

3. Плотность воздуха

$$\text{при } t_{H1} = +20^\circ\text{C } \rho_1 = \frac{353}{273 + 20} = 1,2 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{при } t_{H1} = -5^\circ\text{C } \rho_2 = \frac{353}{273 - 5} = 1,32 \text{ кг/м}^3.$$

4. Скорость потоков удаляемого вытяжного и приточного наружного

$$\omega_1 = \frac{(\omega\rho)_e}{\rho} = \frac{3,85}{1,2} = 3,2 \text{ м/с}; \quad \omega_2 = \frac{(\omega\rho)_e}{\rho} = \frac{3,85}{1,32} = 2,9 \text{ м/с}.$$

5. Определим значения критерия Re

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot D_{\text{экв}}}{\nu_1} = \frac{3,2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 4249;$$

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot D_{\text{экв}}}{\nu_2} = \frac{2,9 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{12,86 \cdot 10^{-6}} = 4510.$$

6. Определяем критерий Nu

$$Nu_1 = \frac{\alpha \cdot D_{\text{экв}}}{\lambda} = 1,99 \cdot Re_1^{0,09} \cdot Pr^{0,33} = 1,99 \cdot 4249^{0,09} \cdot 0,73^{0,33} = 1,99 \cdot 2,12 \cdot 0,89 = 3,75$$

$$Nu_2 = 1,99 \cdot 4510^{0,09} \cdot 0,71^{0,33} = 1,99 \cdot 2,13 \cdot 0,89 = 3,77.$$

7. Определяем коэффициент теплообмена α

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1 \cdot Nu_1}{D_{\text{экв}}} = \frac{2,59 \cdot 10^{-2} \cdot 3,75}{20 \cdot 10^{-3}} = 4,85;$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2 \cdot Nu_2}{D_{\text{экв}}} = \frac{2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 3,77}{20 \cdot 10^{-3}} = 4,52.$$

8. Значение коэффициента теплообмена можно принять по таблице 3.6 [4, с.95] без расчета при l просвета, равным 10, и $(\omega\rho)_e = 3,85$ при интерполяции получим

$$\alpha = \frac{11,9 + 21,8}{2} = 16,85 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

9. Определяем коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{1/\alpha + 1/\alpha} = \frac{1}{1/16,85 + 1/16,85} = \frac{1}{0,12} = 8,33 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

10. Коэффициент теплопередачи K_y с учетом тепломассообмена

$$K_y = \frac{1}{\frac{c_g}{c_H \cdot \alpha_1} + \frac{1}{\alpha}} = \frac{1}{\frac{1}{2,084 \cdot 16,85} + \frac{1}{16,85}} = \frac{1}{0,028 + 0,059} = 11,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

11. Определим безразмерные параметры

$$Fo^1 = \frac{k \cdot F}{G_1 \cdot c_e} = \frac{3,6 \cdot 8,33 \cdot 196}{13662 \cdot 1} = \frac{5877,6}{13662} = 0,43;$$

$$W_1 = \frac{G_1 \cdot c_e}{G_2 \cdot c_e} = \frac{13662 \cdot 1}{13662 \cdot 1} = 1;$$

$$Fo'_1 = \frac{K_l \cdot F}{G_1 \cdot c_{нас}} = \frac{3,6 \cdot 11,5 \cdot 196}{13662 \cdot 2,084} = \frac{8114,4}{28471,6} = 0,285;$$

$$W_l = \frac{G_1 \cdot c_{нас}}{G_2 \cdot c_e} = \frac{13662 \cdot 2,084}{13662 \cdot 1} = 2,084.$$

12. По известным значениям Fo' и W_1 определим по графику рисунок 3.12 [4] величину θt

$$\theta t = 0,35;$$

13. По формулам 3.25 [4]

$$\theta_{pcl} = \frac{I_{pc} - I_{ж.н}}{I_{вн} - I_{ж.н}} = \frac{25,96 - 1,26}{37,59 - 1,26} = 0,68.$$

14. По формуле 3.42 [4]

$$\theta_{pct}^{\min} = \frac{1 - \theta_{pct}^{\min} (1 + \alpha_e / K')}{\alpha_e / K'} \quad \text{или}$$

$$\theta_{pct}^{\min} = \frac{(1 - \theta_{pct}^{\min}) \cdot \alpha_1 / \alpha_2}{1 + \alpha_1 / \alpha_2} = \frac{(1 - 0,35) \cdot 16,85 / 16,85}{16,85 / 16,85} = 0,325.$$

15. По формуле 3.43 [4]

$$\theta_{pcl} = \frac{I_{pc}^{\min} - I_{ж.н}}{I_{вн}^{\min} - I_{ж.н}} = \frac{c_{нас} (t_{вн} - t_{ж.н})}{I_{вн}^{\min} - I_{ж.н}} = 0,325 \cdot \frac{2,084 \cdot (20 + 5)}{27,63 - 1,26} = 0,64.$$

16. По формуле 3.40 [4]

$$\theta_{pcl}^{\max} = \frac{1 + \theta_1^{\max} \cdot \frac{G_1}{G_2} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1}}{1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{c_e}{c_{нас}}} = \frac{1 + 0,35 \cdot \frac{13662}{13662} \cdot \frac{16,85}{16,85}}{1 + \frac{16,85}{16,85} \cdot \frac{1}{2,084}} = \frac{1,35}{1,48} = 0,91.$$

Так как $\theta_{pcl}^{\min} = 0,321 < \theta_{pcl} = 0,68 < \theta_{pcl}^{\max} = 0,91$, то пар конденсируется на части его поверхности.

17. Определяем $t_{pc}^{\min} = \theta_{pct}^{\min} (t_{н1} - t_{н2}) = 0,325(20 + 5) = 8,125$ °С и соответствующую ему энтальпию удаляемого воздуха $I_{н1}^{\min} = 27,63$ кДж/кг при $t_{н} = +20$ °С.

18. Определим параметр A по формуле 2.28 [4]

$$A = c_e \cdot t_{pc} \cdot \theta_{pcl} + I_{ж.н} (1 - \theta_{pcl}) = c_e \cdot t_{вн} \cdot \theta_{pcl}^{\max} + I_{н2}^{\max} (1 - \theta_{pcl}^{\max}) =$$

$$= 1 \cdot 20 \cdot 0,91 + 1,26(1 - 0,91) = 18,2 + 0,113 = 18,31.$$

19. По графику рисунок 3.11 [4] находим отвечающее ему при $\theta_{pcl}^{\max} = 0,91$ значение влагосодержания удаляемого воздуха $d_{pc}^{\max} = 12,5 \text{ г/кг}$, при котором на всей поверхности теплообменника будет выпадать конденсат.

20. Соответствующая значению d_{pc}^{\max} начальная энтальпия удаляемого воздуха определится из выражения

$$I_{H1}^{\max} = q_{KH} \cdot d_{pc}^{\max} + c_e \cdot t_{pc} = 2,5289 \cdot 12,5 + 1 \cdot 20 = 31,61 + 20 = 51,61 \text{ кДж/кг.}$$

21. Определяем θ_{t2}^{\max} по каналу приточный воздух в режиме работы теплообменника с выпадением конденсата на всей поверхности

$$\theta_{t2}^{\max} = \frac{\theta_{I1}^{\max} (I_{H1}^{\max} - I_{H2}^{\max}) G_1}{G_2 \cdot c_e (t_{H1} - t_{H2})} = \frac{0,455(51,61 - 1,26) \cdot 13662}{13662 \cdot 1(20 + 5)} = \frac{22,91}{25} = 0,916.$$

22. Определяем θ_{t2}^{\min} для режима сухого теплообмена

$$\theta_{t2}^{\min} = \frac{\theta_{I1}^{\min} \cdot G_1}{G_2} = \frac{0,35 \cdot 13662}{13662} = \frac{22,91}{25} = 0,35.$$

23. Определим величину $\overline{\theta}_{pcl}$

$$\overline{\theta}_{pcl} = \frac{\theta_{pcl} - \theta_{pcl}^{\min}}{\theta_{pcl}^{\max} - \theta_{pcl}^{\min}} = \frac{0,68 - 0,325}{0,91 - 0,325} = \frac{0,355}{0,585} = 0,61.$$

24. По значению $\overline{\theta}_{pcl} = 0,61$ определим величину $\overline{\theta}_t$ по графику рисунок 3.17 [4]

$$\overline{\theta}_t = 0,2.$$

25. По формуле 3.51 [4, с. 117] определяем θ_{t2} по каналу приточного воздуха в режиме с выпадением конденсата

$$\theta_{t2} = \theta_{t2}^{\min} + \overline{\theta}_t \cdot (\theta_{t2}^{\max} - \theta_{t2}^{\min}) = 0,35 + 0,2(0,916 - 0,35) = 0,46.$$

26. Определяем температуру приточного воздуха после теплоутилизатора

$$t_{k2} = t_{H2} + \theta_{t2} (t_{H1} - t_{H2}) = (-5) + 0,46 \cdot (20 + 5) = 11,5 - 5 = 6,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

27. Удаляемый воздух при конечной энтальпии I_{k1} определяется по формуле

$$I_{k1} = I_{H1} - \frac{(t_{k2} - t_{H2}) \cdot G_2 \cdot c_e}{G_1} = 37,59 - \frac{(6,5 + 5) \cdot 13662 \cdot 1}{13662} = 26,09 \text{ кДж/кг.}$$

28. Определяем температуру поверхности теплообмена на входе приточного наружного воздуха в теплоутилизатор

$$t_{\text{пос}} = \frac{(I_{k1} - e_1) \frac{\alpha_1}{c_e} + t_{H2} \cdot \alpha_2}{\alpha_2 + \frac{c_{\text{нас}}}{G_e} \cdot \alpha_1} = \frac{(26,09 - 8,37) \frac{16,85}{1} + 5 \cdot 16,85}{16,85 + \frac{2,084}{1} \cdot 16,85} = \frac{298,6 - 84,25}{51,96} = 4,12 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Так как температура поверхности теплообмена на входе приточного наружного воздуха выше 0°C , то выпадающий на поверхности теплоутилизатора конденсат замерзнуть не будет.

Заключение

Анализируя и обобщая представленные материалы, можно сделать выводы.

Инновационная разработка технологии тепловоздухоснабжения теплых чердачных зданий по патенту №8381 отличается от всех известных аналогов простотой конструктивного исполнения и характеризуется высокой степенью энергоресурсосбережения благодаря многокомпонентной схеме снижения энергопотребления от внешних источников за счет трехкратной рекуперации вторичных энергоресурсов и использования природной теплоты солнечной радиации.

Как показали теоретические исследования и аналитические расчеты на использование только одной ступени рекуперации, за счет утилизации теплоты удаляемого вытяжного вентиляционного воздуха можно значительно минимизировать нагрузку на систему отопления. При использовании пластинчатых воздухо-воздушных теплоутилизаторов в системе вентиляции зданий можно нагреть приточный наружный воздух с $t_n = -5^\circ\text{C}$ до температуры $t_p = +6,5^\circ\text{C}$. Если средняя температура наружного воздуха за отопительный период по Республике Беларусь составляет более $t_n = -2^\circ\text{C}$, а начало отопительного сезона начинается при наружной температуре $t_n = +8^\circ\text{C}$, то с учетом бытовых теплопоступлений расходы на отопление зданий от внешних источников теплопотребления практически полностью обнуляются. Дополнительная информация по энергоресурсосбережению жилых зданий более подробно изложена в работах [5–10].

Список литературы

1. Патент № 8381, Республика Беларусь, МПК F24D7/00/. Рекуперативное устройство приточно-вытяжной вентиляции здания / Липко В.И., Липко С.В.; заявитель и патентообладатель Полоцкий государственный университет. - №и20120004; заявл. 01.02.2012; опубл. 04.03.2012г. / 4 с.: ил.
2. Бажан, П.И. и др. Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е.Каневец, В.М.Селиверстово – М. : Машиностроение, 1989. – 367 с.
3. Баркалов, Б.В., Карпис, Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Стройиздат, 1982. – 312 с.
4. Богословский, В.Н., Поз, М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М. Стройиздат, 1983. – 320 с., ил.
5. Липко, В.И. Энергоресурсоэффективное тепловоздухоснабжение гражданских зданий. В 2-х томах. Т.1 – Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2004. – 212 с.: ил.
6. Липко, В.И., Ланкович, С. В. Инновационная модернизация технологических чердаков с использованием вторичных и природных энергоресурсов для тепловоздухоснабжения зданий: материалы Международной научно-практической интернет-конференции «Энергосберегающие технологии теплогазоснабжения, строительства и муниципальной инфраструктуры». – Харьков, 2013. – с. 98–100.
7. Липко, В.И., Ланкович, С.В. Энергоресурсоэффективная реструктуризация систем тепловоздухоснабжения чердачных зданий. Материалы Международной научно-практической конференции «Архитектура, строительство, транспорт»/ Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). – Омск, 2015.
8. Липко, В.И., Лапезо, А.С., Ланкович, С.В. Энергоресурсоэффективное тепловоздухоснабжение чердачных зданий. Вестник науки и образования северо-запада России материалы Первой Международной научно-практической конференции «Инновации в науке, производстве и образовании», Калининградский государственный технический университет, Калининград, 2015.
9. Липко, В.И., Ланкович, С.В. Инновационная модернизация систем тепловоздухоснабжения чердачных зданий по критерию энергосбережения. Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология – 2015.– № 2.–с.52–55.
10. Технологический чердак здания: патент 9618и. Республика Беларусь, МПК (2006.01) E04H1/02/ В.И. Липко, Е.С. Добросольцева, С.В. Липко, С.В. Ланкович; заявитель Полоцкий государственный университет. - №и20130302; заявл. 09.04.2013; опубл. 30.10.2013 // Афіцыйны бюл / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.- 2013.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Г. Новосельцев

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет»,
г. Брест, РБ, vgnovoseltsev@yandex.ru

The results of the study of mechanical ventilation with heat recovery energy-efficient residential houses of the Brest region - is presented in the paper.

В Брестской области в настоящее время построено четыре энергоэффективных жилых дома, в которых запроектированы системы механической вентиляции с рекуперацией теплоты: один в г. Малорите, два других в г. Пинске и один в г. Дрогичине. В этих домах применены механическая система вентиляции с утилизаторами теплоты, система отопления с газовым двухконтурным котлом для каждой квартиры. В 2014-2015 годах автор проводил мониторинг функционирования этих систем. Результаты исследования системы механической вентиляции приведены в этой статье.

Описание устройства и функционирования системы механической вентиляции энергоэффективных домов № 34 по ул. Юной (г. Пинск) и № 2 по ул. Несенюка (г. Малорита) (поподъездная рекуперация).

Запроектирована централизованная приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением и утилизацией тепла.

Схема системы вентиляции предполагает установку приточно-вытяжного агрегата на каждую секцию жилого дома (в доме 2 секции). Агрегаты устанавливаются на чердаке в венткамерах. Свежий приточный воздух подогревается в теплообменнике-утилизаторе теплом удаляемого воздуха. Для догрева воздуха до необходимой температуры служит встроенный электронагреватель. От установки по системе воздухопроводов воздух поступает в жилые помещения и кухни квартир. Для перетока воздуха из жилых комнат в прихожую, коридоры, кухню, санузел и ванную в дверях этих помещений устанавливаются переточные решетки. Удаление воздуха предусматривается из кухонь – 90 м³/час, из ванн – 25 м³/час. Для удаления воздуха из санузлов (25 м³/час) устанавливаются канальные вентиляторы. Для очистки кухонного воздуха устанавливается электрический воздухоочиститель, а также на воздуховоде решетка с фильтром. В случае когда механическая вентиляция не будет работать, клапан с электроприводом откроет естественный вытяжной канал. В ванной также предусмотрен канал для естественной вытяжки с установленной на нем решеткой с ручным регулированием живого сечения. По квартире воздухопроводы прокладываются под подвесным потолком. Раздача воздуха осуществляется потолочными диффузорами.

В результате исследования системы механической вентиляции энергоэффективных домов установлено следующее:

– система механической вентиляции не функционирует, с момента эксплуатации дома включалась всего несколько раз в № 34 по ул. Юной (г. Пинск) и один раз в доме по ул. Несенюка (г. Малорита). У жильцов отсутствует мотивация для ее долговременного включения (для получения качественных результатов необходимо функционирование системы как минимум месяц) и проведения обследования, поэтому был проведен только визуальный осмотр вентиляционной камеры, который показал, что установленное в ней оборудование соответствует проекту и находится в рабочем состоянии;

- в результате исследования системы вентиляции квартир установлено, что в некоторых квартирах (до 6%) демонтированы клапаны с электроприводом на вентиляционных решетках и вентиляционные отверстия полностью заделаны в результате ремонта;
- по результатам обследования и замеров скоростей движения воздуха установлено, что во многих каналах естественной вентиляции присутствует обратная тяга (опрокидывание вентиляции). Эту проблему указывают и 36% жильцов (данные анкетирования).

Описание устройства и функционирования системы механической вентиляции энергоэффективного дома № 36 по ул. Юной (г. Пинск) (поквартирная рекуперация).

Запроектирована приточно-вытяжная вентиляция с утилизацией тепла. Схема системы вентиляции предполагает размещение вентиляционного агрегата АВТУ-150 в квартире, в подсобном помещении. Свежий приточный воздух по системе воздуховодов, проложенных под подвесным потолком, через диффузоры, подается в жилые комнаты и кухню квартиры. Удаление воздуха предусматривается из кухни – 90 м³/час, ванных и туалетов – 25 м³/час. Воздух из жилых помещений поступает в прихожую, коридоры и туалетные комнаты через переточные решетки, установленные в дверях помещений. При включении механической вентиляции естественный вытяжной канал в кухне закрывается автоматическим запорным клапаном с электроприводом. Воздух в кухнях очищается электрическим воздухоочистителем и через съемную потолочную решетку с фильтром РШ-1 (400x100). В туалетной комнате установлен канальный вентилятор Вентс 125К, который срабатывает при включении света.

В результате исследования системы механической вентиляции энергоэффективного дома установлено следующее:

- по данным исследования и анкетирования систему механической вентиляции эксплуатируют всего 4 квартиры, причем только одна из них (квартира №1) - регулярно. В 4 квартирах установки рекуперации тепла вообще демонтированы. Причины неиспользования системы механической вентиляции показаны на рисунке 1;

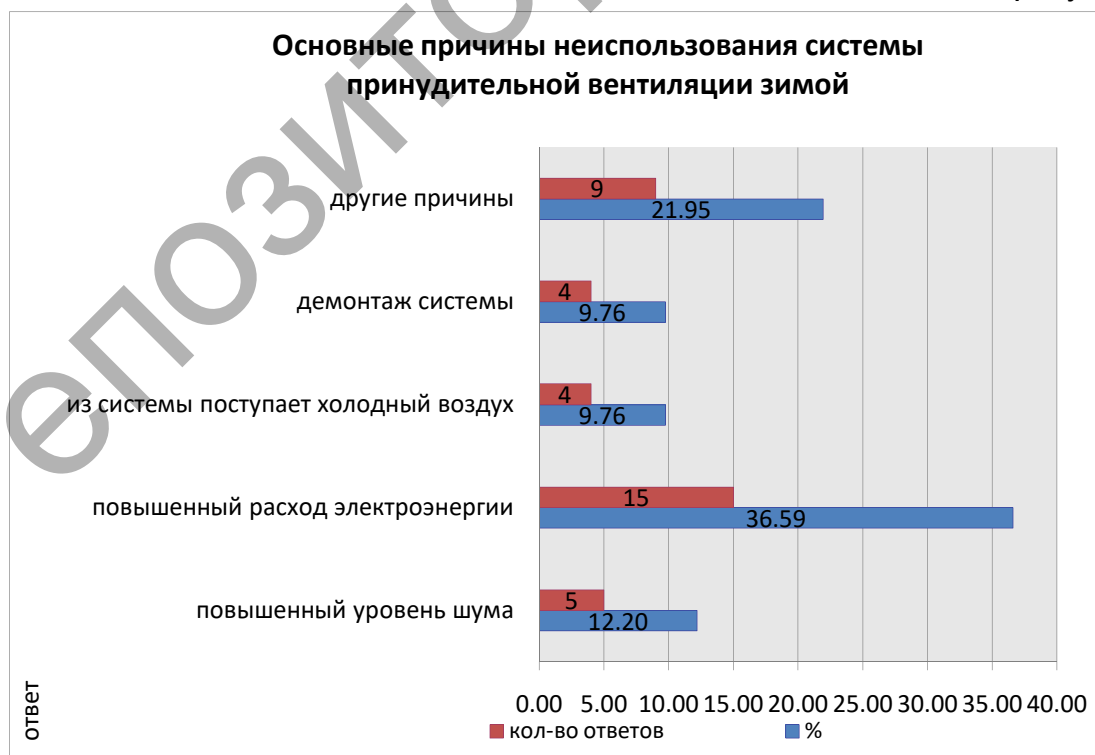
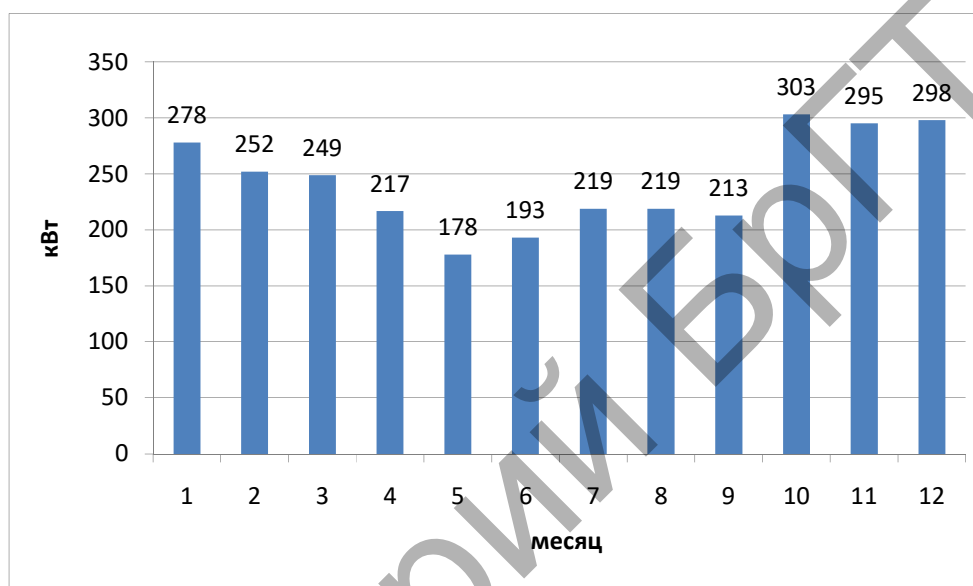


Рисунок 1 – Основные причины не использования системы механической вентиляции

– установлено, что в квартире 1 в среднем поддерживаемая температура внутреннего воздуха составляет 22–23⁰С (на момент исследования 22,7⁰С при влажности воздуха 38,8%), а система механической вентиляции используется регулярно только в ночное время, в течение дня при необходимости выполняется проветривание за счет открывания окон.

Для анализа работы системы механической вентиляции квартиры № 1 дома № 36 по ул. Юной (г. Пинск) (поквартирная рекуперация) построены диаграммы, иллюстрирующие потребление газа и электроэнергии по месяцам года (рисунок 2, 3).

2013



2014

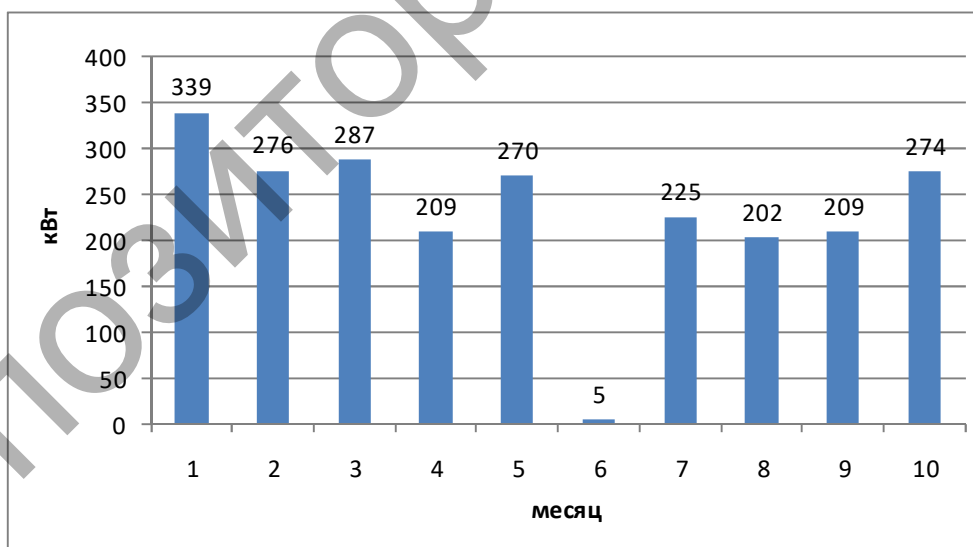
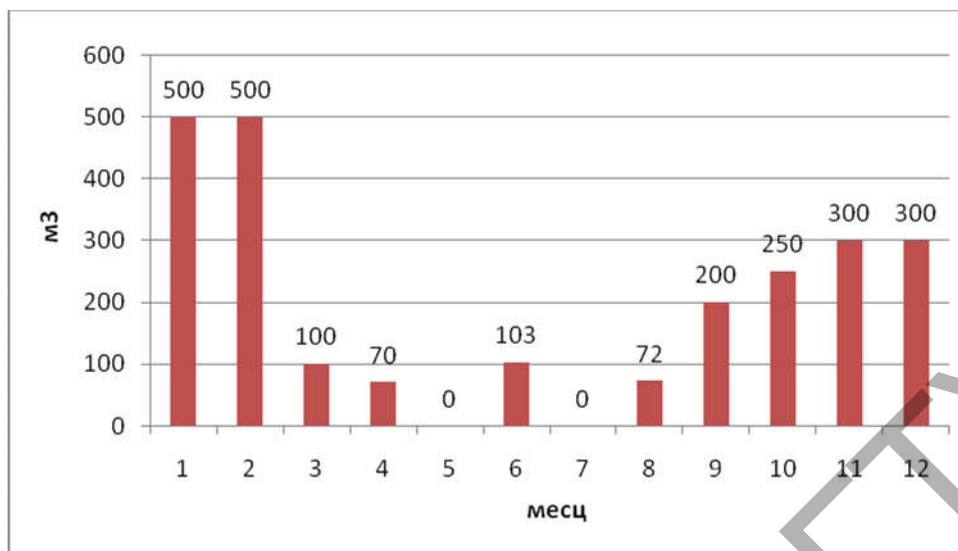


Рисунок 2 – Помесячные расходы электроэнергии квартиры № 1 дома № 36

Следует отметить, что среднее потребление электроэнергии в квартире №1 – самое большое из всех квартир в доме (243 кВт·ч при среднем потреблении электроэнергии квартирами 156 кВт·ч в 2013 году, 230 кВт·ч при среднем потреблении электроэнергии квартирами 153 кВт·ч в 2014 году).

Среднее потребление газа в квартире № 1 – одно из самых больших из всех квартир в доме (258 м³ при среднем потреблении газа квартирами 142м³ в 2013 году, 172 м³ при среднем потреблении газа квартирами 110м³ в 2014 году).

2013



2014

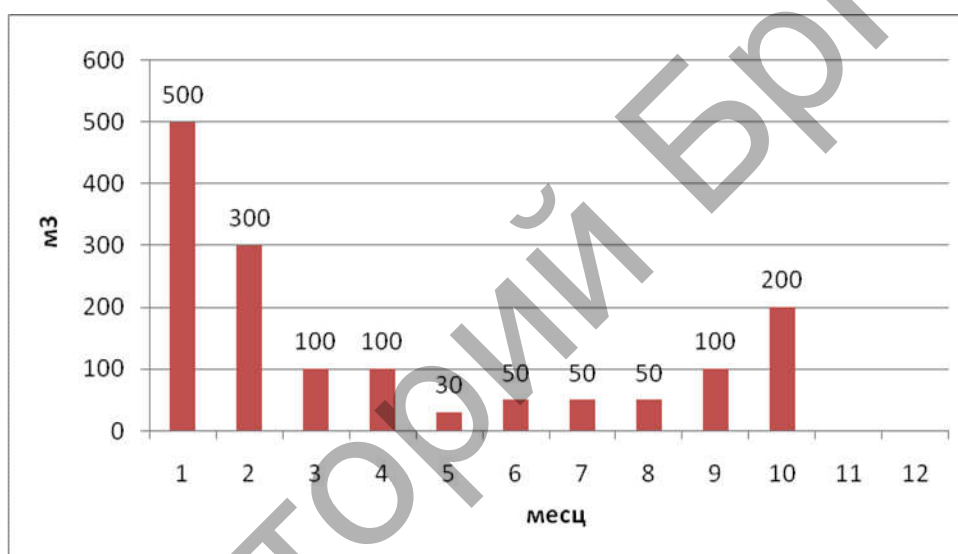


Рисунок 3 – Помесячные расходы газа квартиры № 1 дома № 36

На основании полученных данных по квартире №1 отсутствует возможность выполнить сравнение потребления газа в квартире с действующей теплоутилизационной установкой и в квартире без нее и сделать объективные выводы, так как сравнительный анализ возможен только для квартир, имеющих одинаковый воздухообмен, а в квартирах без применения механической вентиляции он, как правило, ниже. Однако можно сделать вывод о том, что при регулярном применении системы механической вентиляции довольно значительно возрастает расход потребляемой квартирой электроэнергии, что приводит к неиспользованию жильцами системы механической вентиляции.

Таким образом, система механической вентиляции энергоэффективных домов находится, в основном, в рабочем состоянии, но не функционирует из-за отсутствия заинтересованности жильцов в ее работе, в основном, по причине большого расхода потребляемой установками теплоутилизации электроэнергии.

Экспериментальные исследования по определению коэффициента эффективности утилизации тепла теплообменника-утилизатора.

Основным элементом систем механической приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха с утилизацией тепла является теплообменник-теплоутилизатор теплоты, содержащийся в удаляемом воздухе. Эти системы могут оснащаться теплообменниками-теплоутилизаторами нескольких типов:

- рекуперативными – на базе пластинчатых воздухо-воздушных теплообменников;
- регенеративными – с вращающейся теплоаккумулирующей насадкой;
- с промежуточным теплоносителем с теплообменниками «жидкость – воздух»;
- на базе тепловых трубок.

По своему исполнению в многоэтажных жилых домах теплоутилизаторы могут быть центральными на весь дом (или группу квартир) и индивидуальными (поквартирными).

Тип теплообменника-теплоутилизатора для применения в системах вентиляции определяется в каждом конкретном случае в зависимости от характеристик утилизируемой воздушной среды.

При работе теплообменник-утилизатор позволяет до 85% тепла удаляемого воздуха передать приточному воздуху, что существенно снижает затраты тепловой или электрической энергии в системах приточно-вытяжной вентиляции. Эффективность теплоутилизации зависит от типа применяемого теплоутилизатора.

Эффективность теплоутилизаторов различных типов по известным данным следующая:

- пластинчатый рекуперативный теплообменник-теплоутилизатор – до 75%;
- вращающийся регенеративный теплообменник-теплоутилизатор – до 85%;
- теплообменник-теплоутилизатор на базе тепловых трубок – до 65%;
- теплообменник-теплоутилизатор с промежуточным теплоносителем – до 85% [1,2].

В рассматриваемом энергоэффективном жилом доме установлены агрегаты вентиляционные теплоутилизационные, укомплектованные теплообменниками-утилизаторами на базе тепловых трубок АВТУ-150 в каждой квартире (всего 40 шт).

Агрегаты с теплообменниками-теплоутилизаторами на базе тепловых трубок могут применяться для утилизации тепла, содержащегося в удаляемом системами вентиляции воздухе жилых, административных и общественных зданий.

Принцип работы тепловой трубки показан на рисунке 4 [3].

Тепловая трубка представляет собой герметичный металлический сосуд из алюминия или меди с наружным алюминиевым оребрением. Наружное оребрение предназначено для увеличения коэффициента теплопередачи воздуху. Внутри трубки заправлен хладагент. Теплый воздух омывает оребрение тепловой трубки и приводит к испарению содержащегося в ней фреона за счет передачи тепла. Фреон переходит в газообразную фазу и за счет конвекции поднимается в верхнюю зону трубки, которая омывается холодным воздухом. При этом фреон конденсируется, и тепло, образующееся в процессе конденсации, передается холодному воздуху, нагревая его. Конденсат фреона по внутренним стенкам трубки стекает в нижнюю зону, где снова происходит его испарение.

этом фреон конденсируется, и тепло, образующееся в процессе конденсации, передается холодному воздуху, нагревая его. Конденсат фреона по внутренним стенкам трубки стекает в нижнюю зону, где снова происходит его испарение.

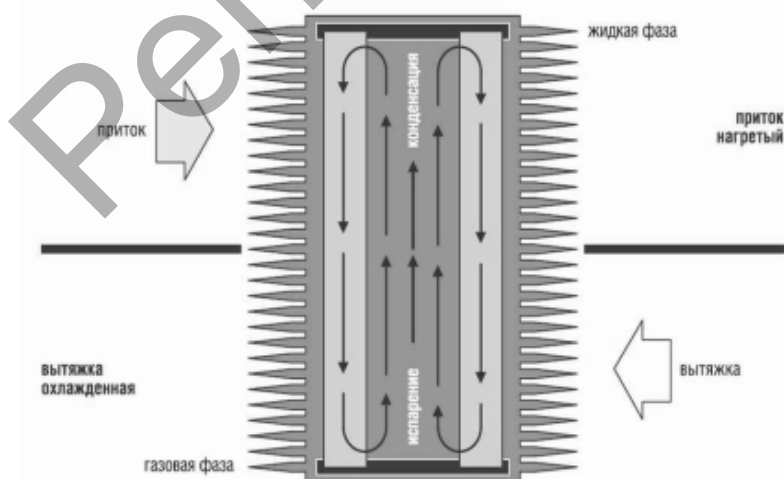


Рисунок 4 – Принцип действия тепловой трубки

Таким образом, если нижняя половина трубки находится в потоке теплого воздуха, а верхняя в потоке холодного воздуха, то процесс передачи тепла происходит непрерывным образом. Теплообменник-утилизатор представляет собой набор тепловых трубок, которые скомпонованы в трубную решетку «шахматного» типа. Трубная решетка имеет определенное количество трубок в ряду по фронту движения воздуха и определенное количество трубок по глубине по ходу воздуха. Ширина и глубина теплообменника определяется расчетом, исходя из необходимой мощности теплообменника и минимизации его аэродинамического сопротивления. Воздушные потоки в таком теплообменнике разделены непроницаемой перегородкой, что препятствует их смешиванию.

На эффективность работы системы механической приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией тепла в первую очередь влияет эффективность самого теплообменника-теплоутилизатора. Таким образом, первоочередной задачей является определение эффективности теплообменников-теплоутилизаторов, примененных в вентиляционных агрегатах рассматриваемых энергоэффективных домов. Для этого в данной работе на базе установки АВТУ-300 разработана экспериментальная установка с теплообменником на тепловых трубках, схема которой приведена на рисунке 5. Используемый в вентиляционном агрегате АВТУ-300 теплообменник-теплоутилизатор на тепловых трубках по устройству аналогичен теплообменникам-теплоутилизаторам установок АВТУ-150, примененных в рассматриваемом энергоэффективном доме, и произведен тем же изготовителем (ООО «Альтернатива», г. Брест).

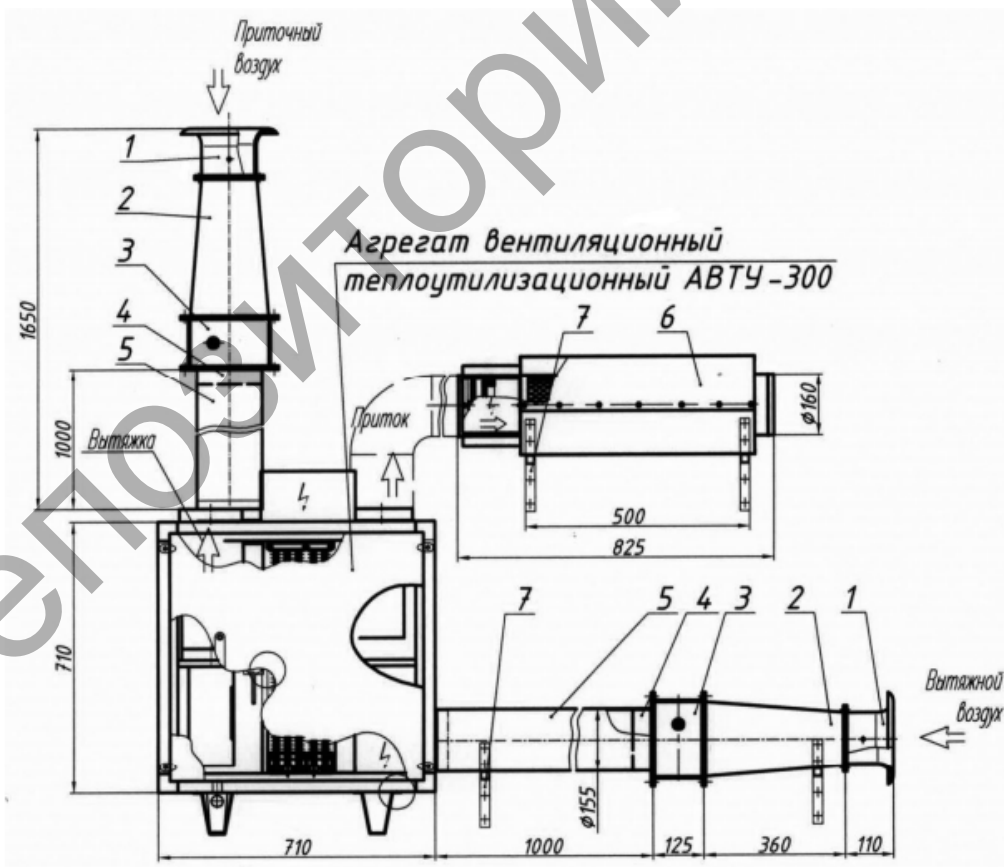


Рисунок 5 – Схема экспериментальной установки для определения эффективности теплообменника-теплоутилизатора: 1 – сопло Вентури, 2 – переход с диаметра 120 мм на диаметр 200 мм, 3 – воздушный клапан с ручным приводом, 4 – патрубок, 5 – воздуховод, 6 – глушитель шума, 7 – кронштейн.

Основным элементом стенда является вентиляционный агрегат теплоутилизационный, в корпусе которого размещается теплообменник-рекуператор на тепловых трубах с общим оребрением, приточный и вытяжной вентиляторы, фильтры воздушные, блок управления.

В состав стенда также входят:

- два сопла Вентури, предназначенных для измерения расхода воздуха в приточном и вытяжном каналах;
- два воздушных клапана КВ 200х200 с ручным приводом для регулирования расхода воздуха в приточном и вытяжном каналах;
- шумоглушитель с электронагревателем воздуха;
- соединительные элементы воздухопроводов.

Для определения коэффициента эффективности утилизации тепла теплообменника-утилизатора необходимо запустить агрегат в работу и обеспечить перемещение приточного и вытяжного воздуха через теплообменник агрегата, возможность измерения расхода воздуха на приточном и вытяжном каналах агрегата и температур воздуха.

Исследования приточно-вытяжных установок с утилизацией теплоты удаляемого воздуха для определения реального коэффициента эффективности применяемого теплоутилизатора выполнялись в зимний период. Для проведения исследований были выбраны дни с температурой наружного воздуха, близкой к средней температуре наружного воздуха за холодный период года. Эти условия наиболее интересны, так как позволяют приблизиться к реальным условиям эксплуатации рекуператоров.

Для определения коэффициента эффективности утилизации тепла теплообменника-утилизатора обеспечивалось перемещение приточного и вытяжного воздуха через теплообменник запущенного агрегата. Отсчеты по приборам во время испытаний проводились при установившихся режимах испытываемого агрегата. Измерение скорости воздуха осуществляется электронным дифференциальным манометром ДМЦ-01М с пневмометрической трубкой, которые соединены между собой резиновой трубкой. Измерение температуры и относительной влажности воздушных потоков проводилось с помощью термогигрометра ТГЦ-МГ4 и термоанемометра testo 410-1.

Теплоутилизационная установка работает в трех режимах, отличающихся расходом воздуха, получаемых изменением частоты вращения вентиляторов. Исходя из этого, эксперименты проводились для трех режимов работы установки.

Усредненные экспериментальные данные по результатам опытов следующие:

- температура приточного воздуха до установки $t_{пр 1}$ – от $-7,6^{\circ}\text{C}$ до $+10,6^{\circ}\text{C}$;
- температура приточного воздуха после установки $t_{пр 2}$ – от $+4^{\circ}\text{C}$ до $+15,6^{\circ}\text{C}$;
- температура вытяжного воздуха до установки $t_{выт1}$ – от $+12,9^{\circ}\text{C}$ до $+19^{\circ}\text{C}$;
- температура вытяжного воздуха после установки $t_{выт2}$ – от $+5,4^{\circ}\text{C}$ до $+16,4^{\circ}\text{C}$;
- скорость движения воздуха в вытяжном канале установки – 1,8-2 м/с (1 режим), 2,6–2,8 м/с (2 режим), 3–3,3 м/с (3 режим);
- скорость движения воздуха в приточном канале установки – 2-2,4 м/с (1 режим), 2,8–3,3 м/с (2 режим), 3,3–3,8 м/с (3 режим);
- влажность приточного воздуха до установки – от 87 до 95,5%;
- влажность приточного воздуха после установки – от 38,4 до 75,5%;
- влажность вытяжного воздуха до установки – от 27,3 до 74,2%;;
- влажность вытяжного воздуха после установки – от 42,4 до 86,4%.

На основании экспериментальных данных были определены коэффициенты эффективности исследуемых рекуператоров. Для определения эффективности использовалось следующее выражение [1]:

$$\eta = \frac{(t_{\text{вд}} - t_{\text{в2}}) \cdot c_{\text{вд}} \cdot G_{\text{вд}}}{(t_{\text{вд}} - t_{\text{в2}}) \cdot c_{\text{вв}} \cdot G_{\text{вв}}}, \% \quad (1)$$

где $t_{\text{пр1}}$ - температура приточного воздуха до установки $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{пр2}}$ - температура приточного воздуха после установки $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{выт1}}$ - температура вытяжного воздуха до установки $^{\circ}\text{C}$; $G_{\text{пр}}$ - расход воздуха в вытяжном канале установки, кг/ч; $G_{\text{выт}}$ - расход воздуха в приточном канале установки, кг/ч; $c_{\text{пр}}$ - удельная теплоемкость приточного воздуха, кДж/(кг·К); $c_{\text{выт}}$ - удельная теплоемкость вытяжного воздуха, кДж/(кг·К).

Произведенные расчеты показали эффективность теплоутилизационной установки на тепловых трубах, примененной в энергоэффективных домах Брестской области, в пределах от 54 до 63,3%. Среднее значение эффективности составило 58%. По паспортным данным установки АВТУ-150 эффективность теплоутилизации составляет 63% при температуре наружного воздуха -21°C . При проведении экспериментов ставилась цель исследовать рекуператор не при максимально благоприятных для него условиях работы (максимальном перепаде температур наружного и внутреннего воздуха), а при температурах, приближенных к реальным условиям эксплуатации рекуператоров. Среднее значение эффективности рекуператора в среднем только на 5% меньше паспортного значения, и получены эти значения при средней температуре наружного воздуха не ниже $-7,6^{\circ}\text{C}$. Таким образом, исследования подтвердили эффективность примененной установки АВТУ-150 на уровне паспортных значений. Эти значения соответствуют и данным по установкам с рекуператорами аналогичных конструкций зарубежных аналогов.

Таким образом, исследования подтвердили эффективность теплоутилизационной установки с пластинчатым рекуператором производства ООО «Альтернатива» на уровне паспортных значений. Эти значения также соответствуют и данным по установкам с рекуператорами аналогичных конструкций зарубежных аналогов.

Заключение

Система механической вентиляции энергоэффективных домов находится, в основном, в рабочем состоянии, но не функционирует из-за отсутствия заинтересованности жильцов в ее работе, в основном, по причине большого расхода потребляемой установками теплоутилизации электроэнергии

Рассматриваемые теплоутилизационные установки имеют реальную эффективность около 60%, что не ниже заявленных потребителем значений и согласуется с общемировыми данными по аналогичным установкам.

Список литературы

1. Протасевич, А.М. Энергосбережение в системах теплогасоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М. : Инфра-М, 2012.
2. Строй, А.Ф., Колодяжный, В.В. Расчет и проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – Киев. : изд. Феникс, 2014.
3. Баскаков, А.П., Мунц, В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – М. : Бастет, 2013.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ С УСТАНОВКАМИ СО СЛОЕВЫМ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ГОРЕНИЕМ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ

Д.В. Новосельцева

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, РБ, vgnovoseltsev@yandex.ru

Variants of technological schemes of the units with layer pulsing burning for disposal of gaseous emissions - is presented in the paper.

Введение

Установки со слоевым пульсирующим горением (СПГ) рекомендуется применять для обезвреживания «дурнопахнущих» веществ газообразных выбросов предприятий:

– коммунального хозяйства: городских очистных сооружений, систем локальной очистки на производственных предприятиях, насосных станций систем канализации;

– сельского хозяйства: птицефабрик, животноводческих ферм, свиноводческих комплексов, перерабатывающих цехов этих предприятий;

– по производству продуктов из отходов животного происхождения (мясокостной муки, животного кормового и технического жира) сельскохозяйственных и мясоперерабатывающих предприятий (например, ИЧПТУП «Сария Био-Индастрис» (Брестская область), где обработка «дурнопахнущих» выбросов не производится);

– производящих химические средства защиты растений (протравливатели семян, гербициды, фунгициды, инсектициды) (например, ООО «Фрадеса» (Брестская область), где обработка «дурнопахнущих» выбросов не производится).

Следует отметить, что установки могут эффективно работать при переменных концентрациях и составе отходов, наличии в них пыли и смолистых веществ. Целесообразно использовать установки с СПГ, осуществляющие нагрев вторичного теплоносителя, то есть с теплообменниками.

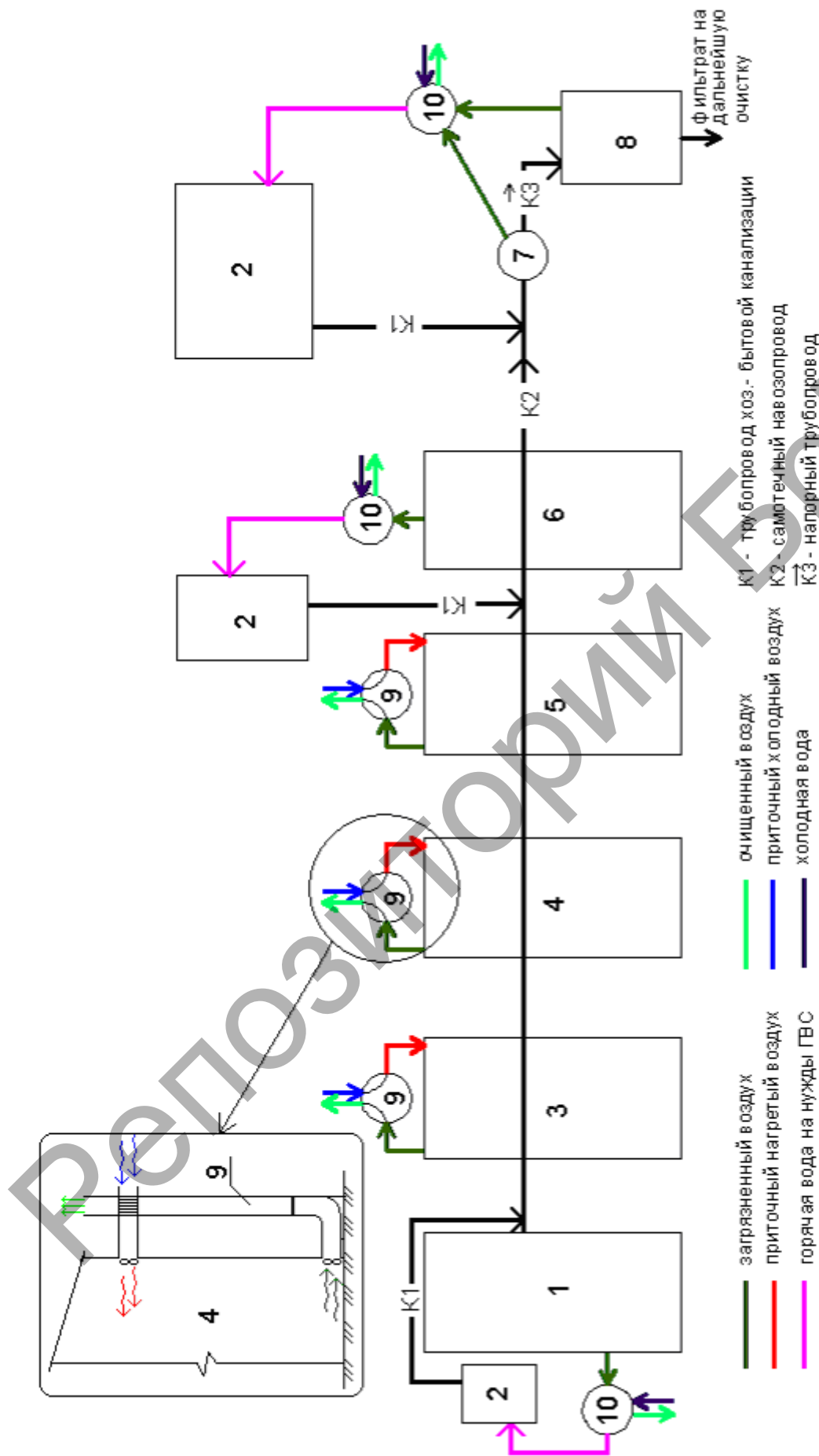
В зависимости от конкретных условий возможно применение установок с СПГ в различных технологических схемах.

Возможные варианты технологических схем с установками со слоевым пульсирующим горением.

Для свинокомплексов рекомендуется технологическая схема, с примерами утилизации теплоты, представленная на рисунке 1.

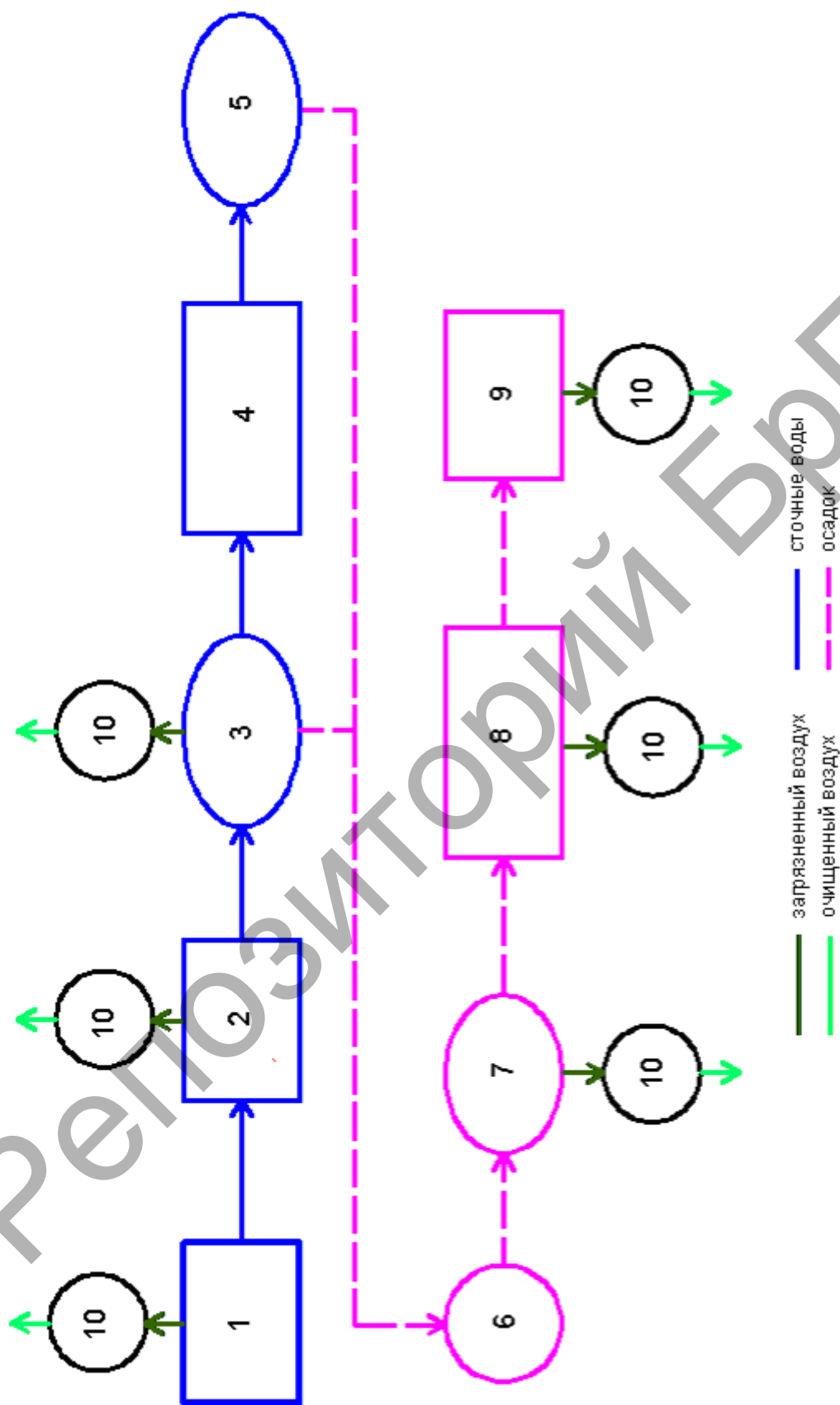
Основным источником «дурнопахнущих» веществ на свинокомплексах является вентиляционный воздух от свинарников и сооружений по сбору, транспортировке и утилизации навоза.

При устройстве вентиляции предусматривается отсос загрязненного воздуха из нижней части помещения, а поступление свежего воздуха в верхнюю часть. Принудительная вентиляция с обогревом предусматривается для супоросных маток, поросят-отъемышей, подсосных свиноматок. Чистый воздух подается при помощи вентиляторов с предварительным нагревом электрическими, паровыми, водяными калориферами и др.



1 - свинарник для холодных маток и хряков, 2 - производственное здание, 3 - свинарник для супоросных маток, 4 - свинарник для опороса, 5 - свинарник для поросят-отъемышей, 6 - свинарник-откормочник, 7 - приемный резервуар с насосной станцией, 8 - помещение фильтрации и сушки, 9 - установка с СПГ для очистки и вытяжного и нагрева приточного воздуха, 10 - установка с СПГ для очистки вентиляционного воздуха и нагрева воды для ГВС

Рисунок 1 – Предлагаемая схема применения установок с СПГ на свинокомплексе



1 – насосная станция, 2 – предочистка (здание решеток, песколовки), 3 – первичные отстойники, 4 – аэротенки, 5 – вторичные отстойники, 6 – метантенки, 7 – илоуплотнители, 8 – цех механического обезживания осадка, 9 – иловые площадки, 10 – установка для обезвреживания газовых выбросов со слоевым пульсирующим горением

Рисунок 2 – Предлагаемая схема применения установок с СПП на сооружениях по очистке сточных вод и обработке осадков

Суть предложенной схемы состоит в следующем. Вытяжной воздух от свиарников 3, 4 и 5 поступает в установку для термического обезвреживания с СПГ 9. Приточный холодный воздух нагревается в теплообменнике установки 9 за счет теплоты уходящих газов. Вентвыбросы от свиарников 1 и 6, а также от приемного резервуара насосной станции 7 и помещения фильтрации и сушки 8 обрабатываются в установке с СПГ 10, где также осуществляется утилизация теплоты уходящих газов путем нагрева воды на нужды ГВС производственных зданий 2.

Для очистных сооружений канализации населенных пунктов и локальных очистных сооружений промышленных предприятий рекомендуется технологическая схема, представленная на рисунке 2, где источниками «дурнопахнущих» веществ являются непосредственно сооружения по очистке сточных вод и обработке осадков. Такими сооружениями механической очистки сточных вод являются здания решеток, песколовки, первичные отстойники, обработки осадков сточных вод – цеха механического обезвоживания осадков, илоуплотнители вертикального и радиального типов, иловые площадки. Для реализации предлагаемого метода необходимо предусматривать сбор загрязненного дурнопахнущими выбросами воздуха, что не требует больших денежных затрат для сооружений, располагаемых в зданиях (цеха механического обезвоживания осадков, здания решеток). Сбор загрязненного воздуха для открытых сверху сооружений является более сложным, так как необходимо создание перекрытий над сооружениями. В ряде случаев денежные затраты будут небольшие: например, применяемые на большом количестве очистных станций небольшой и средней производительности по сточным водам илоуплотнители вертикального типа имеют относительно небольшой диаметр в плане - от 6 до 9 метров. За рубежом (например, в Европейских странах – Франция, Германия и др.) с успехом применяются очистные станции канализации с полностью перекрытыми всеми сооружениями станции. Необходимо отметить, что сбор загрязненного воздуха будет необходим не только при применении установок с СПГ, но и во всех других возможных методах обработки.

Технико-экономическая оценка.

Для определения экономической целесообразности применения предлагаемой технологии с установками слоевого пульсирующего горения проведена технико-экономическая оценка, заключающаяся в сравнении технических параметров и стоимости предлагаемой и известных технологий (таблица 1).

Таблица 1 – Технико-экономическая оценка различных технологий по обезвреживанию «дурнопахнущих» выбросов

Технические параметры и стоимость	Технология очистки/ Марка установки		
	Сорбционно-каталитический/ «УЛОВ-500» *	Плазмо-каталитический/ «ПЛАЗКАТ 0,5/2» **	Слоево пульсирующее горение
Производительность по воздуху, м ³ /час	500	500	500
Аэродинамическое сопротивление, кПа	0,5	0,3	0,1-0,2
Диапазон концентраций вредных веществ, мг/м ³	до 10	до 100	не ограничен
Количество сорбента-катализатора, кг	20	10	—
Температура очищаемого воздуха, °С	20-30	20-130	не ограничена
Межрегенерационный период, ч	350-400	10000	—
Энергопотребление	нет данных	2 кВт·ч	0,76 м ³ /ч природ. газа [1]
Стоимость установки, \$	1922	2600	660

* – данные предприятия-изготовителя ЗАО «Машоборудование» РБ г. Минск

** – данные предприятия-изготовителя ООО «Электроэкология» РФ г. Санкт-Петербург

Определенную сложность представляет собой определение эксплуатационных затрат при использовании сорбционно-каталитического и плазмо-каталитического метода, так как в установках этих методов необходимо производить регенерацию и периодически полную замену загрузки. Затраты энергии на регенерацию и периодичность полной замены загрузки предприятия-изготовители, как правило, не указывают. Например, в сорбционно-каталитической установке «УЛОВ-500» необходимо производить регенерацию алюмохромфосфатного сорбента-катализатора через каждые 350–400 часов работы в течение 0,5–1 часа при температуре 350–400°C.

Температура воздуха (газа) на входе в установки «УЛОВ-500» и «ПЛАЗКАТ 0,5/2» не должна превышать 30°C и 130°C соответственно, запыленность (содержание взвешенных веществ) не более 20 мг/м³, влажность воздуха не должна превышать 95%. При превышении данных параметров необходимо перед установкой применить оборудование для снижения температуры, запыленности и влажности соответственно.

Приведенные в таблице 1 данные показывают значительную дешевизну предлагаемой технологии по сравнению с существующими аналогами.

Глушение шума в установках с СПГ

Отрицательным свойством пульсирующего горения является излучение шума от работающих установок СПГ. Измерение уровня шума при СПГ, а также спектральный анализ шума проводился в [1].

Измеренные значения уровня шума при СПГ газа представлены в таблице 2. Измерения производились на расстоянии 1 м от работающей установки (дополнительные меры для глушения шума не предпринимались) [1].

Таблица 2 – Уровень шума при слоевом пульсирующем горении (СПГ) газа

Измеряемый параметр	Лин	A	B	C
Уровень звуковой мощности, L (дБ)	107	87	100	107

Уровень звукового давления при работе установки СПГ, частотно скорректированный по шкале «А», учитывающей неравномерную чувствительность человеческого уха к колебаниям различной частоты, составил 87 дБА, что превышает предельнодопустимые уровни звука на рабочих местах [2] (80 дБА при средней физической нагрузке и 75 дБА в случае тяжелых нагрузок). Спектр излучаемого установкой шума (на расстоянии 1 м от работающей установки) представлен на рисунке 3 [1].

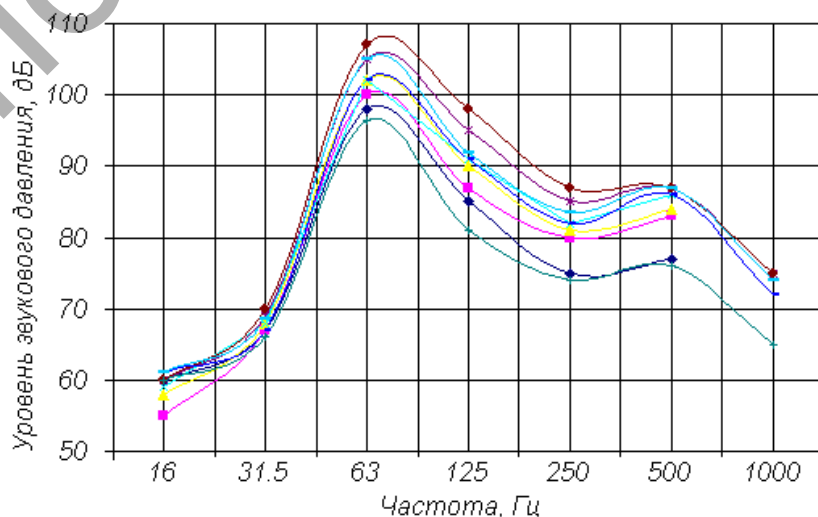


Рисунок 3 – Анализ шума при СПГ газа

Частота октавного фильтра, которой соответствует максимальный уровень звукового давления, равна 63 Гц. Вместе с явно выраженной первой гармоникой видно наличие обертонов с частотой 500 Гц, однако их амплитуды на несколько порядков меньше амплитуды первой гармоники и при технических расчетах ими можно пренебречь.

Для практического использования установок с СПГ необходимы мероприятия по снижению излучаемого шума.

В качестве дополнительных мер по глушению шума предлагается следующее:

- в конструкции избегать движущихся частей, а также частей с низкой жесткостью,
- использовать кожух-глушитель, работающий по принципу резонатора Гельмгольца.

Глушение шума осуществляется как на входе воздуха, так и на выходе продуктов сгорания. Расчет размеров кожуха – глушителя производится из условия равенства частоты колебаний давления при слоевом пульсирующем горении и резонансной частоты глушителя ($f_c = f_p$).

Частота колебаний давления при слоевом пульсирующем горении определяется длиной резонансного канала. Резонансная частота для одиночного резонатора Гельмгольца, на которой наблюдается максимальное поглощение энергии согласно [3], определяется из соотношения:

$$f_p = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{K_g}{V}}, \quad (1)$$

где K_g – проводимость горла отверстия; V – внутренний объем полости, m^3 .

Проводимость горла можно рассчитать по формуле:

$$K_g = \frac{S_o}{l_o + 0.8d_e}, \quad (2)$$

а внутренний объем полости:

$$V = \frac{\pi L_1}{4} (D_1^2 - D^2), \quad (3)$$

где S_o – площадь сечения горла резонатора, $S_o = \pi Dh$, m^2 ;

l_o – длина горла резонатора (толщина стенки трубы-резонансного канала), м;

d_e – эквивалентный диаметр горла резонатора, м;

L_1 – высота полости (половина длины кожуха), $L_1 = \frac{L}{2} + h$, м;

D_1 – наружный диаметр кожуха, м;

В случае коаксиального расположения кожуха, горло резонатора Гельмгольца имеет форму цилиндра, эквивалентный диаметр которого:

$$d_e = \frac{4S_o}{P} = \frac{4\pi Dh}{\pi D} = 4h, \quad (4)$$

где P – периметр горла, м; h – высота горла, м.

Задаваясь величиной h и воспользовавшись вышеприведенными выражениями, при известном диаметре D и длине L определяем наружный диаметр кожуха – глушителя. При диаметре резонансного канала $D=0,1$ м, длине $L=2$ м, высоте горла $h=0,05$ м, частоте колебаний давления $f_c=63$ Гц и толщине стенки $l_o=0,005$ м наружный диаметр кожуха-глушителя составляет $D_1=0,28$ м.

Уровень снижения шума для данного глушителя можно определить по формуле [3]:

$$\Delta L_k = 10 \cdot \lg \left[1 + \frac{(\alpha - \alpha^{-1})^2}{4} \cdot \sin^2(\beta \cdot l_k) \right], \quad (5)$$

где α – степень расширения, равная отношению площади сечения кожуха к площади сечения горла;

l_k – длина кожуха, м; β – волновое число, м⁻¹.

Ориентировочно при частоте 63 Гц уровень снижения шума для данной конструкции глушителя по формуле (5) составит 11 дБ.

Нанесение на внутренние поверхности кожуха в местах максимального излучения шума звукопоглощающего материала.

В качестве такого может быть использована базальтовая вата, которая не только обладает звукопоглощающими свойствами, но и является негорючим материалом. Зависимость коэффициента звукопоглощения от частоты излучаемого шума для различной толщины базальтовой ваты представлена на рисунке 4 [4].

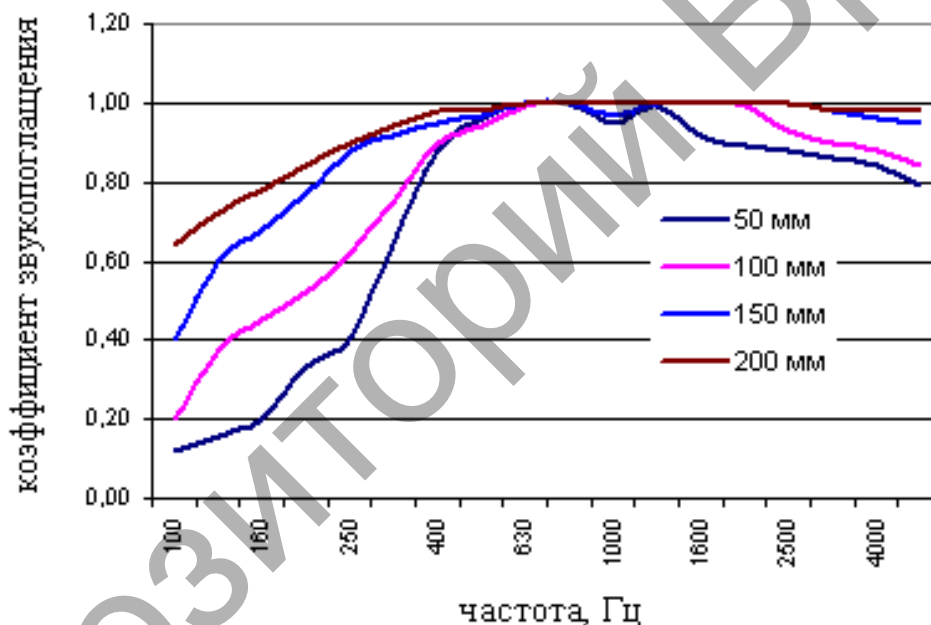


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента звукопоглощения базальтовой ваты от частоты излучаемого шума

Применение базальтовой ваты толщиной 5 сантиметров при частоте излучаемого шума 63 Гц позволит снизить уровень шума на 9 дБ.

Таким образом, реализация вышеизложенных мер позволяет снизить уровень шума до значений 65÷70 дБ, что не превышает предельнодопустимые уровни звука на рабочих местах.

Заключение

На основании теоретических и экспериментальных исследований предложены варианты технологических схем с установками слоевого пульсирующего горения, которые характеризуются простотой конструкции, изготовления и сборки.

Технико-экономическая оценка различных технологий по обезвреживанию «дурнопахнущих» выбросов показала экономическую целесообразность применения предлагаемой технологии с установками слоевого пульсирующего горения.

Предложены способы для глушения шума в установках со слоевым пульсирующим горением, позволяющие снизить уровень шума до значений, не превышающих предельнодопустимые уровни звука на рабочих местах.

Список литературы

1. Тимошук, А.Л. Разработка контактного водонагревателя со слоевым пульсирующим горением газообразного топлива: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / А.Л. Тимошук. – Брест, 2005. – 112 с.
2. Об утверждении Санитарных правил и норм 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» : постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 31 дек. 2002 г., № 158 // Эталон – Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2003.
3. Иванов, Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Н.И. Иванов. – М. : Логос, 2008. – 424 с.
4. Акустический комфорт/ ROCKWOOL (официальный сайт). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rockwool.ru/stonewool/acousticcomfort> – Дата доступа : 13.08.2014.

УДК 631.674: 633.18.03

ПОВЫШЕНИЕ ДРЕНИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ ПРИДУНАЙСКИХ РИСОВЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Приходько Н.В., Филипчук Б.А., Мендусь С.П., Рокочинский А.Н.

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно, Украина, pryhodko_natalia@ukr.net

Substantiated the necessity and proposed solutions for improving the design of rice checks on the Danube RIS by placing of additional closed drainage combined with the deep loosening for enhance of their drainage capacity in the conditions of realization resource-saving water use technology.

Введение.

Рисосеяние является одной из наиболее потенциально продуктивных и в то же время самых водо- и энергозатратных отраслей сельского хозяйства. В связи с этим, выполнение современных технологических, экономических и экологических требований к функционированию действующих рисовых оросительных систем (РОС) Украины требует соблюдения ресурсосберегающих принципов ведения аграрного производства.

Обязательным условием эффективного функционирования большинства отечественных рисовых систем, в том числе и Придунайских РОС Одесской области, расположенных на территориях со сложными гидрогеологическими условиями, является обеспечение необходимого промывного водного режима засоленных почв, который достигается путем поверхностного затопления рисовых чеков при соответствующих объемах водоподдачи и водоотведения.

По этой причине существует объективная необходимость разработки новых и усовершенствования существующих режимов орошения риса и технологий водопользования, которые бы соответствовали требованиям ресурсосбережения с соблюдением промывного водного режима орошаемых засоленных почв.

Важность решения данного вопроса обостряется в условиях изменений климата, которые могут привести к снижению естественной влагообеспеченности зоны рисосеяния и соответственно необходимости повышения норм водоподдачи при выращивании затопляемой культуры риса.

Актуальность данного вопроса согласуется с «Общегосударственной целевой программой развития водного хозяйства и экологического оздоровления бассейна р. Днепр на период до 2020 года» и региональными программами восстановления отрасли рисосеяния в Одесской и Херсонской областях.

Основная часть

Основываясь на результатах собственных исследований, а также исследований Института риса НААН Украины, нами обоснована ресурсосберегающая технология водопользования при выращивании риса для условий Придунайских РОС Одесской области как одного из наиболее перспективных районов рисосеяния Украины.

Реализация такой технологии водопользования как в современных, так и прогнозируемых с учетом изменений климата условиях Придунайских РОС предусматривает снижение объемов водоподдачи и водоотведения на 40% по сравнению с их проектными значениями.

При этом особенностью рисовых чеков Придунайских РОС, размещенных на территориях со сложными гидрогеологическими условиями, является образование характерных зон фильтрации, распространение которых по площади и профилю рисового чека представлено на рис. 1 и 2 (С.М. Гончаров, П.И. Мендусь, С.М. Кропивко, С.П. Мендусь и др.):

- зона выпора грунтовых вод, расположена вдоль оросительных каналов;
- застойная зона – центральная часть рисового чека;
- зона активной фильтрации, находится вдоль дренажно-сбросных каналов.

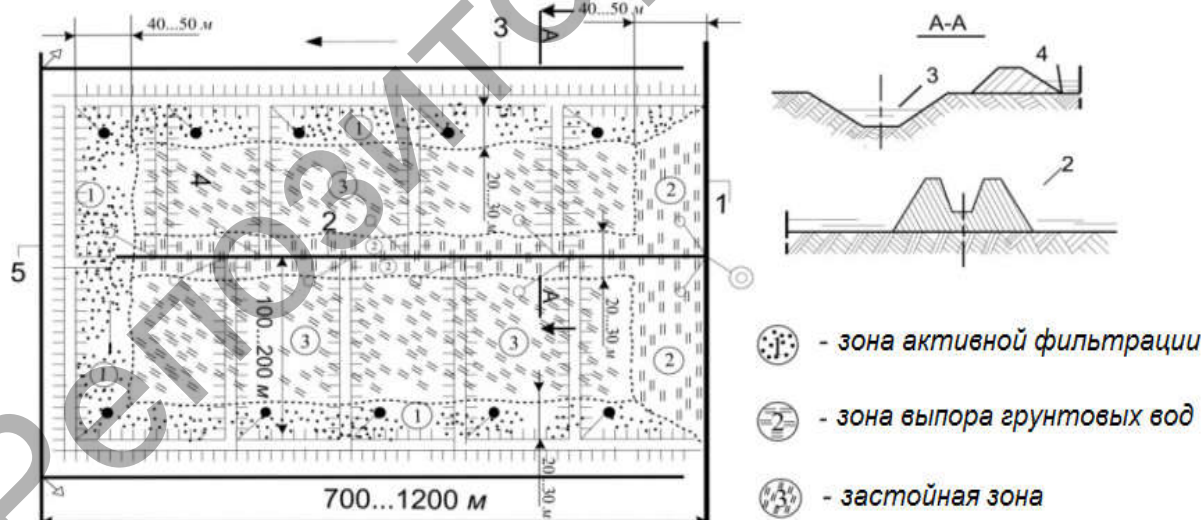


Рисунок 1 – Схема формирования характерных зон фильтрации по площади рисовых чеков Придунайских РОС: 1 – внутривладельческий распределитель; 2 – картвый оросительный канал; 3 – картвый дренажно-сбросной канал; 4 – рисовый чек; 5 – участковый дренажно-сбросной канал

Размер зоны выпора грунтовых вод составляет около 10...15 м, зона активной фильтрации – 20...30 м, остальная часть рисового чека (60...160 м) – это застойная зона.

Ситуация относительно формирования характерных зон фильтрации и распространения фильтрационных потоков по профилю рисовых чеков в исследуемых условиях имеет следующий вид (рисунок 2).

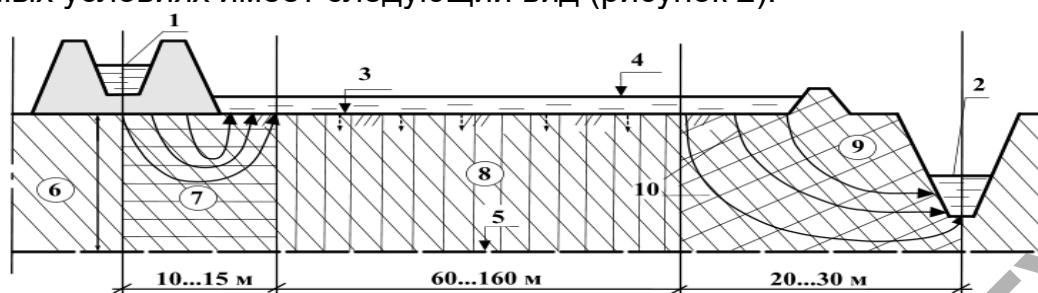


Рисунок 2 – Схема формирования характерных зон фильтрации по профилю рисового чека: 1 – картовый оросительный канал; 2 – картовый дренажно-сбросной канал; 3 – поверхность почвы; 4 – поверхность воды; 5 – граница расчетного слоя почвы; 6 – расчетный слой почвы; 7 – зона выпора грунтовых вод; 8 – застойная зона; 9 – зона активной фильтрации; 10 – линии направлений движения фильтрационных потоков

Реализация ресурсосберегающей технологии водопользования со сниженными нормами водоподачи и водоотведения способна усилить имеющуюся неравномерность фильтрации и промывки по площади и профилю рисового чека.

Решение этой проблемы обуславливает необходимость повышения дренирующей способности рисовых чеков. В условиях РОС усиление дренирующей способности рисовых чеков возможно при усовершенствовании их конструкции, в том числе и путем устройства систематического внутрикартового закрытого дренажа.

Данное мероприятие является достаточно эффективным, однако его реализация требует значительных капиталовложений в реконструкцию рисовых систем. Поэтому, учитывая условия современной рыночной экономики, существует необходимость поиска альтернативных и менее затратных путей решения данного вопроса.

В связи с этим нами предложено устройство дополнительной внутрикартовой закрытой материальной дрены вдоль существующих открытых картовых оросительного и дренажно-сбросного каналов в комплексе с глубоким рыхлением почв (рисунок 3).

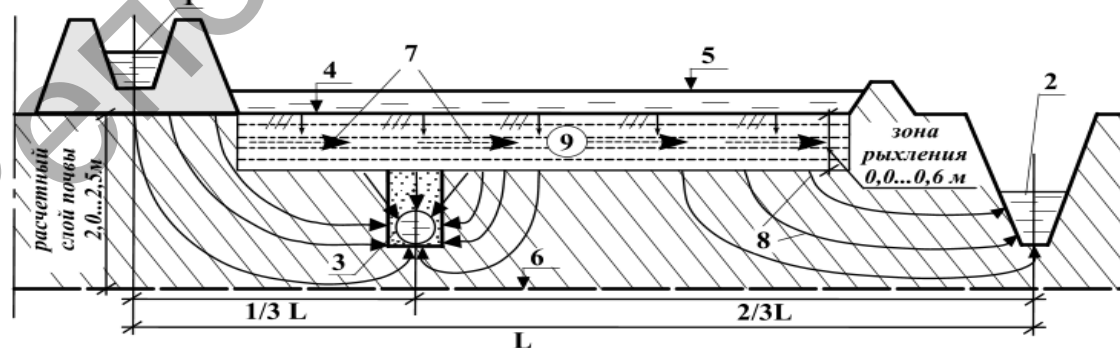


Рисунок 3 – Схема усовершенствования конструкции рисового чека: 1 – картовый оросительный канал; 2 – картовый дренажно-сбросной канал; 3 – дополнительная внутрикартовая закрытая материальная дрена; 4 – поверхность почвы; 5 – поверхность воды; 6 – граница расчетного слоя почвы; 7 – линии направления рыхления почвы; 8 – линии направления движения фильтрационных потоков; 9 – зона рыхления; L – ширина чека.

Выполнение глубокого рыхления не требует значительных затрат и является достаточно эффективным мероприятием. При этом поддержание соответствующего эффекта возможно только при выполнении эксплуатационного глубокого рыхления, рекомендуемая периодичность которого для рисовых систем составляет 1–2 года.

В зависимости от гидрологических, почвенных и других условий применяют сплошное, полосное и щелевое рыхление. Среди перечисленных видов глубокого рыхления наибольшее распространение и практическое использование имеет щелевое глубокое рыхление.

Следовательно, наиболее благоприятным решением вопроса повышения дренирующей способности почв Придунайских РОС является устройство дополнительной внутрикартовой закрытой материальной дрены в комплексе с выполнением глубокого щелевого рыхления (рисунок 3).

Эффективность глубокого рыхления зависит от многих показателей, одним из которых является выбор трактора-тягача нужной мощности. Не менее важно выполнять глубокое рыхление в оптимальные сроки при рекомендуемой влажности почвы, которая составляет 60...80% от предельной полевой влагоемкости (ППВ) или наименьшей влагоемкости (НВ) почв.

Глубокое рыхление почвы, в первую очередь, влияет на их структуру, следовательно, и на плотность, скважность и твердость, а за тем, опосредованно через них, на водно-физические свойства; водный, воздушный, тепловой и другие режимы почв, что и приводит к существенному увеличению водопроницаемости почвы по всей глубине рыхления, главным образом в подпахотном слое.

Выполнение глубокого рыхления поверхностного слоя почвы, который в сложных гидрологических условиях Придунайских РОС является практически водоупором, повлияет на изменение его водно-физических характеристик и способствует усилению водопроницаемой способности.

Степень рыхления почв, изменение их водно-физических свойств и водопроницаемости зависят от примененного способа и средства глубокого рыхления.

Традиционно при расчетах дренажа РОС используют балансовый и аналитический методы, последний из которых основывается на применении известных методик, формул и рекомендаций С.Ф. Аверьянова, В.И. Аравина, В.В. Ведерникова, А.Н. Костякова, О.Я. Олейника, В.М. Шестакова и других, а также метод математического моделирования на аналоговых вычислительных машинах.

Методы расчета дренажа рисовых систем получили развитие благодаря работам О.Я. Олейника, М.И. Жовтонога. В частности, М.И. Жовтоногом была разработана методика расчета параметров дренажа с учетом скоростей фильтрации воды с поверхности рисовых полей с адаптацией к условиям Придунайских РОС

$$V_y = \frac{q_2 \cdot \text{Sh} \frac{2 \cdot \pi \cdot h_d}{B} \cdot k_r}{B \cdot \text{Ch} \frac{2 \cdot \pi \cdot h_d}{B} - \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot x}{B}}, \quad (1)$$

$$q_2 = \frac{2 \cdot k \cdot H}{0,73 \cdot m_D \cdot \lg \frac{m_D}{\pi \cdot d}}, \quad (2)$$

где V_y – скорость фильтрации воды с поверхности рисовых полей, м/сут; q_2 – интенсивность инфильтрационного питания, м/сут; h_d – глубина заложения дрены, м; B – расстояние между дренами, м; k – коэффициент фильтрации почвы, м/сут; k_r – поправочный коэффициент ($k_r = 2...6$) H – расчетный напор ($H \cong h_0$), м; D – расстояние от оси дрены до водоупора, м; d – наружный диаметр дрены, м.

Глубокое рыхление, выполненное в оптимальные сроки и с соблюдением всех нормативных требований, улучшает водно-воздушный режим, условия питания и развития растений и, соответственно, повышает продуктивность мелиорированных земель. При этом повышается эффективность работы дренажа и появляется возможность для увеличения расстояния между дренами, что, в свою очередь, позволяет уменьшить удельные капиталовложения в проекты строительства и реконструкции рисовых систем.

По мнению авторов, влияние глубокого рыхления на эффективность работы дренажа следует оценивать путем сравнения междреннего расстояния до и после его выполнения через соответствующий коэффициент (ρ), который определяется отношением

$$\rho = \frac{B'}{B} = \sqrt{\frac{P' \cdot \delta}{P \cdot \delta'}} \quad (3)$$

где ρ – коэффициент изменения расстояния между дренами; B и B' – расстояние между дренами до и после выполнения глубокого рыхления, м; P и P' – влагопроводность почвы до и после выполнения глубокого рыхления, м²/сут; δ и δ' – суммарная водоотдача до и после выполнения глубокого рыхления.

При определении влияния глубокого рыхления на эффективность работы дренажа на рисовых системах коэффициент изменения (ρ) целесообразно определять по показателю скорости фильтрации воды с поверхности рисовых полей (V_f) или показателю интенсивности инфильтрационного питания (q_2), которые рассчитываются по приведенным формулам М.И. Жовтонога с адаптацией к условиям Придунайских РОС (2, 3).

Заключение

Таким образом, наиболее целесообразным вариантом повышения дренирующей способности почв Придунайских РОС в условиях реализации ресурсосберегающей технологии водопользования является усовершенствование конструкции рисовых чеков путем устройства дополнительной внутрикартовой закрытой материальной дрены в комплексе с глубоким щелевым рыхлением.

Согласно соответственным расчетам это позволит повысить водопроницаемость поверхностного слоя почв и общую дренированность карты-чека в 1,4 раза, а также обеспечит необходимую равномерность фильтрации и промывки по его площади и профилю.

Список литературы

1. Жовтоног, Н.И. О расчете скоростей фильтрации воды на рисовых чеках / Н.И. Жовтоног // Мелиорация и водное хозяйство. – К. : Урожай, 1984. – Вып.61. – С. 7–11.
2. Корнбергер, В.Г. Ресурсозберігаюче та природоохоронне нормування водокористування при вирощуванні рису (на прикладі Краснознам'янського зрошувального масиву): дис.канд. с.-г. наук / Корнбергер В.Г. – Херсон. – 2009. – 268 с.
3. Мендусь, С.П. Обґрунтування необхідності та посилення дренажності поливних карт рисових систем (на прикладі Придунайських рисових зрошувальних систем): автореф. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації» / Мендусь С.П. – Рівне, 2012. – 21 с.
4. Науково-методичні рекомендації до застосування глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах Західного Полісся України / В.С. Гавриш, В.Ф. Ткачук, С.В. Кравець, А.М. Рокочинський, П.І. Мендусь, Г.І. Сапсай та ін. – Рівне, 2013. – 46 с.
5. Підвищення ефективності рисових зрошувальних систем України: науково-методичні рекомендації. – Херсон – Рівне, 2011. – 104 с.

6. Приходько, Н.В. Удосконалення технології водорегулювання рисового поля Придунайських РЗС на еколого-економічних засадах з урахуванням змін клімату / Н.В. Приходько // Вісник НУВГП. – 2014. – № 2(66): Технічні науки. – С. 57–65.

7. Рис в Україні: [кол. мон.] / за ред. д.т.н., проф., член-кор. НААНУ В.А. Сташука, д.т.н., проф. А.М. Рокочинського, д.е.н., проф. Л.М. Грановської. – Херсон: Гринь Д.С., 2014. – 976 с.

8. Рокочинський, А.М. Удосконалення технології водорегулювання та нормування водо- і енергокористування Придунайських РЗС на еколого-економічних засадах з урахуванням змін клімату / А.М. Рокочинський, В.О. Турченко, В.В. Заєць, Н.В. Приходько // Меліорація і водне господарство: Міжвідом. темат. наук. зб. – К. : Аграрна наука, 2014. – Вип. 101. – С. 200–207.

9. Рокочинський, А.М. Ефективність роботи дренажу та обґрунтування його параметрів при глибокому розпушенні / Рокочинський А.М., Коптюк Р.М., Волк П.П. // Вісник НУВГП. – 2015. – № 3(71): Технічні науки. – с. 286–293.

10. Ромащенко, М.І., Собко, О.О., Савчук, Д.П., Кульбіда, М.І. Про деякі завдання аграрної науки у зв'язку зі змінами клімату. Наукова доповідь-інформація. – Київ : Інститут гідротехніки і меліорації УААН, 2003. – 46 с.

11. Технологія нормованого водокористування при вирощуванні рису з врахуванням вимог ресурсо- та природозбереження в господарствах України. / В.В. Дудченко, В.Г. Корнбергер, В.В. Морозов та ін. За ред. професора В.В. Морозова – Херсон : Вид-во ХДУ, 2009. – 103с.

12. Чернёнок, В.Я., Брусиловский, Ш.И, Глубокое рыхление осушаемых тяжёлых почв. – М. : Колос, 1983. – 63 с.

УДК 697.148

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ АВТОРИТЕТАМИ ТЕРМОСТАТИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ

Рачковская Е.Д.

Учреждение образования “Брестский государственный технический университет”, г. Брест, Республика Беларусь, vig.tv-3@mail.ru

By the author of the article a research problem has been identified attempts to assess the efficiency of water heating systems of premises at different authorities of thermostatic valves and compare with the recommendations of the manufacturers

Введение

Повышение энергетической безопасности Республики Беларусь является одним из приоритетных направлений государственной политики. Эта цель ставит соответствующие задачи перед строительной отраслью, в частности, при проектировании инженерных систем зданий.

Системы водяного отопления работают путем выработки тепла в одном месте (котел или котлы) и передачи его к отдельным частям здания по трубам. Часто в зданиях с такими системами существует одна или пара зон нагрева, но отсутствует или ограничена возможность контролировать тепло в отдельных помещениях.

Эффективное управление системами отопления оказывает большое влияние как на экономию энергии, так и на тепловой комфорт жильцов. По данным Министерства энергетики США, перегрев может увеличить объем потребления топлива на отопление на целых 3% за каждый градус по Фаренгейту выше требуемой заданной температуры точки пространства (Департамент США по энергетике, 2013). В зависимости от типа системы отопления существует несколько

вариантов решения такой проблемы и балансировки системы, в результате которой может быть уменьшена центральная подача тепла.

Рассмотрим один из способов – использование запорно-регулирующей арматуры, в частности, терморегулятора.

1. Терморегуляторы. Общие сведения

Впервые автоматический радиаторный терморегулятор систем водяного отопления зданий был разработан основателем компании “Данфосс” Медсом Клаузенем в 1943 году. Более 40 лет назад терморегуляторы “Данфосс” впервые появились в России, тогда ими оборудовались лишь элитные постройки. Сегодня они ставятся в тысячах зданий.

Радиаторные терморегуляторы позволяют расходовать именно такое количество энергии, которое необходимо в данный момент для поддержания комфортной температуры в помещении.

По данным исследования, проведенного Рейнско-Вестфальским техническим университетом (г. Ахен, Германия), по сравнению с ручным регулировочным вентилем термостаты с жидкостным или парафиновым наполнением позволяют сэкономить 31% энергии, с газовым наполнением – 36%, использование электронных радиаторных термостатов – до 46% энергии на отопление.

Современный терморегулятор позволяет не только создать комфортные условия для труда и отдыха человека, но и в значительной мере снизить потребление энергоресурсов и уменьшить техногенное воздействие на окружающую среду.

Работа терморегуляторов превратила системы отопления в активно действующие и адекватно реагирующие на любые отклонения внутренних и внешних факторов системы. Их наличие существенно повлияло на гидравлический режим.

1.1. Конструкция и установка

Терморегулятор автоматического отопительного прибора системы водяного отопления здания (сокращенно терморегулятор или термостат) – запорно-регулирующая арматура автоматического регулирования теплоотдачи отопительного прибора на уровне, соответствующем установленной потребителем температуры воздуха.

Он автоматически поддерживает заданную температуру воздуха в помещении путем количественного регулирования теплоносителя, поступающего в отопительный прибор.

Терморегулятор состоит из двух соединенных воедино частей – термостатической головки и термостатического клапана, которые разграничены соответственно стрелками *a* и *b* на рисунке 1.

Основным элементом термостатической головки является датчик. Он отслеживает температуру воздуха в помещении и реагирует на ее изменения. Представляет собой замкнутую тонкостенную цилиндрическую оболочку с продольной гофрированной боковой поверхностью, называемой сильфоном. Сильфон заполнен эксклюзивным веществом. Реагируя на изменение температуры воздуха, он расширяется и сжимается (подобно пружине). Через нажимной штифт воздействует на шток и затвор клапана. Затвор перекрывает проход теплоносителю, осуществляя количественное регулирование теплового потока теплообменного прибора.

Терморегуляторы комплектуют регуляторами различных конструкций. Выбор осуществляют в зависимости от типа помещения, места установки теплообменного прибора, вида системы обеспечения микроклимата и степени ее автоматизации:

– терморегулятор со встроенным датчиком. В корпусе термостатической головки расположены регулятор температуры (пружина настройки) и сильфон, выполняющий также роль датчика температуры воздуха;

– терморегулятор со встроенным регулятором температуры и выносным датчиком. В термостатической головке расположены регулятор температуры и сильфон. Датчик температуры отдален от сильфона и сообщен с ним капиллярной трубкой;

– терморегулятор с выносным регулятором температуры и датчиком в одном корпусе. Выносной регулятор соединен через капиллярную трубку с сильфоном на термостатическом клапане;

– терморегулятор с разделенным выносным датчиком и регулятором температуры. Датчик и регулятор соединены капиллярными трубками с сильфоном в термостатической головке;

– использование электронного управления. Электронный программатор, прикрепленный стационарно к стене, дистанционно воздействует на термопривод либо микромотор, которые перемещают шток клапана.

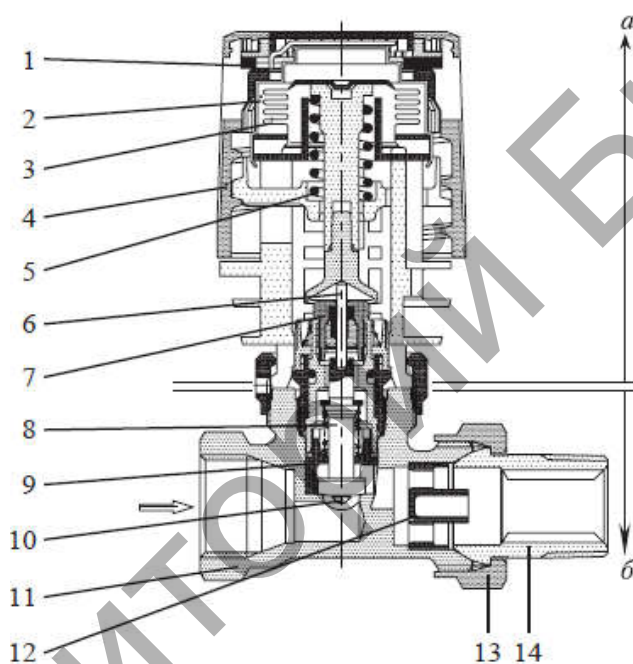


Рисунок 1 – Терморегулятор со встроенным датчиком: а – регулятор (термостатическая головка): 1 - ограничительные кольца; 2 - термостатический датчик (сенсор); 3 - сильфон; 4 - шкала настройки; 5 - пружина настройки; 6 - нажимной штифт; 7 - уплотнительное кольцо; б – термостатический клапан: 8 - шток; 9 - дроссель; 10 - конус клапана (затвор); 11 - корпус клапана; 12 - стабилизатор потока; 13 - накидная гайка; 14 - патрубок (хвостовик)

Термостатические клапаны имеют конструктивные отличия, вызванные особенностями системы и применяемыми в ней теплообменными приборами. Термостатические клапаны различают по назначению – для однетрубных и двухтрубных систем отопления. Первые, по сравнению со вторыми, характеризуются повышенной пропускной способностью.

Вторые, как правило, объединяют в себе функцию гидравлического увязывания циркуляционных колец, осуществляемую чаще всего встроенным дросселирующим механизмом предварительной настройки. Настройку определяют на стадии проектирования и устанавливают при монтаже системы отопления. Предварительная настройка заключается в создании дополнительного гидравлического сопротивления с помощью плавно регулируемого извне дроссельного элемента – кольца, охватывающего конус клапана.

Предварительная настройка клапана необходима для балансировки отдельных радиаторных веток. Если предварительная настройка таких приборов, как радиаторные клапаны не была произведена, то радиаторы, требующие меньшую мощность, будут получать слишком большую мощность и диапазон регулирования снизится, так как клапан большую часть времени будет находиться в закрытом положении. С помощью предварительной настройки можно произвести регулировку максимального объемного потока, благодаря чему будет предотвращен недостаток или избыток снабжения и радиаторные клапаны будут работать в эффективном диапазоне регулирования.

Термостатические клапаны устанавливаются непосредственно на радиаторы либо конвекторы систем отопления. Прямоточные и угловые конструкции позволяют реализовать всевозможные способы подключения отопительных приборов к трубопроводам. Встраиваемые терморегуляторы предназначены для компакт-радиаторов. Комплектацию этими клапанами осуществляют на заводе-изготовителе отопительных приборов. Применяют в двухтрубных и однетрубных системах отопления.

Терморегуляторы размещают на подающей подводке к отопительному прибору при схеме движения теплоносителя "сверху – вниз".

При подборе терморегуляторов обращают внимание на конструкцию термостатического клапана – прямоточную или угловую и проектируют таким образом, чтобы термостатические головки находились вне влияния конвективных потоков от труб.

1.2. Авторитеты терморегулятора

В стандартах и технической литературе по радиаторным терморегуляторам используются три понятия авторитета:

a_{in} – (внутренний) авторитет терморегулятора, определяемый по EN 215 ч.1;

a – внешний авторитет терморегулятора (рекомендованный диапазон которого – 0,3...0,7);

a^* – общий авторитет терморегулятора, являющийся результатом умножения параметра a на a_{in} .

Определение по EN 215 ч.1

Внутренний авторитет терморегулятора a_{in} – отношение потерь давления, вызванных изначальным (конструктивным) перекрытием конусом клапана проходного сечения отверстия (щели между седлом и конусом клапана при его промежуточном положении), которые характеризуются разностью $\Delta P_1 - \Delta P_2$, к потерям давления ΔP_1 на термостатическом клапане (между входом и выходом),

$$a_{in} = \frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\Delta P_1}, \quad (1)$$

где ΔP_1 – общие потери давления на терморегуляторе, кПа; производители принимают равными 10 кПа в соответствии с европейской методикой тестирования EN 215 ч.1; ΔP_2 – потери давления при номинальном расходе G_N на терморегуляторе без потерь давления в регулируемом отверстии (при максимально открытом клапане).

Значение внутреннего авторитета в соответствии с EN 215 ч.1 определяют по формуле (1), при этом диапазон значений не регламентируют.

Данный параметр в явном виде существующих европейских методик гидравлического расчета не применяют. Поэтому в технических характеристиках терморегуляторов его преимущественно не предоставляют. В особенности это касается терморегуляторов с предварительной настройкой для двухтрубных систем отопления.

Для наглядности расчетов и оперативности манипулирования при увязывании циркуляционных колец, сохранении изначальных регулировочных характеристик терморегулятора в системе отопления, в предлагаемых компьютерных программах используют лишь понятие внешнего авторитета терморегулятора:

$$a = \frac{\Delta P_1}{\Delta P}, \quad (2)$$

Он характеризует отношение потерь давления на полностью открытом клапане ΔP_1 к потерям давления на регулируемом участке системы ΔP .

Общий авторитет терморегулятора a^* , по определению западноевропейской литературы, — произведение его внутреннего и внешнего авторитетов:

$$a^* = a_{in} \cdot a$$

при этом отсутствуют физическое толкование данного параметра и диапазон изменения его значений. Он так же, как и внутренний авторитет, не используется в предлагаемых компьютерных программах.

Также выделяют понятия:

базовый авторитет клапана a_b — отношение на полностью открытом клапане терморегулятора у отопительного прибора потерь давления в регулирующем сечении ΔP_{reg} (между затвором и седлом клапана) к потерям давления между входом и выходом ΔP_1 . Характеризует начальное отклонение от идеальной расходной характеристики клапана (зависимость между расходом теплоносителя через клапан и ходом штока клапана), вызванное конструктивными особенностями пути протекания теплоносителя внутри клапана.

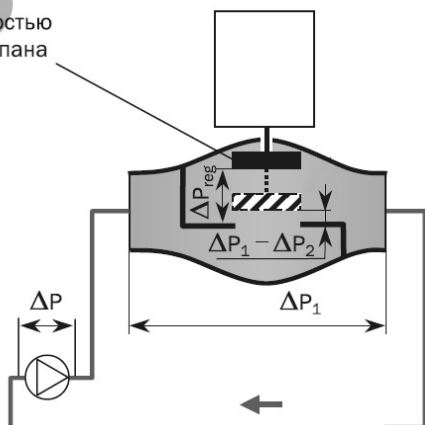
полный внешний авторитет клапана a^+ — отношение потерь давления в регулирующем сечении полностью открытого клапана ΔP_{reg} к потерям давления на регулируемом участке системы. Равен произведению базового и внешнего авторитетов клапана и характеризует рабочую расходную характеристику клапана, которая учитывает конструктивные особенности клапана и регулируемого участка.

Внутренний и внешний авторитеты относят к терморегуляторам у приборов помещения (радиаторов, конвекторов и др.). Ими определена конструктивная особенность расположения затвора терморегулятора при расчете системы отопления. Ими определяют возможность изменения потребителем температуры воздуха в помещении как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения от расчетного значения.

$$\frac{\Delta P_{reg}}{\Delta P_1} \times \frac{\Delta P_1}{\Delta P} = \frac{\Delta P_{reg}}{\Delta P} = a^+$$

$$\frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\Delta P_1} \times \frac{\Delta P_1}{\Delta P} = \frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\Delta P} = a^*$$

Позиция полностью открытого клапана



Таким образом, авторитеты клапана — отношения между различными перепадами давления теплоносителя внутри и снаружи клапана. Ими определяются регулировочные характеристики клапана и позволяют сделать систему регулируемой уже на стадии проектирования (рисунок 2).

Рисунок 2 — Авторитеты для терморегулятора

2. Влияние предварительной настройки на авторитеты терморегулятора

Терморегуляторы для систем обеспечения микроклимата производят с предварительной настройкой и без неё. Предварительная настройка предназначена для гидравлического уравнивания циркуляционных колец в двухтрубных системах. Её осуществляют, в основном, дросселирующей криволинейной щелью.

Дроссель 3 с криволинейной щелью 5 имеет возможность фиксированного вращения вокруг своей оси, при этом регулируется площадь совмещения криволинейной щели 5 с площадью выходного отверстия 4 (рисунок 3). Чем больше открывается проход для теплоносителя, тем меньше создаваемое гидравлическое сопротивление, и наоборот.

Кроме криволинейной щели в дросселе выполнено прямоугольное отверстие 7, площадь которого не менее площади выходного отверстия 4. При совмещении этих отверстий дроссель максимально открыт и не вносит дополнительного гидравлического сопротивления.

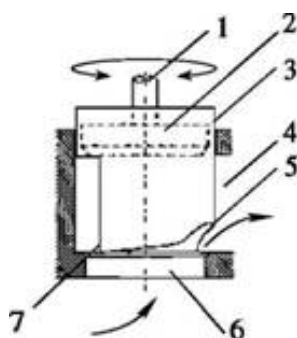


Рисунок 3 – Схема дросселя с криволинейной щелью:
1 – шток; 2 – затвор клапана; 3 – дроссель; 4 – выходное отверстие; 5 – криволинейная щель; 6 – входное (регулирующее) отверстие; 7 – прямоугольное отверстие дросселя

Каждое положение дросселя при повороте имеет фиксацию. Для этого вдоль оси штока оттягивают вверх подпружиненный цилиндр настройки и поворачивают до совпадения необходимого цифрового обозначения на шкале и засечки. Частичному открыванию соответствуют цифровые обозначения. Кроме того, существует возможность дополнительной установки дросселя в промежуточное положение между цифровыми обозначениями. Таким образом, с учетом позиции N (максимально открытое положение) имеется 14 фиксированных положений настройки. Это дает возможность с высокой точностью уравнивать гидравлическое сопротивление регулируемых участков.

Каждая настройка дросселя тарирована по гидравлическому сопротивлению. Ей соответствует пропускная способность терморегулятора. При этом, большому значению настройки соответствует меньшее сопротивление.

Снижение общего авторитета терморегулятора происходит при уменьшении настройки дросселя. Чем выше сопротивление дросселя (меньше значение настройки), тем круче расходная характеристика терморегулятора. Сопротивление дросселя производит эффект, подобный внешнему авторитету, но только внутри терморегулятора.

Дроссель, создавая дополнительное сопротивление внутри терморегулятора, влияет и на внутренний авторитет терморегулятора, что приводит к изменению распределения потока теплоносителя. Результирующее распределение потока можно рассматривать аналогично действию общего авторитета, только внутри терморегулятора.

Таким образом, потокораспределение двухтрубного регулируемого участка зависит от изначального базового авторитета терморегулятора, деформируемого дросселем терморегулятора и окончательно устанавливаемого внешним авторитетом терморегулятора.

3. Описание исследования

В лаборатории кафедры теплогазоснабжения и вентиляции БрГТУ на экспериментальном стенде были проведены исследования работы системы отопления с термостатическими клапанами с предварительной настройкой.

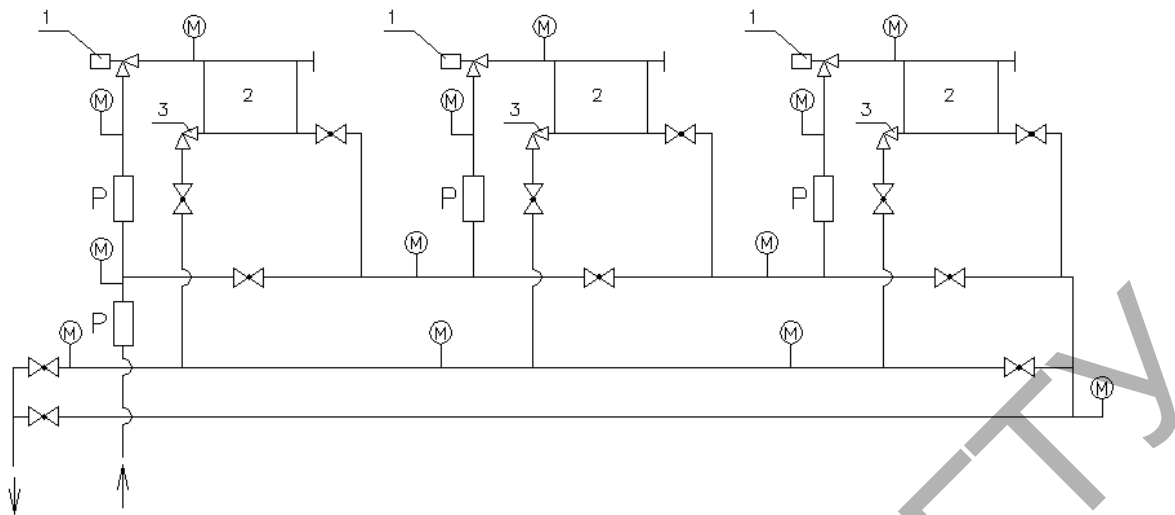


Рисунок 4 – Схема стенда: 1 – терморегулятор угловой, 2 – отопительный прибор, 3 – клапан запорный угловой, P – ротаметр, M – манометр

Во время работы системы измеряли:

- давление теплоносителя до и после циркуляционного насоса системы,
- давление перед и после термостатического клапана на приборе,
- общий расход теплоносителя в системе,
- расход на каждый включенный в работу прибор.

Изменяя предварительную настройку терморегулятора на отопительном приборе, фиксировали перечисленные выше параметры. По полученным результатам подсчитали авторитет терморегулятора в каждом случае и соответствующее ему изменение расхода теплоносителя. Авторитет клапанов изменялся от 0,2 до 0,9. Анализируя полученные данные, сделан вывод, что оптимальное значение авторитета находится в пределах от 0,3 до 0,8.

Заключение

Полученные в ходе исследования данные выявляют оптимальные значения общего авторитета терморегулятора, при которых термостатический клапан наиболее эффективно регулирует теплоотдачу отопительного прибора.

В соответствии с [1] рекомендуемый диапазон общего авторитета терморегулятора составляет 0,3...0,7, что близко к данным, полученным в ходе эксперимента. Общий авторитет определяет расчетное потокораспределение терморегулятора при его установке в систему отопления.

Данное соотношение можно охарактеризовать как коэффициент управляемости потоками, определяющий долю располагаемого давления системы или подсистемы отопления, приходящуюся на конус клапана при его движении с номинального к полностью открытому положению.

Для проектировщика это соотношение является проверкой верности гидравлического расчета при определении располагаемого давления в циркуляционном кольце, половину которого необходимо потерять на терморегуляторе при номинальном потоке без потерь давления в регулируемом сечении отверстия. Исходя из значения внутреннего и предлагаемых значений общего авторитета, находят допустимый диапазон проектного выбора потерь давления на терморегуляторе.

Диапазон значений внешнего авторитета при этом зависит от конструктивных особенностей терморегулятора, характеризуемых его внутренним авторитетом. С помощью варьирования внешнего авторитета появляется возможность достижения оптимального общего авторитета.

Список литературы

1. Пырков, В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика: 2-е издание, дополненное / В.В. Пырков. – Киев : ДП “Таки справы”, 2010. – 304 с.
2. Пырков, В.В. Особенности современных систем водяного отопления: 2-е издание, переработанное и дополненное / В.В. Пырков. – Киев : ДП “Таки справы”, 2003. – 176 с.
3. Пырков, В.В. На что влияют авторитеты / В.В. Пырков // ДанфоссINFO. – 2006 – № 4. – С. 8–9
4. Jordan Dentz, Eric Ansanelli. Thermostatic Radiator Valve Evaluation/ Jordan Dentz, Eric Ansanelli. - Oak Ridge: U.S. Department of Energy, 2015. – 41 с.

УДК 697.1

РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ПО ПРИНЦИПУ МИНИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Сальникова С.Р., Сопин Ю.Ю.

Учреждение образования “Брестский государственный технический университет”, г. Брест, Республика Беларусь, vig_bstu@tut.by

Costs for heating and ventilation make up a significant part of cost of building operation. It is necessary to equip a building with efficient ventilation system with heat recovery and air flow control as required to reduce cost. It will lead to energy savings in building and therefore to reduction in overall cost.

Введение

Раньше, приобретая какой-либо товар, мы смотрели только на цену, и выбирали то, что дешевле. В сложившейся ситуации необходимо рассматривать стоимость изделия с учетом затрат на нее в течение всего срока службы, которые включают покупную стоимость, затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, а также на возможный демонтаж и вывоз. При расчете совокупных затрат часто становится очевидным, что покупная стоимость составляет очень небольшую часть, часто около 10 %. Остальные 90 % уходят на эксплуатацию и техническое обслуживание.

Расходы на отопление и вентиляцию составляют значительную часть затрат на эксплуатацию здания. Чтобы их сократить, необходимо оснастить здание эффективной системой вентиляции с утилизацией тепла и регулированием расхода воздуха в соответствии с потребностью. Это приведет к экономии тепловой и электрической энергии в здании и, следовательно, к сокращению общих затрат. Не секрет, что при проектировании и монтаже многих объектов энергосберегающие технологии не применялись в виду дороговизны соответствующего оборудования. Рост цены на газ как основной энергоноситель делает проблему энергосбережения более актуальной.

Существуют некоторые стандартные технические решения, которые при сравнительно небольших материальных затратах способны привести к экономии затрат на энергоносители в холодный период года. Широко известны традиционные методы энергосбережения, связанные с уменьшением тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий и сооружений, а также снижением инфильтрации и эксфильтрации путем герметизации оконных проемов, дверей, чердачных и межэтажных перекрытий. Вместе с тем существуют инженерно-технические решения специализированного характера, обеспечивающие

средствами рациональной организации и конструктивного оформления систем вентиляции и кондиционирования воздуха существенное снижение энергопотребления. К числу таких решений относятся:

- рекуперация тепла;
- регулирование качества воздуха;
- частичная либо полная рециркуляция воздуха;
- использование тепловых насосов.

В вентиляционных системах, основанных на использовании естественной тяги, теплый воздух выходит через воздухопроводы, а приточный наружный воздух попадает внутрь за счет гравитационного и ветрового давления. В отличие от систем с принудительной вентиляцией для работы такой системы не требуется электроэнергия. Тем не менее, естественная вентиляция является причиной лишнего расхода тепловой энергии. Дело в том, что вместе с удаляемым воздухом из помещения уходит тепло.

Широкое внедрение в строительство современных теплосберегающих светопрозрачных конструкций и новых технологий утепления фасадов зданий снизило тепловые потери через окна и стены. Но по мере снижения тепловых потерь все большую роль стали играть потери тепла на подогрев вентиляционного воздуха. Это даже скорее не потери, а вынужденные затраты тепла, т.к. в холодное время года для поддержания комфортной температуры в жилом помещении приходится нагревать свежий воздух, поступающий извне. В современных зданиях с теплыми стенами и герметичными окнами доля тепла, идущего на подогрев вентиляционного воздуха, составляет около 50–60% от общих затрат тепла.

Как показала практика, реновация зданий, проводимая с целью снижения их энергопотребления, приводит к неизбежному ухудшению параметров микроклимата в помещениях, повышается влажность, температура, изменяется химический состав воздуха, что отрицательно влияет на здоровье людей и целостность ограждающих конструкций.

Снижение потребления ресурсов – улучшение качества жизни. В системах вентиляции энергосбережение можно реализовать за счет использования утилизации тепла уходящего воздуха. Реализация этого возможна только с применением механической приточно-вытяжной системы вентиляции. Использование рекуперации позволяет сократить энергопотребление на отопление на 30–50%. В таких системах тепло удаляемого воздуха используется для нагрева приточного воздуха.

Энергосбережение в механических вентсистемах возможно реализовать за счет использования двигателей вентиляторов с высоким КПД и низким потреблением электроэнергии.

Потребление электроэнергии при нагнетании воздуха определяет мощность вентилятора. Она представляет собой общее количество электроэнергии, потребляемой всеми вентиляторами в системе распределения воздуха, деленное на общий расход воздуха в здании при расчетной нагрузке в Вт/м³/сек. При этом она зависит как от одновременности включения, так и от фактического потребления. Это означает, что условия включения, а также плавное регулирование входят непосредственно в специфическое потребление и дополняют структуру установки с ее небольшими скоростями воздуха и незначительными потерями давления. Чтобы получить определяемую величину энергопотребления, пользователь и проектировщик должны заранее заложить специфическую мощность вентилятора. В нормативах проектирования для общественных зданий эти нормы предписывают качество воздуха, а также вентиляторы с изменяемой частотой вращения.

Об эффективности системы с точки зрения энергосбережения можно судить, сравнивая идеальную и реальную функциональные характеристики вентилятора.

Теоретически потребляемая мощность является функцией соотношения фактического расхода к величине расхода при полной нагрузке. Таким образом, уменьшение расхода для полной нагрузки до уровня при половинной нагрузке обеспечивает сокращение потребляемой вентилятором мощности до 0,5 от энергопотребления при полной нагрузке. Вентиляторы с двухпозиционным регулированием обладают более высоким потенциалом по сокращению энергопотребления.

Не следует недооценивать влияние на энергопотребление разумных стратегий регулирования – особенно технологий вентиляции согласно фактической потребности с их потенциальными возможностями регулирования качества воздуха и регулирования расхода воздуха (согласно фактической потребности) посредством варьируемого объемного расхода. В этом кроются потенциальные возможности для энергосбережения, которые могут широко применяться в уже существующих зданиях на основе модернизации действующих вентиляционных установок.

Таблица 1 – Возможные виды регулирования качества воздуха в помещении

Виды регулирования	Описание
Без регулирования.	Установка работает непрерывно.
Ручное регулирование.	Установка требует ручного включения.
Регулирование в зависимости от времени.	Установка работает в соответствии с заданным временным графиком.
Регулирование в зависимости от занятости рабочих мест.	Установка эксплуатируется в зависимости от присутствия людей.
Регулирование в зависимости от фактической потребности (количество людей).	Установка эксплуатируется в зависимости от количества людей, присутствующих в помещении.
Регулирование в зависимости от фактической потребности (газовые датчики).	Установка регулируется с применением датчиков, измеряющих параметры воздуха в помещении или использующих соответствующие критерии (например, датчики двуокиси углерода, газовых смесей). Применяемые параметры должны соответствовать виду деятельности, практикуемой в помещении.

Базовая схема регулирования системы вентиляции легко осуществима на практике; используются разнообразные устройства автоматики, контролирующие параметры работы системы (регуляторы расхода воздуха в приточных камерах и средства для измерения параметров и расхода наружного воздуха).

Базовая схема настройки вентиляции позволяет уменьшить количество подаваемого воздуха в соответствии с реальной потребностью и тем самым уменьшить эксплуатационные расходы. Поскольку объем приточного воздуха, подаваемый системами, варьируется в зависимости от тепловой нагрузки, содержание наружного воздуха также следует изменять в зависимости от количества людей в помещениях. Регулирование объема наружного воздуха, подаваемого системой, позволяет добиться экономии энергозатрат при неполной тепловой нагрузке.

Использование частичной либо полной рециркуляции является одним из действенных средств энергосбережения, достаточно хорошо исследованных и нашедших широкое использование на практике, поскольку с инженерной точки зрения при этом в дополнение к стандартному набору вентиляционного оборудования требуется установка простейшей смесительной секции.

На сегодняшний день тепловые насосы с успехом эксплуатируются для разрешения задач энергосбережения во время обеспечения холодом и теплом больших объектов, офисных зданий, торговых центров, спортивных сооружений, гостиниц и прочих зданий, которые характеризуются площадью до нескольких тысяч квадратных метров.

Принцип работы теплового насоса заключается в следующем: установка “перекачивает” тепло из состояния, отличающегося низкой потенциальной энергией (5–7°C) до среднетемпературного (>65°C). Эффективность использования тепловых насосов доказана многочисленными исследованиями. Кроме того, в его пользу говорит и значительная популярность среди современных потребителей. Во время применения тепловых насосов с целью отопления, кондиционирования и вентиляции сооружений используется мультizonальная и энергоэффективная, климатическая система. Её сущность состоит в переносе чрезмерного тепла из одного помещения в другое, которое также нуждается в обогреве. Соответственно, для теплоснабжения здания применяются внутренние тепловые источники (рестораны, кинозалы, холодильные камеры, конференц-залы и пр.). Кроме того, благодаря подобному перекачиванию тепла существенно уменьшается общее теплотребление от внешних источников тепла. Эксплуатация тепловых насосов для вентиляции, отопления и кондиционирования на сегодняшний день считается достаточно выгодной, особенно для сооружений, состоящих из значительного количества разнородных помещений – торговых залов, ресторанов, офисов, кинозалов, спортзалов, прачечных, фитнес-центров и пр.

Варианты использования теплонасосных установок в промышленности:

1. Предприятия, находящиеся вблизи крупных водоемов, могут использовать низкопотенциальное тепло воды для отопления и горячего водоснабжения производственных зданий, а также в производственных процессах предприятия.

2. Предприятия, находящиеся рядом с шахтами и штольнями, могут использовать активную вентиляцию и теплообменники “воздух-вода” для получения низкопотенциального тепла в количестве, необходимом для отопления и горячего водоснабжения производственных и бытовых зданий. Также в этих целях возможно использование грунтовых и шахтных вод.

3. В качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии для подогрева воды или используемого в технологическом цикле пара могут выступать промышленные стоки и общепромышленная вентиляция.

Если предприятие использует в технологическом цикле пар, то наиболее эффективно направлять утилизированное тепло в виде воды, нагретой тепловым насосом до +60°C, на предварительный подогрев пара (несмотря на возврат конденсата, испарившаяся вода пополняется из водопровода с температурой +12°C).

4. Тепловой насос прекрасно вписывается в производственный цикл предприятий, для которых требуется круглогодично поддерживать определенную температуру (например, теплицы, помещения для выращивания грибов, склады для хранения медикаментов и т.д.).

Заключение

Последовательное применение вышеописанных принципов и методик расчета амортизации для новых и действующих установок вентиляции и кондиционирования гарантирует достижение важных целей по сбережению конечных ресурсов и обеспечению комфорта с минимальными энергозатратами.

Список литературы

1. Лютц, Х. Энергетическая эффективность благодаря новым нормам проектирования EN 13779 для установок вентиляции и кондиционирования. [Электронный ресурс] / Х. Лютц // BUILDINGEXPERTS. – 03.2008. – Режим доступа: <http://www.buildingexperts.info/ru/russkii/paper/title/ehnergeticheskaja-ehffektivnost-blagodarja-novym-normam.html>. – Дата доступа: 6.03.2016.

2. ANSI/ASHRAE Стандарт 62–1989. Обеспечение качественного микроклимата в помещениях средствами вентиляции. – 11 с.

3. Варден, Д. Наружный воздух - расчет и подача в помещение. / Д. Варден // ASHRAE Journal. – 1995. – № 5 (37). – С. 54-63.

4. Кеттлер, Дж.П. Контроль минимального объема вентиляционного воздуха в VAV-системах. / Дж.П. Кеттлер. // ASHRAE Journal. – 1998. – № 5 (40). – С. 45–50.

ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Северянин В.С., Горбачева М.Г.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, tgv@bstu.by

It is shown that perfecting of heat sources is more important than improvitoy of using systems. The decentralization of heat supply is preferable. Some examples of new installations and technologies are given for heat generation with insignificant pollution of surrounding environment.

Введение

Система теплоснабжения – это комплекс теплогенерирующих установок, производящих теплоту в виде различных горячих теплоносителей при потреблении первичной энергии, распределительных теплопроводов (сетей), подводящих теплоносители в назначенные пункты, потребителей теплоты, которыми являются многочисленные отопительные приборы, промышленные и коммунальные теплообменники. Начальным звеном системы теплоснабжения являются источники теплоты заданных параметров.

Совершенствование всей системы обусловлено, в первую очередь, улучшением работы теплогенераторов (повышение коэффициента полезного действия, снижение вредного воздействия на окружающую среду, повышение надежности работы, уменьшение капитальных и текущих затрат). Централизованное теплоснабжение имеет плюсы [1]:

во-первых, КПД крупных теплогенераторов (в основном это водогрейные котлы) выше, чем для малых котлов, так как в этих котлах проще организовать развитые поверхности нагрева, более качественный процесс горения в топке, снижение потерь теплоты в аппаратах и в целом в объектах.

Во-вторых, удельные показатели (производительность на единицу массы, мощность вспомогательных аппаратов) выше для котлов большой производительности.

В-третьих, штатный коэффициент несоизмерим с мелкими установками.

В-четвертых, возможны устройства для очистки дымовых газов, позволяющие значительно уменьшать загрязнения окружающей среды.

Однако централизованное теплоснабжение отличается дорогостоящими распределительными сетями и большими потерями теплоты в них, поэтому возникает вопрос о децентрализованном теплоснабжении. Но в этом случае необходим анализ направлений совершенствования теплогенерирующих установок: следует ли увеличивать их мощность или переходить на децентрализацию теплоснабжения; каково соотношение между развитием теплогенерирующих установок и потребителями, чтобы обеспечить общее энергосбережение, какие конкурентоспособные конструктивные примеры можно рекомендовать для создания усовершенствованных теплогенераторов.

Анализ приоритета

Общепринято, что в многозвенной системе теплоснабжения система потребителей тепла требует первостепенного улучшения. Так, все рассуждения об энергосбережении сводятся к призывам улучшать системы отопления путем конструктивных, режимных, организационных мероприятий (теплотехнические качества отопительных приборов, теплоизоляция обслуживаемых объектов, включение / отключение и параметры теплоносителя и др.). Правда, имеется большой запас, резерв

возможных улучшений из-за несовершенства потребителей теплоты, но очень редко говорится о необходимости совершенствования источников теплоты. Возможно, это объясняется тем, что теплопотребитель (особенно население) менее технологически организован, а теплопроизводитель имеет высокий уровень – научный и технологический, и резерва улучшений у него меньше.

Кроме того, есть и субъективные факторы: организационно труднее провести совершенствование крупных теплоэнергетических производителей, чем убедить и заставить потребителей.

При энергетическом совершенствовании источников и потребителей теплоты можно выделить следующие закономерности. Обозначим: T – количество теплоты, выработанной источником, Z – затраты на эту выработку, выраженные в энергетических единицах. Эффективность теплопроизводства характеризуется его КПД: $\eta = T/\epsilon$.

Если потери теплоты при транспортировке и потреблении: ϵ_1 – до совершенствования этих элементов системы, ϵ_2 – после; $\Delta\epsilon = \epsilon_1 - \epsilon_2$ – улучшение работы за счет снижения потерь; $T - \epsilon_1$ – теплота, полученная потребителем до совершенствования, $T - \epsilon_2$ – после, то энергоэффективность Σ всей системы теплоснабжения повышается на

$$\Sigma = \eta_2 - \eta_1 = \frac{T - \epsilon_2}{\epsilon_2} - \frac{T - \epsilon_1}{\epsilon_1}$$

или при изменении затрат на $\Delta\epsilon = \epsilon_1 - \epsilon_2$:

$$\Sigma = \frac{T - \epsilon_2}{\epsilon_1 - \Delta\epsilon} - \frac{T - \epsilon_1}{\epsilon_1}$$

в удобной для анализа форме:

$$\Sigma = \frac{\Delta\epsilon + T - \epsilon_1 \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon_1}}{\epsilon_1 - \Delta\epsilon},$$

откуда видно, что

– влияние улучшения процесса теплогенерации на эффективность системы теплоснабжения существеннее, чем улучшение теплопотребления (величина $\Delta\epsilon$ в числителе и знаменателе одностороннего математического действия; $\Delta\epsilon$ – только в числителе),

– множитель $\frac{\Delta\epsilon}{\epsilon_1}$ показывает, что совершенствование теплогенераторов тем заметнее, чем меньше их мощность, размеры (величину ϵ_1 можно идентифицировать величиной источника). Этот факт говорит в пользу децентрализации теплоснабжения.

Вышеприведенная закономерность аналогична соотношениям для определения эффективности энергосберегающих мероприятий в энергосистемах [2]. Таким образом, эффективность действия систем теплоснабжения зависит, в первую очередь, от совершенства теплогенерирующих установок. При этом, естественно, большую роль играют качество и порядок действия потребителей теплоты и транспортных схем.

Целесообразное развитие теплогенераторов

Вышеприведенный анализ показывает необходимость разработок и использования теплогенерирующих установок с высокими теплотехническими эксплуатационными показателями (КПД, затраты, вредные выблопы) и – главное – небольшой мощности – для индивидуальных теплоснабжителей в системах децентрализованного теплоснабжения. Даже на крупных промышленных производствах (не говоря уже о системах отопления гражданских объектов) желательно иметь высокоэкономичный автоматизированный индивидуальный теплогенератор для конкретного производственного узла. Ниже указан ряд примеров таких тепловых установок.

Теплогенераторы с пульсирующим горением топлива имеют высокий КПД, малые габариты, непритязательны к качеству воды и топлива, легко компонуются с любыми агрегатами. Их недостаток – шумовое загрязнение пространства – устраняется соответствующими мероприятиями. Особенно важен их показатель по минимальным выбросам загрязняющих окружающую среду веществ [3]. Желательно использовать на промпредприятиях.

Сочетание централизованного и децентрализованного теплоснабжения удачно сочетается при наличии так называемых доводчиков. Здесь теплоноситель имеет минимальную температуру в тепловых сетях по условиям удовлетворительной транспортировки, с минимальными транспортными теплопотерями, а требуемые параметры перед потребителем получаются в доводчике с самостоятельным топочным устройством [4].

При развитии ядерной энергетики, позволяющей снизить себестоимость выработанной на АЭС электроэнергии, становится реальностью широкое применение электрических нагревателей. Такие теплогенерирующие установки делятся на три типа: тэновые, электродные, индукционные [5]. Эти установки автоматизированы, приспособлены для разных применений, весьма комфортны для населения, постоянно совершенствуются.

Использование возобновляющихся энергоресурсов (солнце, ветер, течения, геотермальные источники и т.д.) обязательно требует наличия традиционных теплогенераторов в качестве параллельного энергоснабжения. Поэтому, имея широкий выбор, например, солнечных нагревателей, можно их скомпоновать с обычными, топливными [6].

Перспективны разработки ветротеплогенераторов [7] малой мощности для особых (арктических) условий, когда при наличии обеспеченного ветрового ресурса можно снизить дефицит топлива. Течения рек, даже небольших, можно использовать для создания нагревателей, минуя электрическое звено [8].

Появляется в технической литературе информация о предложениях некоторых экзотических разработок (атомные, торсионные, гравитационные, холодного ядерного синтеза и пр.), но они пока не представляют производственного интереса.

Заключение

1. Энергетический анализ систем теплоснабжения показывает, что с точки зрения необходимости совершенствования главенствующую роль играют теплоисточники – теплогенерирующие установки. Потребители теплоты должны категорически соблюдать технологическую дисциплину, исполнять требования инструкций по эксплуатации, и тогда общая система будет на высоком технологическом и социальном уровне. Это касается как теплоподводящих линий и теплоотражающих конструкций, так и конечных звеньев транспорта теплоты – отопительной, сушильной и т.д. аппаратуры.

2. При создании и выпуске высокоэкономичных автоматизированных надежных теплогенерирующих установок более целесообразна децентрализация теплоснабжения, с теплогенераторами малой и средней мощности, соответствующей конкретному потребителю теплоты.

3. Уменьшение затрат на производство теплоты на теплогенераторах малой и средней мощности при децентрализованном теплоснабжении означает не только повышение их технологического качества (КПД, вредные выбросы, универсальность по топливу), но и эксплуатационных достоинств (регулируемость, автоматизация, дистанционное управление, совмещение с другими теплоисточниками), а так же удешевление конструкции (расход легированных сталей и других дорогостоящих материалов, вспомогательные механизмы и аппараты).

4. Децентрализация производства теплоты, основанная на сжигании органического топлива, позволит улучшить экологическую обстановку в населенных пунктах благодаря применению усовершенствованных теплогенераторов малой и средней мощности путем уменьшения вредных выбросов от крупных энергопроизводителей.

Список литературы

1. Тихомиров, К.В., Сергеенко, Э.Р. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. – М. : Стройиздат, 1991. – 480 с.
2. Северянин, В.С., Черников, И.А., Горбачева, М.Г. Основы энергосбережения. Курс лекций, – Брест: Изд. БрГТУ, 2003, – 56 с.
3. Горбачева, М.Г. Экологические достоинства и недостатки способа пульсирующего сжигания топлив: сб. материалов научного семинара «Проблемы энергетической эффективности». – Брест: Изд. БрГТУ, 2015. – с.18–19.
4. Новосельцев, В.Г. Разработка корректирующего водонагревателя со слоевым пульсирующим горением в системах теплоснабжения. Автореферат кандидатской диссертации. БНТУ, 2003.
5. Овсяник, А.В. О целесообразности использования электродных котлов в системах водяного отопления. Сб. материалов научного семинара «Проблемы энергетической эффективности». – Брест: Изд. БрГТУ, 2015, – 118–121 с.
6. Северянин, В.С. Использование возобновляющихся источников энергии в Беларуси. – Вестник БрГТУ, – № 2. – 2014. – С. 81–84.
7. Ветропеллогенератор. Пат. РБ №15444-С, F03Д9/00, 2012, Северянин В.С.
8. Водонагреватель. Пат. РБ №9374-У, E24H1/00, 2013, Муха М.В. и др.

УДК 331.102.323: 631.6

РОЛЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И УРОЖАЯ ВЕДУЩЕЙ КУЛЬТУРЫ РИСА

Турченко В.А.

Учреждение образования «Национальный университет водного хозяйства и природопользования», Ровно, Украина, fwg@ukr.net

The problems of formation of seepage flow in rice irrigation systems, depending on their design features and the effect of the intensity and direction of filtration processes in eco-reclamation state of rice irrigation systems and productivity of a leading rice culture.

Введение

Эколого-мелиоративное состояние рисовых оросительных систем (РОС) определяется целым рядом факторов, главными из которых являются природные (климатические) и технологические (оросительная норма, конструкция и параметры оросительной и дренажно-сбросной сети и др.). Результаты исследований свидетельствуют о том, что наиболее существенное влияние на экологию

го-мелиоративное состояние РОС оказывают грунтовые воды, режим которых на рисовых системах определяется интенсивностью и направленностью фильтрационных процессов, имеющих место при длительном переувлажнении почв и приводящих к снижению их плодородия.

О роли вертикальной фильтрации в формировании урожая риса до сих пор нет единого мнения. В.Б. Зайцев считал, что фильтрация снижает урожайность риса в результате интенсивного выноса питательных веществ. Тот же В.Б. Зайцев и В.А. Попов, исследуя пути совершенствования конструкции рисовой карты, приводят данные об увеличении урожайности риса на хорошо дренированных участках рисового поля.

В свое время институтом УкрНИГиМ были выполнены теоретические и экспериментальные исследования влияния скорости фильтрации в почвах под рисом на его урожай. Более высокие урожаи риса получили на участках на расстоянии 6–60 м от дренажного канала, где средняя скорость фильтрации в верхних горизонтах почвы составляла 0,003–0,007 м/сутки. Там, где скорость превышала или была меньше, урожай риса был меньше.

Олейник А. Я., Жовтоног И.С. также отмечают, что на урожай риса особое влияние имеет не только уровень грунтовых вод в вневегетационный период, но и степень дренированности почвы в вегетационный период риса, с которым связана направленность и интенсивность почвенных процессов. На основе их данных скорости фильтрации в почвах в период вегетации должны быть на уровне 6–8 мм/сутки и не должны превышать 10 мм/сутки.

Основная часть

Исследования фильтрации с поверхности поливных карт рисовых систем дельты Дуная показали, что наибольшие значения скорости фильтрации (от 14 до 20 мм/сутки) наблюдаются только на части рисового поля, в так называемых придренных зонах, на расстоянии до 50 м от картонных дрен при отсутствии подпор в дренажно-сбросных каналах и соответственно максимальной величине напорного градиента. Далее, к середине междренья, скорости фильтрации, независимо от конструкции поливных карт и расстояния между дренажными каналами, находятся в пределах 1–2 мм/сутки, то есть практически отсутствуют (рисунок 1).

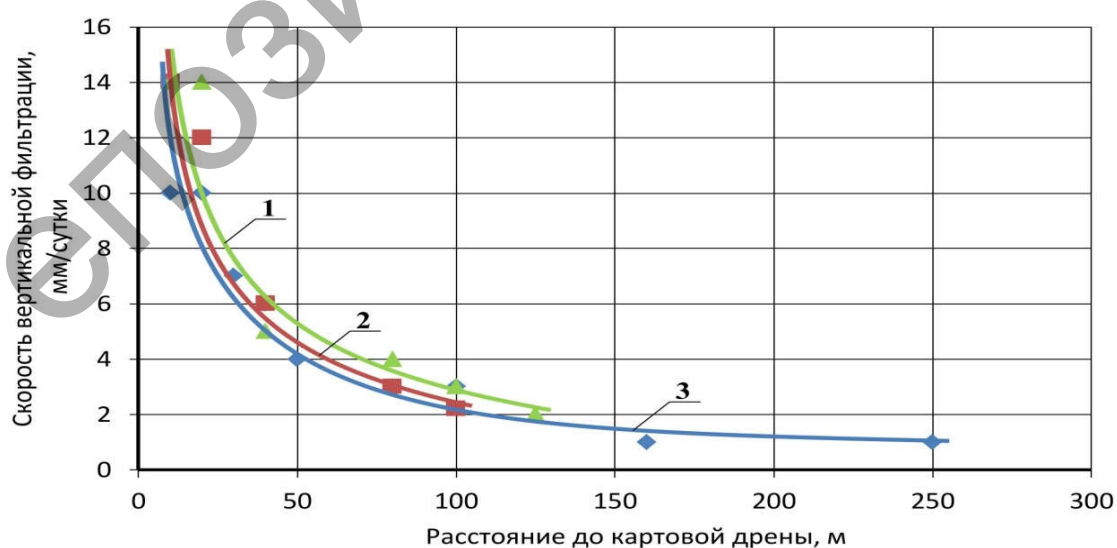


Рисунок 1 – Скорость вертикальной фильтрации на картах-чеках в зависимости от расстояния между дренажными каналами: 1-B = 200 м, 2-B = 250 м, 3-B = 500 м [3]

Значения скоростей фильтрации с рисового поля в течение оросительного сезона, которые зависят от гранулометрического состава почвы, как показали результаты многолетних исследований карт-чеков широкого фронта затопления (КЧД) на КРОС, меняются от 7–12 мм/сутки в начале поливного сезона до 1–2 мм/сутки в период срабатывания слоя воды, причем с увеличением срока эксплуатации системы под культурой затапливаемого риса они несколько уменьшаются (рисунок 2).

Полевые исследования, проведенные нами и рядом ученых на рисовых системах дельты Дуная, показали, что особенностями движения фильтрационных потоков на поливных картах в период поддержания слоя воды является то, что на части их площадей образуется зона выпора грунтовых вод (вдоль оросительных каналов) и застойная зона – в центре чека, а активное движение грунтовых вод имеет место только на части площади, прилегающей непосредственно к дренажно-сбросному каналу (рисунок 3). Размеры этих зон определяются гипсометрическими характеристиками оросительных каналов, глубиной дрен и уровнями воды в них, а также размерами поливной карты. Наличие таких зон свидетельствует о неравномерности дренирования территории поливной карты. Общая площадь, которая практически не дренируется, составляет более 60%. Расчеты фильтрационных потерь из придренированной зоны по эюре скоростей свидетельствуют о том, что их объем с придренированной полосы составляет примерно 70% их общего объема, а так как фильтрация с рисовых полей составляет почти половину оросительной нормы, то уменьшение фильтрационных потерь является одним из главных путей уменьшения ее величины и общих объемов водозабора и водоотведения при выращивании риса.

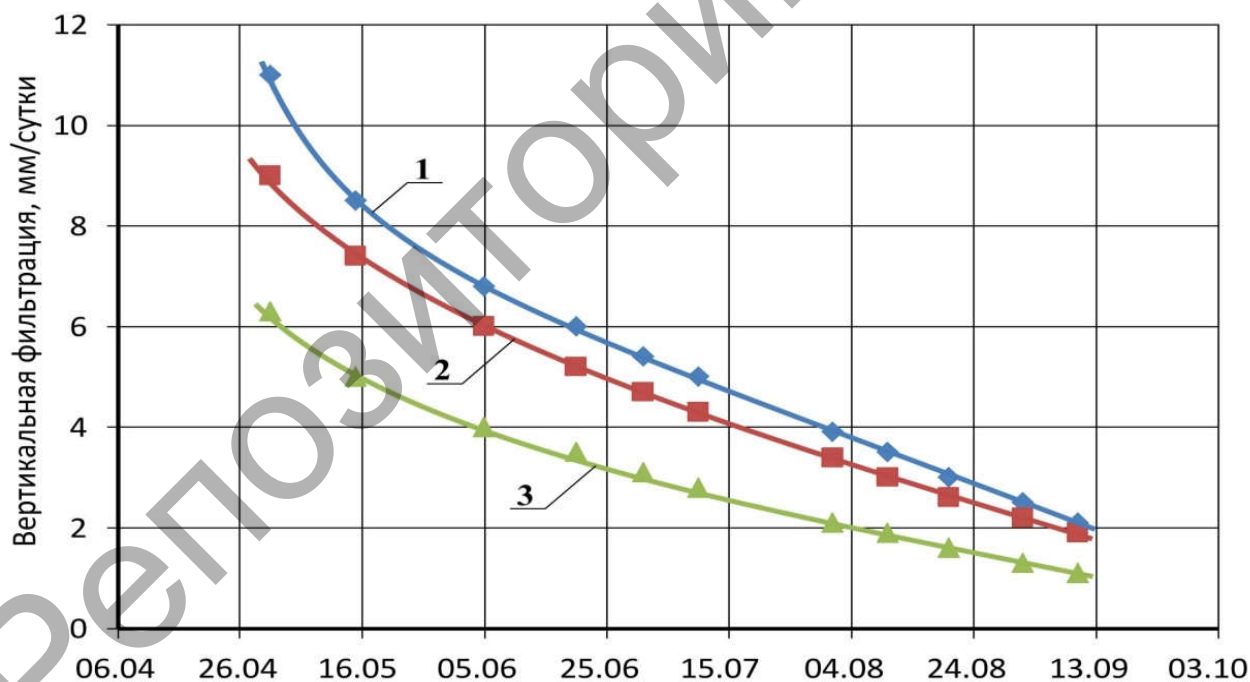


Рисунок 2 – Динамика вертикальной фильтрации в почвах КРОС в течении вегетационного периода риса: 1– легкосуглинистые почвы, 2–среднесуглинистые почвы, 3– тяжелосуглинистые почвы [3]

Оценивая величину общей фильтрации на Килийской рисовой системе, можно отметить, что она колеблется в довольно широких пределах, от 8300 м³/га до 12000 м³/га в зависимости от конструкции поливных карт и параметров дренажа, и составляет до 50% расходной части водного баланса.

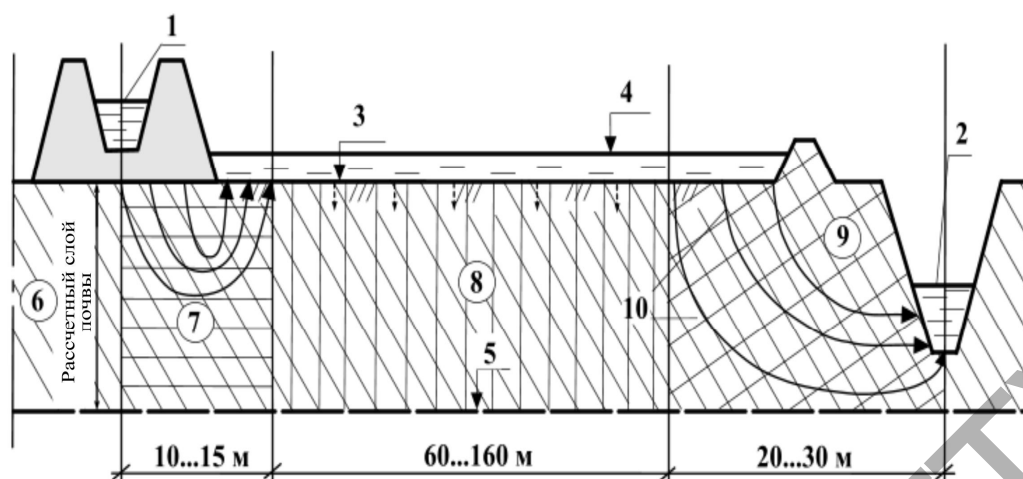


Рисунок 3 – Схема формирования характерных зон фильтрации по профилю рисового чека: 1 – картонный оросительный канал; 2 – картонный дренажно-сбросной канал; 3 – поверхность почвы; 4 – поверхность воды; 5 – граница расчетного слоя почвы; 6 – расчетный слой почвы; 7 – зона выпора грунтовых вод; 8 – застойная зона; 9 – зона активной фильтрации; 10 – линии направления движения фильтрационных потоков.

По нашему мнению, основанному на анализе результатов исследований фильтрации, которые были проведены в свое время рядом ученых, для создания благоприятного водно-воздушного и солевого режимов почв зоны аэрации интенсивность фильтрации в период вегетации риса должна быть недостаточно высокой и равномерной по всей площади поливной карты, а сам фильтрационный процесс должен быть управляемым. В тоже время, как показали исследования, достичь равномерного дренирования по всей площади рисового поля при существующих конструкциях рисовых карт и параметрах дренажа невозможно.

В условиях эксплуатации существующих рисовых оросительных систем единственным фактором управления природно-мелиоративным режимом, поскольку изменить тип, конструкцию и параметры дренажа невозможно, является процесс водорегулирования, который формируется соотношением количества поданной на систему воды к количеству отведенной за пределы системы дренажными насосными станциями.

Величину скорости вертикальной фильтрации на рисовом поле можно регулировать степенью подпора уровней воды в дренажной сбросной сети и величиной водоподачи на поле [6].

Поскольку величина фильтрационного притока в дренажно-сбросные каналы зависит от водопроницаемости почв и величины напорного градиента фильтрационного потока, то важным фактором, влияющим на его величину, является глубина наполнения дренажно-сбросных каналов и режим уровней воды в них в течение года. Изменяя глубину наполнения дренажно-сбросных каналов, можно регулировать поступление фильтрационных вод из затопленных рисовых чеков. При подпоре уровней воды в дренажных каналах скорость фильтрации уменьшается практически на порядок и составляет в придренной зоне 4–5 мм/сутки, а с удалением от канала наблюдается дальнейшее ее снижение практически до нуля. Таким образом, управляя уровнями воды в дренажной сбросной сети и на поверхности рисового поля, можно регулировать скорость фильтрации с затопленных рисовых чеков и тем самым существенно уменьшать потери воды на фильтрацию (рисунок 4).

Как видно с рисунка, скорость фильтрации с чека в зоне влияния дренажного канала и свободном оттоке дренажных вод с последнего ($h=1,5$ м) составляет 20–25 мм/сутки. При подпертом уровне воды ($h=0,15$ м) скорость фильт-

рации уменьшается до 2–5 мм/сутки. Создание подпоров уровней воды в дренажных сбросных каналах дает возможность уменьшить как величину оросительной нормы до 18700 м³/га, так и фильтрационные сбросы в дренажно-сбросную сеть до 7700 м³/га, и соответственно уменьшить затраты на перекачку воды насосными станциями.

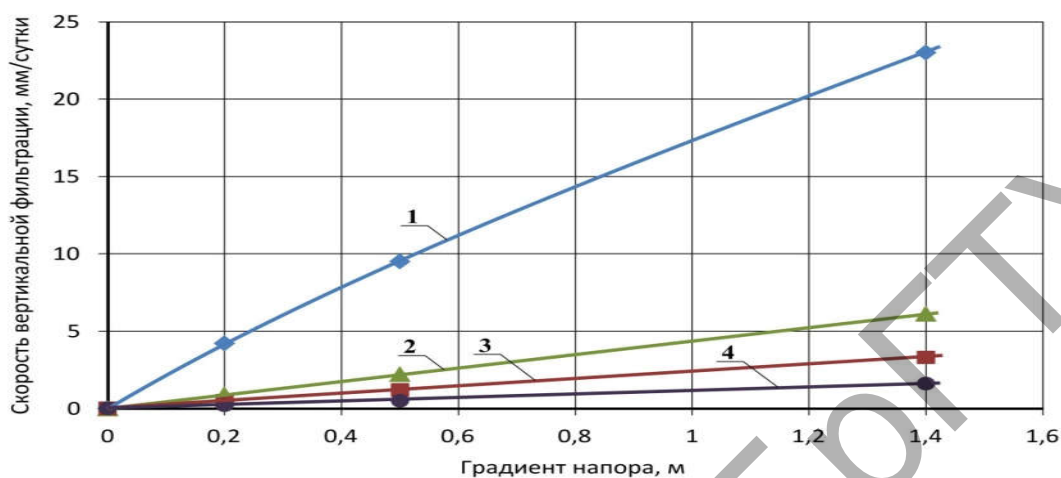


Рисунок 4 – Скорость фильтрации с поверхности рисового поля в зависимости от величины действующего напора и расстояния от оси дренажно-сбросного канала: ($B = 200\text{м}$), 1- 15м; 2- 35м; 3- 50м; 4- 100м

Подпоры уровней воды целесообразно практиковать в картовых дренажно-сбросных каналах, расположенных в пределах рисового поля, на период от повторного затопления рисовых полей после всходов риса и до наступления фазы восковой спелости. Создание подпоров имеет большое значение как для уменьшения фильтрационных потерь, так и для повышения стойкости дренажно-сбросных каналов.

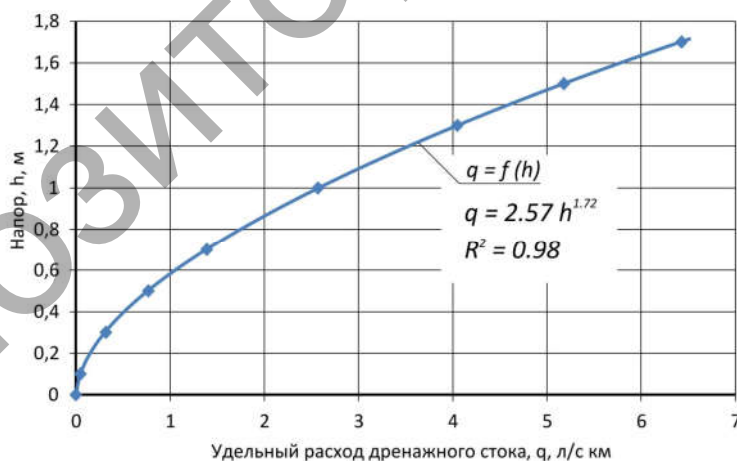


Рисунок 5 – Зависимость дренажного стока с картового дренажно-сбросного канала от действующего напора

По результатам замеров величины дренажного стока при различных глубинах наполнения дренажного канала установлена зависимость удельного дренажного стока от действующего напора (рисунок 5), выраженная уравнением

$$q = 2,57 h^{1,72},$$

где q - удельный дренажный сток из канала в л /с с 1 км длины канала; h - действующий напор, м.

В полевых опытах на Килийской рисовой оросительной системе удельный дренажный сток с картовых дренажно-сбросных каналов при действующем напоре $h=1.7$ м составил 6,43 л/с с 1 км, а при напоре $h = 0,3$ м - соответственно 0,32 л/с, то есть он уменьшился практически в 20 раз.

Заключение

Таким образом, можно отметить, что с целью создания благоприятной природно-мелиоративной обстановки на рисовых полях дренажно-сбросная сеть должна обеспечить приемлемые скорости фильтрации (5-10 мм/сутки) в верхнем слое почвы по всей площади рисового чека в течении всего вегетационного периода риса. Создавая подпоры уровней воды в картовых дренажно-сбросных каналах на протяжении вегетационного периода можно достичь значительного уменьшения потерь воды из затопляемых рисовых чеков.

Список литературы

1. Жовтоног, Н.И. О расчете скоростей фильтрации воды на рисовых чеках / Н.И. Жовтоног // Мелиорация и водное хозяйство. М. : Урожай, 1984. – Вып. 61. – с. 7 – 11.
2. Зайцев, В.Б. Рисовая оросительная система. – М. 1975.
3. Кропивко С.М. Исследование эффективности карт-чеков широкого фронта затопления с дренажем (на примере рисовых оросительных систем дельты Дуная): Автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 06.01.02 «Мелиорация и орошаемой земледелие» / С.М. Кропивко. – Ровно, 1987. – 20 с.
4. Олейник, А.Я. Методические рекомендации по проектированию дренажа на рисовых оросительных системах: рекомендации / А.Я. Олейник, И.С. Жовтоног. – М. : Минводхоз УССР, 1981. – 135 с.
5. Попов, В.А. Регулирование грунтовых вод на рисовых системах / В.А. Попов. – Краснодар, 1984. – 96 с.
6. Рис в Україні: [колективна монографія] / за ред. д.т.н., професора, член-кор. НААНУ В.А. Сташука, д.т.н., професора А.М. Рокочинського, д.е.н., професора Л.М. Грановської. Херсон: Гринь Д.С., 2014. – 976 с.

УДК 691.54669-1

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

Хайдаров Б.Б., Мазов И.Н., Кузнецов Д.В., Суворов Д.С.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» bekzod1991@mail.ru

This article addresses the issue of recycling blast furnace slag for cementless binders materials. As a method of processing apparatus provides the use of the vortex layer. This technology is characterized by high energy efficiency. The paper examined the effect of processing conditions on the physico - chemical properties of the resulting slag uncemented materials. Investigations of concrete on the basis of the cementless binders. X-ray diffraction phase composition.

Введение

Известно, что металлургическое производство связано с образованием значительного количества технологических отходов (шлаков, шламов, окалины,

пыли газоочистки и др.), которые накапливаются на металлургических предприятиях, причем совершенствование технологий не всегда сопровождается сокращением объема этих отходов. Удельный выход шлака при производстве черного металла изменяется в широких пределах – в доменном производстве от 280 до 960 кг/т чугуна, в сталеплавильном – от 80 до 250 кг/т стали, а в ферросплавном в несколько раз превышает выход выплавляемого металла.

Основную проблему представляют шлаки, накопленные в виде отвалов – терриконов высотой до 45–50 м. В России, по некоторым оценкам, только сталеплавильных шлаков накоплено свыше 250 млн. т, они занимают площадь около 1,3 тыс. га. Дополнительно к этому в отвалы ежегодно сваливается около 5–7 млн. тонн шлаков. Наибольший объем переработки шлака текущего производства достигнут в доменном переделе. Доменный шлак, как правило, перерабатывается в жидком состоянии, при этом производится гранулированный шлак, шлаковая пемза или вата. Содержание металлических включений в доменных шлаках, по различным оценкам, не превышает 3 %. В процессе транспортировки и переработки жидкой части в продукцию металлические включения осаждаются и концентрируются в ковшовых остатках, где их доля достигает 5–9 %. Таким образом, отвальные доменные шлаки представляют интерес как сырье для производства строительных материалов, а также как источник вторичного металла. В зависимости от способа первичной переработки продолжительность вылеживания для получения устойчивой структуры составляет от 90 дней до 4–9 лет. Таким образом, задача эффективной переработки и утилизации отвальных шлаков металлургической промышленности является актуальной и важной. Успешное решение данной задачи позволит значительно снизить экологическую нагрузку в регионах расположения металлургических предприятий, в перспективе – рекультивировать или ввести в хозяйственный оборот значительный объем площадей, а также позволит получить коммерчески востребованную продукцию.

Одним из перспективных путей применения доменных шлаков является их использование в качестве компонентов и исходного сырья для получения вяжущих смесей для гражданского и дорожного строительства. Постепенно возрастающий объем строительства делает чрезвычайно актуальной задачу получения высококачественных строительных материалов из максимально дешевого сырья местного производства. Использование металлургических шлаков в качестве сырья для получения вяжущих имеет ряд преимуществ, описанных выше. Однако необходимо отметить, что в настоящий момент не существует технологий, которые бы позволяли эффективно использовать шлаки металлургического производства в дорожной отрасли. Существующие подходы к использованию – получение гравия, щебеночных материалов и т.п. не позволяют эффективно использовать пылевидную фракцию шлака, т.н. шлаковую мелочь. Кроме того, протекание процессов выветривания и разрушения структуры шлаков при хранении, ограничивает возможность для использования шлаковых отходов как строительного материала в строительстве «как есть».

Исследование исходного гранулированного доменного шлака

В качестве исходного материала был выбран гранулированный доменный шлак ПАО «Северсталь», город Череповец. Выбор этого предприятия обусловлен достаточно высоким постоянством составов шлаков благодаря использованию собственных месторождений коксующихся углей и железной руды. Состав его шлаков можно считать типичным для всех крупных (т.е. заводы полного цикла, производящие более 3 млн. тонн в пересчете на жидкий металл) ме-

таллургических предприятий РФ благодаря схожести построенных в СССР технологических циклов предприятий. В качестве исходных образцов шлаков были использованы образцы, представленные центральной заводской лабораторией предприятия. Усреднение проб проводилось на предприятии в соответствии с внутренними действующими регламентами.

Исследование фазового и химического составов гранулированного шлака проводилось на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL 9900. На основании анализа различной технической литературы по предметной области исследования установлено, что для определения химического состава наиболее удобным является применение спектрометра ARL 9900. Данный прибор производит бесстандартный анализ. Особенностью является то, что ARL 9900 анализирует количество элементов, содержание которых менее 1%. Широкий диапазон – от Be до U также относится к преимуществам прибора. ARL 9900 предназначен для изучения химического состава металлов, руд, бетонных материалов, огнеупоров. Высокая воспроизводимость результатов обеспечивается за счет контроля прибора встроенным процессором. Данные по химическому и фазовому составам показаны в таблице.

Таблица 1 – Химический состав доменного гранулированного шлака

Соединение	Содержание, ат. %
Na ₂ O	0.28
MgO	12.18
Al ₂ O ₃	8.91
SiO ₂	34.85
P ₂ O ₅	0.01
K ₂ O	0.43
CaO	40.03
TiO ₂	1.06
MnO	0.12
Fe ₂ O ₃	1.22
ППП	0.81
Сумма	99.9

Из полученных данных по химическому составу были рассчитаны

Модуль основности $M_o = 1.19$

Индекс активности $M_a = 3.19$

Коэффициент основности $K_o = 1.15$

Коэффициент качества $K_k = 1.59$

Согласно полученным данным основных параметров для образца граншлака доменного, можно сделать вывод о том, что данный шлак является основным, а значение коэффициента качества показывает, что данный шлак относится к II сорту.

Анализ химического состава шлака показывает наличие малого содержания оксида марганца (не превышает допустимого значения), что не будет оказывать влияние на гидравлические свойства шлака. Кроме того, содержание балластных компонентов, таких как оксид железа, в данном образце незначительно.

Фазы, присутствующие в шлаке, показаны в порядке убывания: мелилит, геленит, марвинит, родонит, муллит. Влажность образца по данным термогравиметрии составляет 1,5%.

Согласно проведенному анализу, химический и фазовый состав образца доменного граншлака, а также незначительная влажность позволяют использовать его в качестве исходного материала ВМШ для получения бесклинкерных вяжущих.

Таблица 2 – Фазовый состав доменного гранулированного шлака

Фаза	Состав
Мелилит	$\text{Ca}_2(\text{Al, Mg, Si})\text{Si}_2\text{O}_7$
Геленит	$2\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$
Маривинит	$\text{CaO} \times \text{MgO} \times 2\text{SiO}_2$
Родонит	$\text{Mn} \times \text{SiO}_2$
Муллит	$\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$
Гидрогеленит	$\text{CaO} \times \text{SiO} \times 13\text{H}_2\text{O}$
Гидроалюминат кальция	$\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$

Исследование влияния параметров обработки на физико – химические свойства шлака

В настоящей работе для создания технологии получения бесклинкерных вяжущих путем переработки доменных шлаков используется аппарат вихревого слоя (АВС). Данный выбор обоснован рядом технологических преимуществ по сравнению с имеющимися технологическими решениями. Современные технологии включают применение барабанных и планетарных мельниц, но энергоэффективность данных устройств значительно ниже применяемого в данной работе прибора. При проведении работы было установлено, что использование метода АВС позволяет обеспечить существенно более высокую производительность и снизить удельный расход энергии при проведении процесса механической активации шлаковых материалов.

АВС представляет собой электромагнитный индуктор, заключенный в охлаждаемый корпус, в рабочую зону которого помещена сменная вставка из нержавеющей стали с ферромагнитными частицами.

Для проведения исследования по созданию вяжущих материалов было проведено дополнительное обоснование оптимальных параметров работы прибора АВС (рисунок 1). Для проведения оптимизации было проведено исследование влияния режимов обработки на структуры шлаков. В качестве переменных рассматривались соотношение между шлаком и стержнями (магнитные частицы) и время обработки. Исследовалось изменение физико – химических свойств, таких как удельная поверхность, средний размер и морфология частиц. Так же для оценки соответствия проведено исследование цемента марки М400.

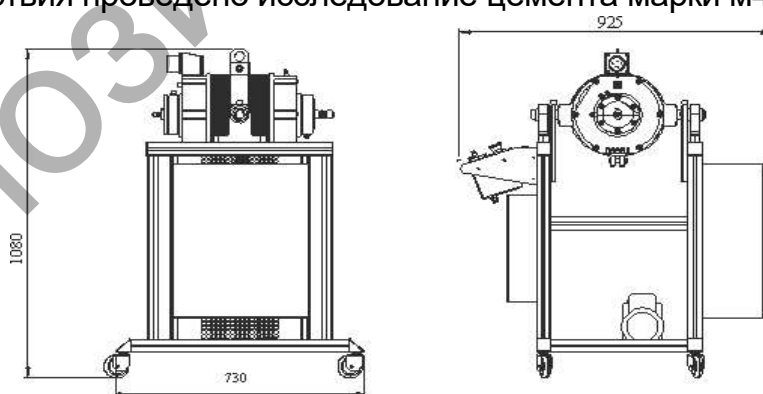


Рисунок 1 – Внешний вид прибора АВС – 80

Исследование гранулометрического состава образцов ВМШ после АВС проводилось на анализаторе распределения частиц по размерам Analysette 22. Был рассчитан среднеарифметический диаметр частиц шлака. Расчет производился с применением математического аппарата программного обеспечения, которое используется при работе анализатора частиц. Результаты измерения среднего размера частиц показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Средний диаметр частиц шлака после активации в АВС при различных режимах

Отношение шлак/цилиндры (масс, г)	3 мин	5 мин	7 мин
1:2	10,77 мкм	8,02 мкм	8,46 мкм
1:2,5	27,57 мкм	16,69 мкм	9,69 мкм
1:3	38,85 мкм	26,58 мкм	14,17 мкм
1:3,5	47,33 мкм	10,91 мкм	22,75 мкм

Средние значения диаметров частиц так же показаны в гистограмме, представленной на рисунке 2.

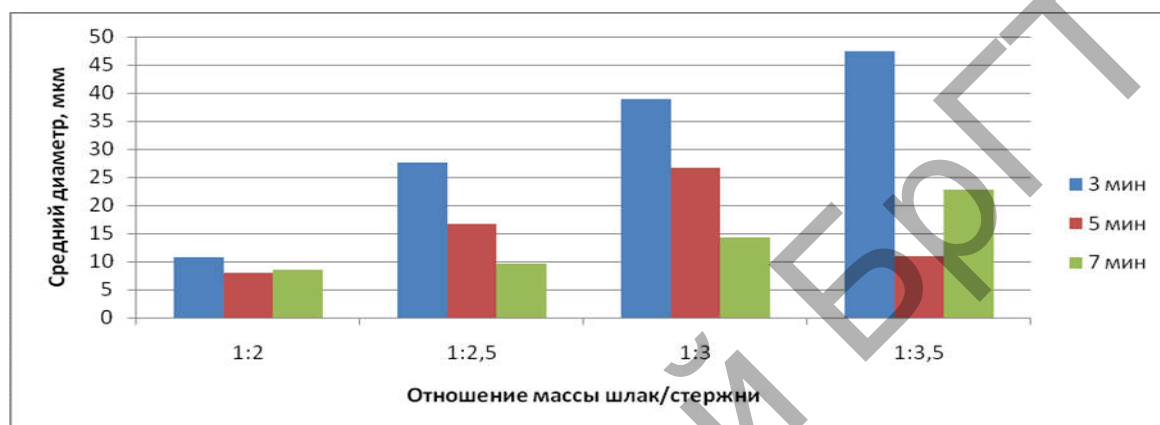


Рисунок 2 – Зависимость среднего размера частиц доменного гранулированного шлака после обработки в АВС от параметров работы прибора

Анализ представленных зависимостей показал, что повышение времени обработки ВМШ уменьшает средний размер частиц. Однако относительное изменение среднего размера зависит от соотношения между шлаком и стержнями, что показано на рисунке 2. Увеличение данного отношения отрицательно сказывается на среднем размере частиц.

Удельная поверхность измерялась на анализаторе удельной поверхности Nova 1200. Данные представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные по удельной поверхности

Отношение шлак/цилиндры (масс, г)	Удельная поверхность, м2/г		
	3 мин	5 мин	7 мин
1:2	1,509	2,244	3,267
1:2,5	1,454	2,256	2,154
1:3	1,39	1,362	2,489
1:3,5	0,61	1,379	1,917

Анализ изменения величины удельной поверхности от параметров помола доменного гранулированного шлака показал четкую зависимость – увеличение отношения количества стержней по отношению к ВМШ приводит к значительному снижению удельной поверхности. Стоит отметить, что период помола также сказывается на величине удельной поверхности.

Так же проведено исследование цемента марки М400 для установления соответствия полученных данных. Удельная поверхность цемента марки М400 составила 1,784 м2/г, а средний размер частицы 16,66 мкм.

Для оценки энергоэффективности проведено исследование молотого гранулированного шлака, полученного при обработке в шаровой мельнице. Время обработки составило 24 часа, количество обрабатываемого материала 3,12 кг. При исследовании установлено, что в составе образца присутствуют частицы с размером 10 мкм, однако имеются и более крупные с размером более 20 мкм, удельная поверхность – 2,37 м²/г.

На основе проведенных исследований были получены образцы вяжущих материалов с различными добавками, такими как зола уноса (Рефтинская ГРЭС), NaOH, Na₂CO₃. Добавки были введены непосредственно при обработке гранулированного шлака в приборе ABC. Были приготовлены образцы бетонов модельного состава. Водошлаковое отношение, которое выдерживалось при приготовлении бетонов, составляло 0,22.

Для определения фазового состава вяжущих образцов был применен метод рентгеновской дифракции.

Для проведения исследования были выбраны следующие образцы: портландцемент марки М400, образец бетона, полученный из портландцемента марки М400, гранулированный доменный шлак после помола в ABC, образец бетона из механоактивированного доменного гранулированного шлака, гранулированный доменный шлак после помола с щелочными добавками, образцы бетонов, полученные из доменного гранулированного шлака с щелочными добавками, нормального твердения и с применением ТВО.

Данное исследование проводилось с целью идентификации наличествующих в образцах кристаллических фаз, способных к гидратации при помоле высокоосновных гранулированных доменных шлаков в ABC, а также с целью получения информации о влиянии щелочных добавок на возможность образования гидратируемых фаз при механохимической активации ВМШ.

Для исследования наличия гидратируемых фаз было проведено исследование тестового образца портландцемента марки М400 (рисунок 3).

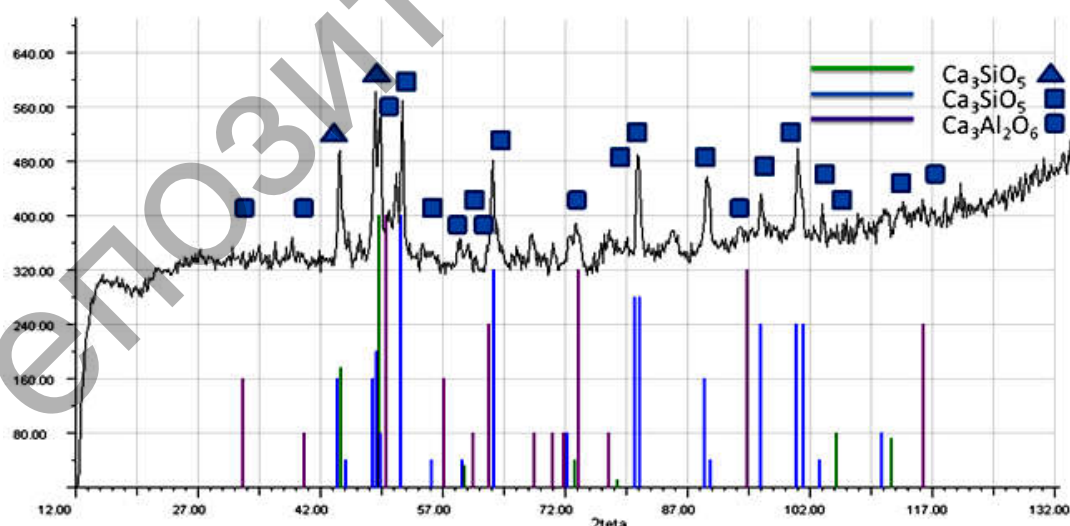


Рисунок 3 – Дифрактограмма образца портландцемент М400

В составе образца ПЦ М400 присутствуют гидратируемые фазы алита (С3S) и белита (С2S). Суммарное содержание данных фаз в портландцементе может находиться на уровне 59–90%. Данные фазы являются основными в клинкере, они определяют его высокую прочность при отверждении. Стоит отметить, что для цементов высоких марок важно содержание фазы алита размером 4–20 мкм.

Результат исследования бетона на основе цемента М400 показан на рисунке 4.

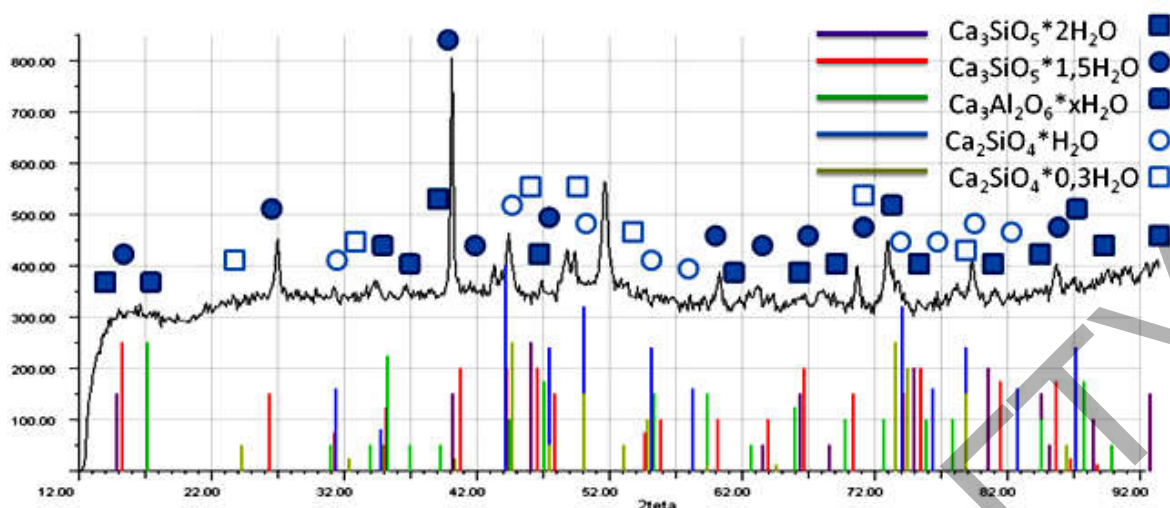
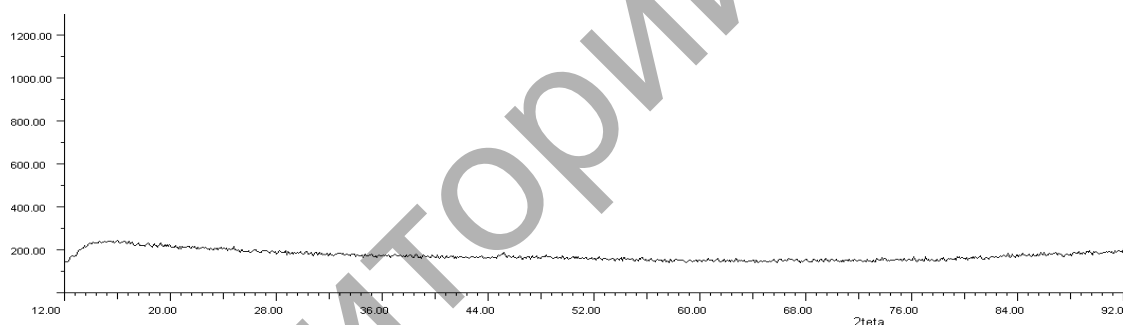


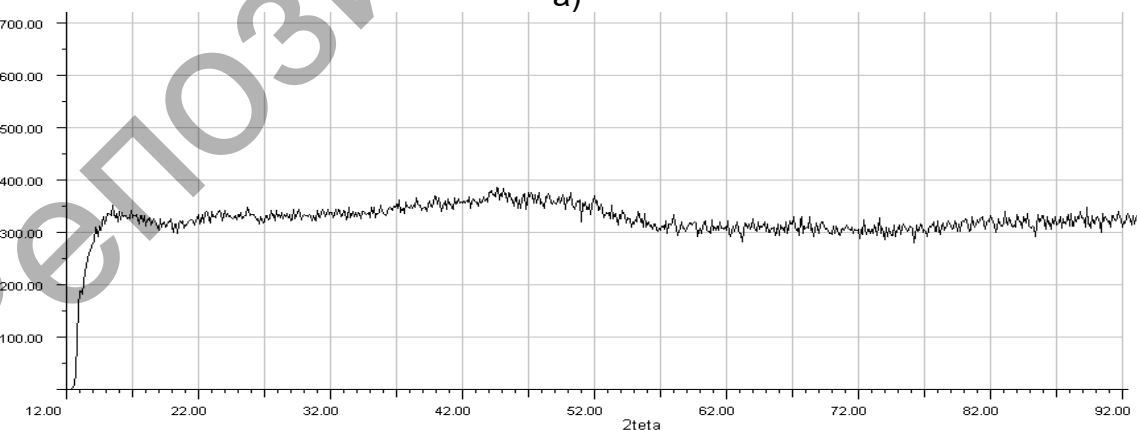
Рисунок 4 – Дифрактограмма образца бетона на основе портландцемента М400

На рисунке 4 показана дифрактограмма бетона на основе портландцемента М400. Отмечено наличие гидратированных фаз алита и белита. Дифракционные максимумы показывают наличие фаз с разной степенью гидратации.

Дальнейшее исследование проводилось с доменным гранулированным шлаком. На рисунке 5 показаны дифрактограммы ВМШ.



а)



б)

Рисунок 5 – Дифрактограмма образца ВМШ: а) не обработанный, б) после механохимической активации с использованием АВС

Оба представленных образца имеют аморфную структуру, что показывает аморфное гало и отсутствие выраженных пиков рентгеновской дифракции. Количество аморфной фазы значительно превышает количество кристаллической фазы.

Необходимо отметить, что при механохимической активации с использованием АВС в образцах образуется некоторое количество кристаллической фазы, точное определение которой затруднено. Предположительно данная фаза является одной из модификаций фазы алита.

Дифрактограмма образца бетона на основе шлака без дополнительных добавок показана на рисунке 6.

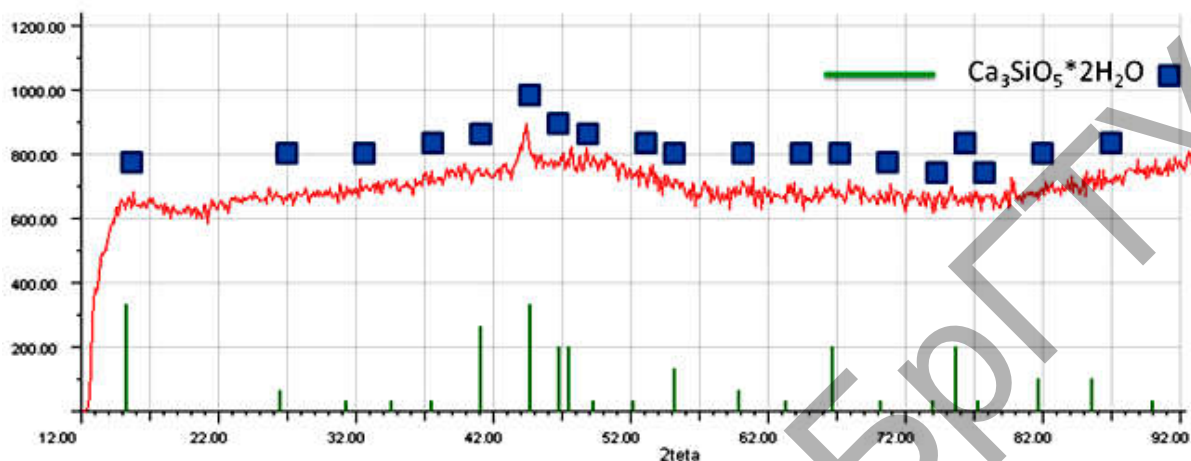


Рисунок 6 – Дифрактограмма образца бетона на основе ВМШ

На дифрактограмме образца бетона на основе ВМШ (рисунок 6) наблюдаются пики, которые соответствуют гидратированной фазе алита, что подтверждает предположение относительно наличия фазы алита в ВМШ после помола в АВС. Наличие данной фазы обеспечивает прочность отвержденных образцов бетонов на основе ВМШ.

Изменение фазового состава при давлении Na_2CO_3 показано на рисунке 7.

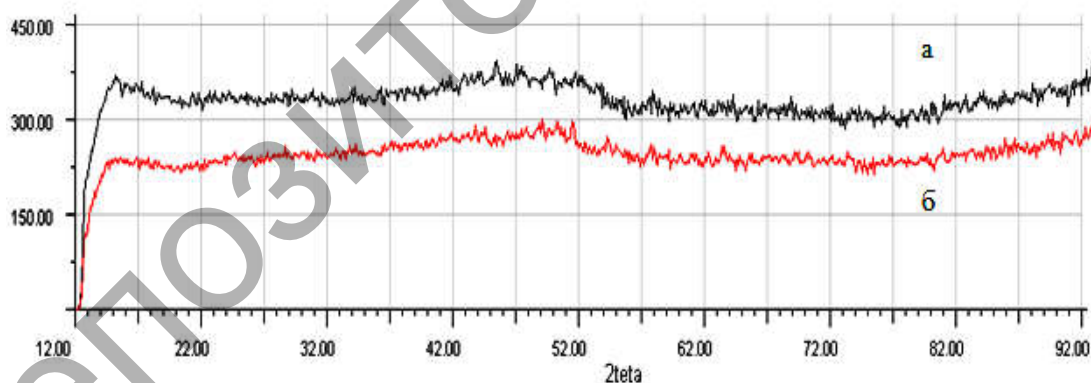


Рисунок 7 – Дифрактограмма образца: а) шлак после АВС-обработки с добавлением NaOH и Na_2CO_3 , б) бетон на основе шлака после АВС-обработки с добавлением NaOH и Na_2CO_3

На рисунке 8 показаны дифрактограммы шлака и бетона на основе шлака после АВС-обработки с добавлением щелочных компонентов. Стоит отметить, что структура механоактивированного шлака с щелочными компонентами в целом совпадает со структурой чистого механоактивированного шлака. Образец бетона на основе шлака с добавлением щелочного компонента не имеет в своем составе достаточного количества гидратированных фаз, что сказывается на прочностных свойствах данного материала.

Дифрактограмма вяжущего на основе ВМШ с NaOH показана на рисунке 8.

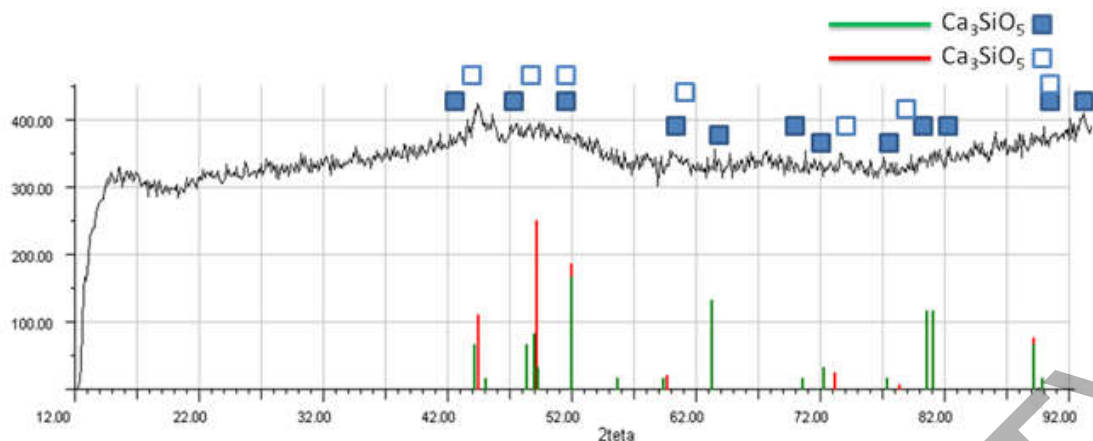


Рисунок 8 – Дифрактограмма образца ВМШ после помола в АВС с добавлением NaOH

На рисунке 8 показана дифрактограмма образца ВМШ после помола в АВС с добавлением NaOH. Максимумы, которые присутствуют на дифрактограмме, показывают наличие фаз алита в различных модификациях. Отмечено, что содержание кристаллической фазы превышает содержание таковой в образце чистого шлака.

Дифрактограмма образца бетона нормального твердения на основе ВМШ с добавлением NaOH, приведенная на рисунке 9, показывает наличие гидратированных фаз. Содержание кристаллической фазы в данном образце значительно выше образцов бетонов, полученных с использованием чистого ВМШ.

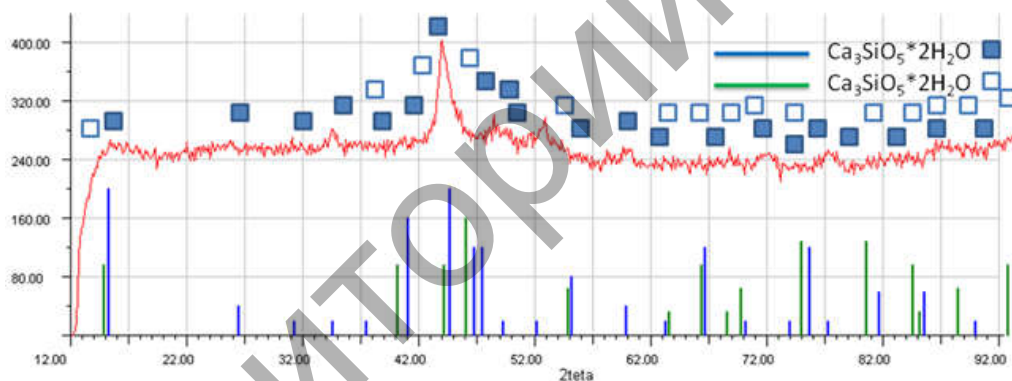


Рисунок 9 – Дифрактограмма образца бетона на основе ВМШ с добавлением NaOH

На рисунке 10 показана дифрактограмма образца бетона, прошедшего ТВО, с добавлением NaOH. Гидратированные фазы алита, присутствующие в образце, выражены значительно сильнее, чем в образце нормального твердения.

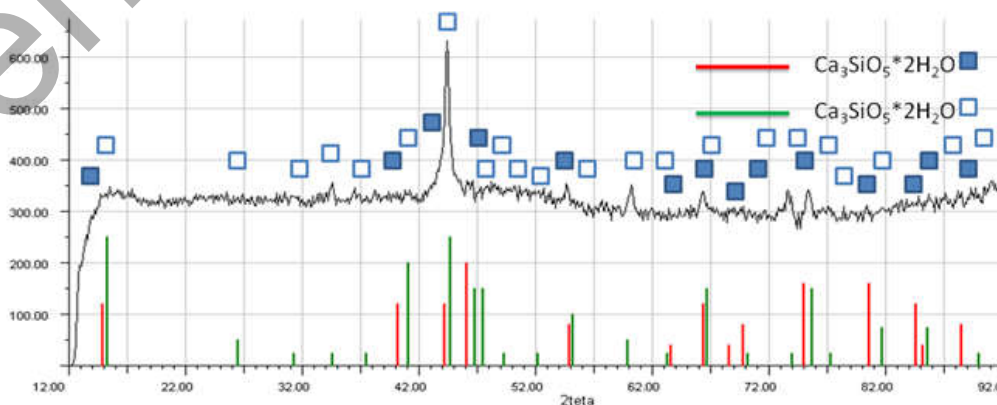


Рисунок 10 – Дифрактограмма образца бетона на основе ВМШ с добавлением NaOH после ТВО

Исследование прочностных свойств полученных бетонов проводилось на образцах кубической формы с ребром 2 см. Исследование проводилось с применением разрывной машины Instron 150 LX. Результаты исследования показаны в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты прочностных испытаний бетонов на основе бесклинкерных вяжущих

Образец	Прочность
ПЦ М400	39,5 МПа
ВМШ + 5% ЗУ	42,1 МПа
ВМШ + 7% NaOH (1:2.5)	32,3 МПа
ВМШ + 1% SiO ₂ (1:3)	39,4 МПа

Авторы работы выражают благодарность Министерству образования и науки РФ за финансовую поддержку (проект RFMEFI57814X0099)

Список литературы

1. Escalante Garcia J.I, Mendez Nonell J., Gorokhovskiy A., Fraire Luna P.E., Mancha Molinar H., Mendoza Suarez G., Reactividad y propiedades mecanicas de escoria de alto horno activada por alcalis, Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio, 2002, Vol.41, No 5, 451–458.

2. Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе. – М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1986. – 55с.

3. Боженов П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. – М.: изд-во АСВ, 1994. – 264 с.

4. Горшков, В.С., Александров, С.Е., Иващенко, С.И., Горшкова, И.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве. – М. : Стройиздат, 1985. – 273 с.

УДК 697.922.2

ОСНОВЫ ТЕОРИИ АЭРОСТАТИКИ, АЭРОДИНАМИКИ, ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА АЭРАЦИИ ЦЕХОВ С ТЕПЛОИЗБЫТКАМИ

Широкова О.Н., Липко В.И.

Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Республика Беларусь, kafedratgsv@mail.ru

The article outlines the conceptual possibilities and methods of physico-mathematical modeling of static, dynamic and heat and mass transfer processes in the shops of the extract in terms of exposure to gravitational forces and wind pressure on the building when natural ventilation is active by a method of aeration by the "bottom-up".

Введение

Технология литейного производства характеризуется значительными теплоизбытками, выделяющимися в рабочую зону от технологических печей, технологического оборудования, нагретых и расплавленных металлов непрерывно или длительно по времени в виде радиационной лучистой тепловой энергии от нагретых поверхностей и конвективной составляющей теплового потока в виде горячих газов или перегретого воздуха, вследствие чего значительно ухудшаются условия труда работающих.

В целях улучшения качества воздушной среды в горячих цехах используется способ вентиляции методом аэрации путём естественного проветривания рабочей зоны цеха наружным приточным вентиляционным воздухом, который поступает внутрь помещений через специальные аэрационные приточные отверстия, расположенные в наружных стенах здания в двух уровнях: для летнего периода года – в нижней зоне вблизи пола помещения, а для зимнего периода года отверстия расположены на высоте $h = 4,5$ м от пола.

Удаление вентиляционного воздуха при аэрации здания осуществляется через специальные аэрационные фонари с вытяжными отверстиями, расположенными выше крыши, или вытяжные шахты.

Для количественного регулирования расхода вентиляционного воздуха в приточных и вытяжных отверстиях устанавливаются регулируемые решётки.

В процессе естественной циркуляции воздушных потоков внутри помещений горячих цехов с интенсивными теплоступлениями образуется несколько зон с различными температурами.

Основная часть

Для представления физической картины аэростатических, аэродинамических и тепломассообменных процессов, протекающих в условиях изменяющихся температур, необходимо изначально представить помещение как сосуд, заполненный газовой смесью, тогда по законам аэростатики изменение давления dP в слое dh газа переменено по высоте и составляет

$$dP = \frac{\rho \cdot g}{F} \cdot dV, \quad (1)$$

где ρ – плотность газа (воздуха), кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; F – площадь поперечного сечения помещения, м^2 ; $V = h \cdot F$ – объем столба газа (воздуха), м^3 .

Так как $dV = F \cdot dh$, то выражение (1) примет вид

$$dP = \rho g dh. \quad (2)$$

Интегрируя выражение (2), получим

$$P_h = P_a - g \int_0^h \rho \cdot dh, \quad (3)$$

где P_a – атмосферное давление на поверхности земли при $h=0$.

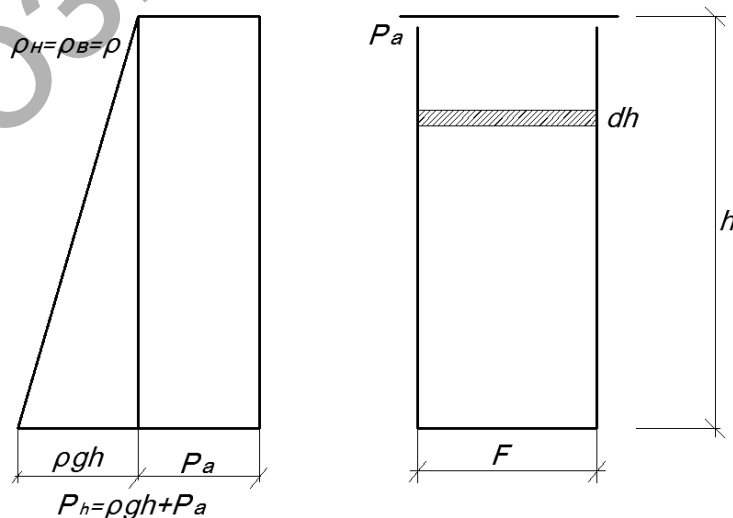


Рисунок 1 – Изменение аэростатического давления по высоте помещения при $t_n = t_e$ (t_e, t_n – температуры воздуха соответственно внутри и снаружи помещения, $^{\circ}\text{C}$)

В стационарных условиях без каких-либо теплопоступлений температура воздуха внутри помещения остаётся неизменной. Тогда и плотность воздуха постоянна, а после интегрирования выражение (3) имеет вид

$$P_{\text{в}} = P_{\text{с}} - \rho gh, \text{ Па.} \quad (4)$$

Физическая картина описанных выше аэростатических процессов выражениями (1)–(4) представлена на рисунке 1.

Если в рассматриваемом помещении установлен источник теплопоступлений 4 (рисунок 2), то физическая картина кардинально изменяется при $t_{\text{н}} < t_{\text{в}}$. Линия I на графике (рисунок 2) соответствует изменению аэростатического давления снаружи здания согласно выражению $P_{\text{з}} = P_{\text{с}} - \rho_{\text{з}} gh$, а линия II на графике соответствует изменению аэростатического давления внутри здания $P = P_{\text{в}} - \rho gh$, тогда оставшаяся заштрихованная часть графика будет соответствовать перепаду аэростатических давлений снаружи и внутри здания, т.е.

$$\Delta P = P_{\text{з}} - P_{\text{в}} = P_{\text{с}} + \rho_{\text{з}} gh - P_{\text{с}} - \rho_{\text{в}} gh, \quad (5)$$

откуда после преобразований получим

$$P_{\text{в}} = \Delta P = gh(\rho_{\text{з}} - \rho_{\text{в}}). \quad (6)$$

На графике (рисунок 2) заштрихованная часть является расчётной эпюрой избыточного гравитационного (аэростатического) давления при действии только сил гравитации.

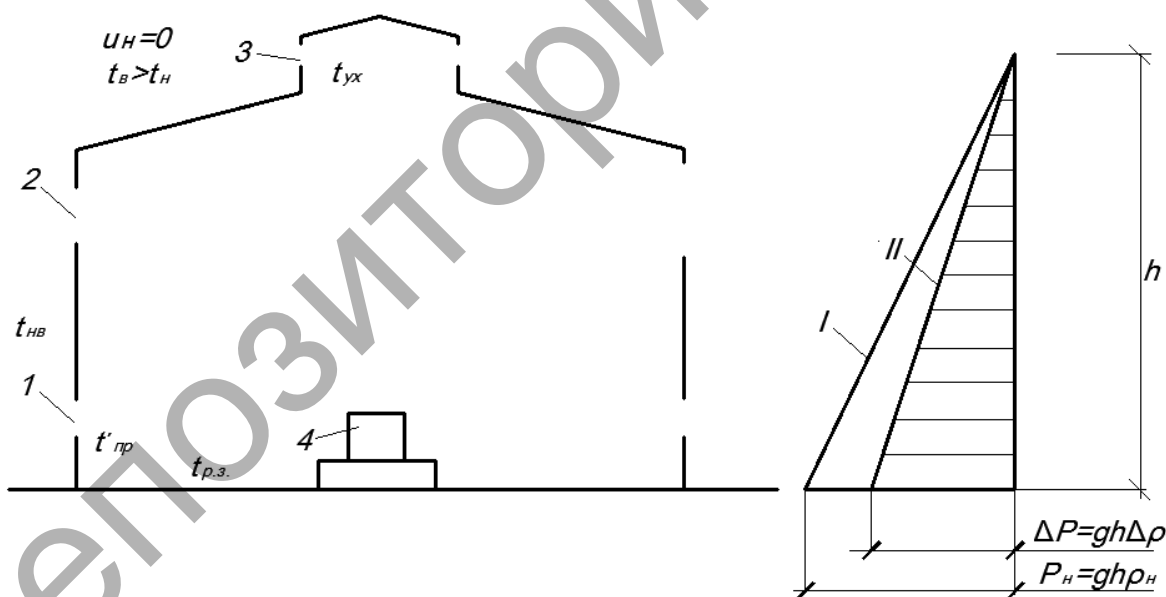


Рисунок 2 – Изменение аэростатического давления по высоте помещения при $t_{\text{н}} < t_{\text{в}}$: 1 – приточные отверстия летом, 2 – приточные отверстия зимой, 3 – вытяжные отверстия

В процессе естественной циркуляции воздушных потоков внутри помещений с теплоизбытками образуется несколько характерных зон с различными температурами.

При аэрации зданий снаружи помещений с теплоизбытками принимается наружная температура $t_{\text{нв}}$ воздуха для расчёта вентиляции летнего и зимнего периодов года.

Температура воздуха внутри помещений со стороны приточных отверстий $t_{\text{пр}}$ принимается на $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше, чем $t_{\text{зм}}$, т.е.

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{зм}} + 5, \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (7)$$

Температура воздуха в рабочей зоне $t_{\text{р}}$ на расстоянии $h = 2\text{ м}$ от пола помещения определяется из выражения

$$t_{\text{р}} = t_{\text{пр}} + \Delta t_{\text{зоон}}, \quad (8)$$

где $\Delta t_{\text{зоон}} = +8\text{ }^{\circ}\text{C}$ – нормируемый температурный перепад.

Температура $t_{\text{ж}}$ уходящего через вытяжные отверстия внутреннего воздуха равна [2, с.24]

$$t_{\text{ж}} = \frac{t_{\text{р}} - 1 - m t_{\text{пр}}}{m} = \frac{t_{\text{р}} - t_{\text{пр}}}{m} + t_{\text{пр}}, \quad (9)$$

где m – коэффициент, выражающий отношение активных тепловыделений, непосредственно влияющих на температуру воздуха в рабочей зоне, к общему количеству активных теплоступлений в помещения, не зависящих от расчетного периода года, например, для литейных цехов согласно СН 7–57.

$$m = \frac{t_{\text{р}} - t_{\text{пр}}}{t_{\text{ж}} - t_{\text{пр}}} = 0,3. \quad (10)$$

Тогда с учетом (8) из выражения (10) можно определить температуру воздуха $t_{\text{ж}}$, удаляемого из помещения с теплоизбытками

$$t_{\text{ж}} = \frac{\Delta t_{\text{зоон}}}{m} + t_{\text{пр}}. \quad (11)$$

Таким образом, согласно вышеприведенной методике можно определить температуры воздуха $t_{\text{пр}}$, $t_{\text{р}}$ и $t_{\text{ж}}$ во всех характерных зонах помещения.

В качестве примера определим температуры в характерных зонах для литейного цеха, расположенного в г. Полоцке, для которого $t_{\text{зм}} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (летом), $t_{\text{зм}} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (зимой).

Для летнего периода года

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{зм}} + 5 = 20 + 5 = 25\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{р}} = t_{\text{пр}} + \Delta t_{\text{зоон}} = 25 + 8 = 33\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{ж}} = \frac{\Delta t_{\text{зоон}}}{m} + t_{\text{пр}} = \frac{8}{0,3} + 25 = 51,7\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температура внутри помещения определяется как средняя $t_{\text{р}}$ и $t_{\text{ж}}$, т.е.

$$t_{\text{в}} = t_{\text{р}} = \frac{t_{\text{р}} + t_{\text{ж}}}{2} = \frac{33 + 51,7}{2} = 42,3\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$, определим по формуле

$$\rho = \frac{353}{273 + t}. \quad (12)$$

Плотность наружного воздуха летом составит $\rho_{\text{н}} = \frac{353}{273 + 20} = 1,2\text{ кг}/\text{м}^3$, а воз-

духа внутри помещения летом - $\rho_{\text{в}} = \frac{353}{273 + 42,3} = 1,12\text{ кг}/\text{м}^3$.

Для литейного цеха при $h = 10$ м величина гравитационного давления летом равна

$$P_{\text{г}} = hg(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}) \approx 10 \cdot 9,8 \cdot (1,2 - 1,12) \approx 7,84 \text{ Па.}$$

Для зимнего периода года температура в характерных зонах литейного цеха в г. Полоцке

$$t_{\text{вн}} = t_{\text{вн}} + 5 = -25 + 5 = -20 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{вн}} = t_{\text{вн}} + \Delta t_{\text{зоны}} = -20 + 8 = -12 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{вн}} = \frac{\Delta t_{\text{зоны}}}{m} + t_{\text{вн}} = 26,7 - 20 = +6,7 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Плотность наружного воздуха зимой составит $\rho_{\text{в}} = \frac{353}{273 - 25} = 1,42 \text{ кг/м}^3$.

Температура внутреннего воздуха зимой составит

$$t_{\text{в}} = t_{\text{вн}} = \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{вн}}}{2} = \frac{-12 + 6,7}{2} = -2,65 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Плотность воздуха внутри помещения летом $\rho_{\text{в}} = \frac{353}{273 - 2,65} = 1,3 \text{ кг/м}^3$.

Гравитационного давления зимой составит

$$P_{\text{г}} = hg(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}) \approx 10 \cdot 9,8 \cdot (1,42 - 1,3) \approx 11,8 \text{ Па.}$$

Для климатических условий г. Полоцка Витебской области согласно [6, т.4.5] средняя скорость ветра $v_{\text{вн}} = 5,1 \text{ м/с}$.

Аэродинамика воздействия ветрового давления на здание характеризуется аэродинамическими коэффициентами: с наветренной стороны $k_{\text{в}} = +0,8$, с заветренной стороны здания $k_{\text{з}} = -0,6$, а динамическое ветровое давление на здание с наветренной стороны равно

$$P_{\text{в}} = k_{\text{в}} \cdot \frac{v_{\text{вн}}^2 \rho_{\text{в}}}{2} = 0,8 \cdot \frac{5,1^2 \cdot 1,42}{2} = +14,7 \text{ Па.}$$

и соответственно с заветренной стороны

$$P_{\text{з}} = k_{\text{з}} \cdot \frac{v_{\text{вн}}^2 \rho_{\text{в}}}{2} = -0,6 \cdot \frac{5,1^2 \cdot 1,42}{2} = -11,1 \text{ Па.}$$

Влияние ветрового давления на здание оценивается как разность $\Delta \rho_{\text{в}}$.

$$\Delta \rho_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} - \rho_{\text{з}} = 14,7 + 11,1 = 25,8 \text{ Па.}$$

Суммарное воздействие на здание гравитационного $P_{\text{г}}$ и ветрового $\Delta \rho_{\text{в}}$ давлений определит построение эпюр давлений на здание для летнего и зимнего периодов года.

На рисунке 3 выполнено построение эпюр давлений для летнего и зимнего периодов года при совместном воздействии на здание гравитационного $P_{\text{г}}$ и ветрового $\Delta \rho_{\text{в}}$ давлений, формирующих тепловой и воздушный режим зданий при аэрации.

Динамические процессы в горячих цехах тесно связаны с тепломассообменом. Суммарные тепловыделения от нагретых поверхностей печей, остывающего и расплавленного металла осуществляются за счёт конвекции и лучеиспускания.

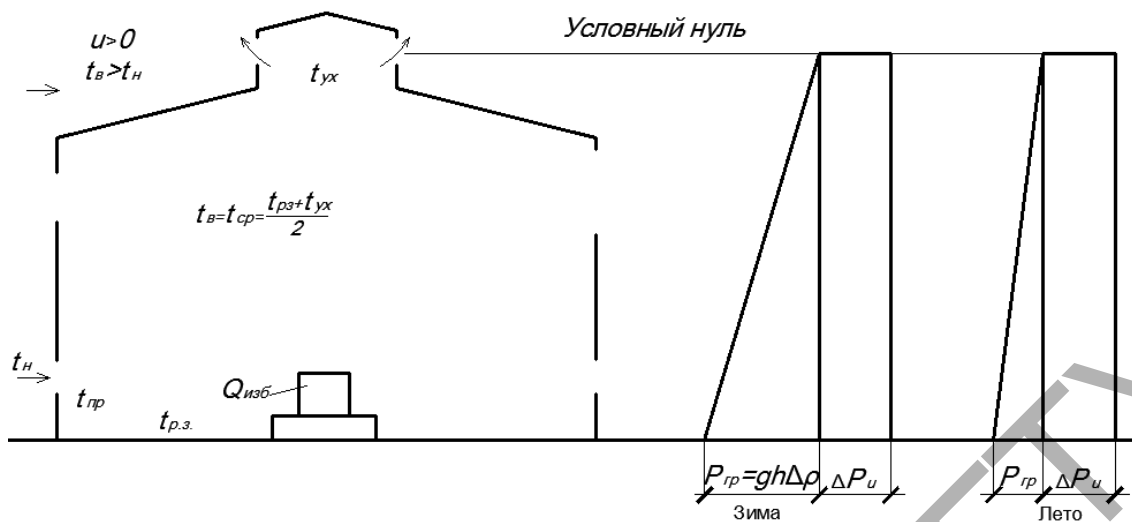


Рисунок 3 – Построение эпюры давлений при совместном воздействии гравитационного и ветрового давлений на здание летом и зимой

Теплопоступления при конвективном теплообмене определяются выражением [1, с.51].

$$Q_k = \alpha_k \cdot (t_{\text{л}} - t_{\text{в}}) \cdot F, \quad (13)$$

а при лучистом теплообмене

$$Q_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} \cdot (t_{\text{л}} - t_{\text{в}}) \cdot F, \quad (14)$$

или суммарно

$$Q_{\Sigma} = Q_k + Q_{\text{л}} = (\alpha_k + \alpha_{\text{л}}) \cdot (t_{\text{л}} - t_{\text{в}}) \cdot F, \quad (15)$$

где $\alpha_k = a \sqrt{t_{\text{л}} - t_{\text{в}}}$ - коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/м²·°С; $t_{\text{л}}$ - температура нагретой поверхности тела, °С; $t_{\text{в}}$ - температура внутреннего воздуха, °С; F - площадь нагретой поверхности, м²; a - опытный коэффициент (для вертикальных поверхностей $a = 2,2$, для горизонтальных, обращённых вверх $a = 2,8$, для горизонтальных, обращённых вниз $a = 1,1$).

Коэффициент лучистого теплообмена $\alpha_{\text{л}}$ определяется из выражения [1, с.51]

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\left(\frac{273 + t_{\text{л}}}{100}\right)^4 + \left(\frac{273 + t_{\text{в}}}{100}\right)^4}{t_{\text{л}} - t_{\text{в}}} \cdot \varrho, \quad (16)$$

где ϱ - приведенный коэффициент излучения определяется по формуле

$$\varrho = \frac{1}{\frac{1}{\varrho_1} + \frac{1}{\varrho_2} + \frac{1}{\varrho_3}}, \quad (17)$$

ϱ_1 и ϱ_2 - коэффициенты излучения взаимнооблучаемых поверхностей; $\varrho_3 = 4,96$ - коэффициент излучения абсолютно чёрного тела.

Для условий литейных цехов $\varrho \cong 4$ [1, с.520].

По технологическим условиям взятого для примера литейного цеха г. Полюцка летом $t_{\text{в}} = 42,3$ °С, $t_{\text{л}} = 300$ °С, $F = 10$ м².

$$\alpha_k = 2,8 \sqrt{300 - 42,3} = 2,8 \cdot 4 = 11,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}.$$

$$Q_k = \alpha_k \cdot (t_{\text{л}} - t_{\text{в}}) \cdot F = 11,2 (300 - 42,3) \cdot 10 = 28862,4 \text{ Вт}.$$

$$\alpha_{\varepsilon} = \frac{\left(\frac{273+300}{100}\right)^4 + \left(\frac{273+42,3}{100}\right)^4}{300-42,3} \cdot 4 = \frac{5,73^4 + 3,15^4}{257,7} \cdot 4 = 18,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С.}$$

$$Q_{\varepsilon} = 18,2 \cdot (300 - 42,3) \cdot 10 = 46901,4 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\Sigma} = 28862,4 + 46901,4 = 75763,8 \text{ Вт.}$$

При совместном действии ветра и сил гравитации имеем суммарное давление, Па

$$\rho_{\tau} = (\alpha_{\varepsilon} - \alpha_{\varepsilon}) \cdot \frac{\rho_{\varepsilon} \cdot v_{\varepsilon}^2}{2} + h \cdot g(\rho_{\varepsilon} - \rho_{\text{м}}). \quad (18)$$

$$\rho_{\tau} = (0,8 + 0,6) \cdot \frac{1,2 \cdot 5,1^2}{2} + 10 \cdot 9,8(1,2 - 1,12) = 29,64 \text{ Па.}$$

Проверяем соотношение ветрового давления к гравитационному, т.е.

$$\frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\varepsilon}} = \frac{21,8}{7,84} = 2,78 > 0,5, \text{ тогда при расчёте аэрации следует учитывать совместное}$$

действие ветра и гравитационных сил [5, с.301].

Производительность приточных систем $G_{\text{вв}}$ для разбавления избыточной теплоты при расчёте аэрации по схеме воздухообмена «снизу-вверх» для летнего периода года определяется из выражения [2, с.23]

$$G_{\text{вв}} = \frac{m \cdot Q_{\Sigma}}{0,28 \cdot \rho_{\varepsilon} \cdot (t_{\text{м}} - t_{\varepsilon})} = \frac{0,3 \cdot 75763,8}{0,28 \cdot 1 \cdot 1,2(42,3 - 20)} = 3033,5 \text{ кг/ч.}$$

$$F_1 = \frac{G_{\text{вв}}}{3600 \cdot \mu_{\varepsilon} \cdot (2\rho_{\varepsilon})^{1/2} \cdot P_1^{1/2}} = \frac{3033,5}{3600 \cdot 0,5 \cdot (2 \cdot 1,2)^{1/2} \cdot 29,64^{1/2}} = 0,2 \text{ м}^2.$$

В целях снижения вредного воздействия на работающих высоких температур от нагретых поверхностей активных источников тепlopоступлений предлагается в горячих цехах применять технологическую схему управляемой экранно-шторной аэрации, ограничивающей зону высоких температур от рабочей зоны помещений так, как это показано на рисунке 4.

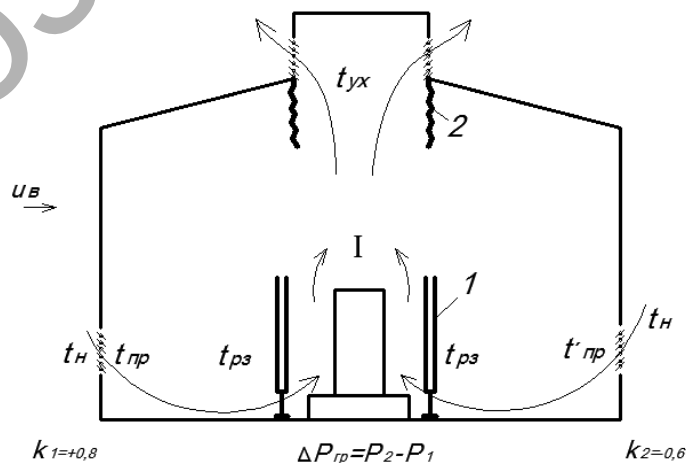


Рисунок 4 – Схема управляемой экранно-шторной аэрации, ограничивающей тепловые горизонтальные воздействия в рабочей зоне с возможностью перемещения избыточной теплоты восходящими вертикальными конвективными потоками I, формирующими циркуляцию внутри здания

Легкие переносные экраны 1, выполненные из листовых материалов, хорошо отражающих лучистую энергию от расплавленного металла или нагретых поверхностей оборудования горячих цехов, например, алюминиевой фольги с жестким каркасом из любого профильного металла, создадут экранированную защиту рабочей зоны.

Шторы 2 из термостойкого материала, например, из стеклоткани, спускающиеся сверху от конструкции аэрационного фонаря или вытяжной шахты, установленной на крыше, позволяют максимально изолировать рабочую зону от активного воздействия проникающей тепловой радиации от горячих источников, от которых вверх поднимаются конвективные потоки перегретого воздуха.

Предлагаемые технические решения для борьбы с тепловой радиацией от источника теплоты горячих цехов отличаются от всех известных аналогичных устройств простотой конструктивного исполнения, экономичностью в изготовлении, малой массивностью, мобильностью в эксплуатации, так как их конструкции могут перемещаться по цеху в пространстве по площади и высоте и при необходимости устанавливаться в любом месте или демонтироваться на некоторое время.

Высота экранов 1, а также глубина свесов штор 2 может регулироваться при необходимости для достижения максимального эффекта локализации тепловых воздушных потоков и вывода избыточной теплоты из рабочей зоны горячих производственных помещений.

Заключение

Анализируя и обобщая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

- при аэрации цехов с теплоизбытками на формирование воздушных потоков совместное влияние оказывают силы гравитации с направленным движением «снизу-вверх» и горизонтально направленные перемещения воздушных масс под действием ветрового давления;
- тепловое воздействие на работающих от нагретых поверхностей происходит как за счет лучеиспускания, так и конвекции, что вызывает дискомфорт в рабочей зоне;
- необходимый санитарно-гигиенический эффект для снижения вредного воздействия высоких температур на работающих, можно обеспечить путем устройства специальных защитных ширм и штор, конструкции которых просты в изготовлении.

Список литературы

1. Бромлей, М.Ф. Проектирование отопления и вентиляции / М.Ф. Бромлей, А.П. Щеголов. - М. : Издательство литературы по строительству, 1965. – 260с.
2. Кострюков, В.А. Сборник примеров расчёта по отоплению и вентиляции. – М.: Госстройиздат, 1962. – 200 с.
3. Рысин, С.А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов: Справочник. – М. : Машиздат, 1964. – 704 с.
4. Внутренние санитарно-технические устройства: в 2-х ч. /Под ред. И.Г. Старовойрова.-М. : Стройиздат, 1978. – 510 с.
5. Отопление и вентиляция: Учебник для вузов. В 2-х ч. – Ч.2 Вентиляция/ Под ред. В.Н.Богословского. М. : Стройиздат, 1976 . – 440 с.
6. Строительная теплотехника. ТКП 45-2.04-43-2006.-Введ. 01.07.2001.-Минск : М-во арх. и строительства Республики Беларусь. – 2007.
7. СН 7-57 Указания по проектированию отопления и вентиляции производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий. Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства. 1957.

ФИЗИЧЕСКИЕ (ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ) ПРОЦЕССЫ ПРИ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Янчилин П.Ф.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, tgv_bstu@tut.by

The article gives a summary of the properties of the elements involved in the transport and distribution of radiant energy, ie the sun as the primary radiator, reflecting elements concentrating system and radiation detector surface. A qualitative assessment of energy processes in solar power plants, allowing to estimate the important parameters — temperature, coolant flow rate, the amount of the heat surface.

Введение

Концентрирование солнечного излучения представляет собой частный случай лучистого переноса в системе тел, разделенных диатермичной средой. Специфика данного процесса определяется свойствами первичного источника излучения – Солнца – и особенностями гелиотехнических концентрирующих систем. Эти системы относятся к классу оптико-энергетических систем и предназначены исключительно для перераспределения потока солнечного излучения в пространстве с целью повышения его плотности.

Для описания процессов лучистого переноса в системах, концентрирующих солнечное излучение (КСИ), требуется использование специальных физических коэффициентов, или функций, характеризующих микропроцессы взаимодействия излучения с телами на макроскопическом уровне. Для рассматриваемого нами процесса концентрирования основной величиной является коэффициент отражения солнечного излучения поверхностью зеркала RC , учитывающий потери энергии, связанные с поглощением излучения зеркалом.

Описание системы КСИ

Приведём обобщенное описание свойств всех тел (элементов), участвующих в процессе переноса и распределения лучистой энергии, т. е. Солнца как первичного излучателя, отражающих элементов концентрирующей системы и поверхности приемника излучения.

1) Принимаем, что Солнце, как бесконечно удаленный дисковый излучатель, посылает в каждую точку отражающей поверхности концентратора круговой конический пучок лучей с вершиной в этой точке. Оси всех пучков параллельны между собой. На основе фотометрического подхода заменяем круговой конический пучок параллельным пучком бесконечно малой ширины, т.е. фактически лучом, полагая, что такой луч тоже переносит всю энергию физического пучка. Основной фотометрической характеристикой излучателя является индикатриса силы излучения в пучке $f_C(\varphi)$. Распределение плотности потока лучистой энергии, испускаемой Солнцем по поверхности является достаточно равномерным, но объемный характер излучения приводит к спаду яркости солнечного диска от центра к краю [1]. В наших расчётах мы пренебрежём неравномерностью излучения солнечного диска и получим $f_C(\varphi) = 1$. Для нахождения абсолютных значений локальной плотности сконцентрированного излучения необходимо знать интегральные и спектральные значения плотности солнечного излучения на входе в систему. Эти показатели зависят от расстояния до Солнца, атмосферной массы и метеофакторов. Заатмосферное распределение энергии в спектре солнечного излучения близко к спектру абсолютно черного тела при температуре $T_C \approx 5770^\circ\text{K}$ (значительная часть энергии приходится на видимую и инфракрасную часть спектра – $\lambda = 0,4\sim 800$ мкм), а нор-

мальная поверхностная плотность мощности (облученность) или солнечная постоянная в околоземном пространстве характеризуется средним за год значением $E_C \approx 1360 \text{ Вт/м}^2$.

2) Система концентрирования обеспечивает повышение плотности солнечного излучения, главным образом за счет изменения его направления и локализации в определенной области пространства. Вследствие этого форма отражающей поверхности и ее различные отклонения от геометрически идеальной конфигурации оказывают определяющее влияние на распределение плотности сконцентрированного излучения. Любая реальная отражающая поверхность не может быть гладкой математической поверхностью и имеет различного рода отклонения – глобальные искажения формы, локальные геометрические неточности, шероховатости (микронеровности). Потери энергии при отражении учитываются коэффициентом отражения RC , который зависит от спектральной отражательной способности зеркального покрытия в диапазоне длин волн солнечного излучения и угла его падения на отражающую поверхность. Показатели всех наиболее важных свойств отражающих поверхностей системы КСИ в общем случае являются переменными. Однако, по рекомендации [1], при практических расчетах гелиотехнических концентрирующих систем влияние некоторых из вышеперечисленных показателей часто можно не учитывать. Значения RC определяют обычно экспериментальным путем. Для нашей системы концентрации мы оставим коэффициент отражения, который учитывает все три отклонения, и зададимся его величиной $RC = 0,8$.

3) Приемник в отличие от концентратора рассматривается в данном случае не как физический объект, а как абстрактная геометрическая поверхность СП, определенным образом ориентированная в поле отраженного излучения. Наш приёмник КСИ расположен в фокусе концентратора, состоящего из совокупности концентрических конусов. Он принадлежит к приёмникам открытого типа – у него отсутствует взаимное затенение элементов поверхности, освещается со всех сторон и, желательно, должен иметь форму сферы.

Математическое описание процесса лучистого переноса в системе «Солнце – концентратор – приемник» осуществляется в два этапа: вначале мы проанализировали взаимодействие солнечного излучения с отражающей поверхностью, а затем, определив характеристики концентратора как вторичного излучателя (RC), должны получить соотношения для расчета облученности поверхности приёмника.

На основе приведённых данных сформулируем задачу концентрирования солнечного излучения в общем виде – увеличение плотности потока солнечного излучения, попадающего на концентратор, для преобразования в энергию другого вида (тепловую, электрическую) на приемнике излучения.

Расчёт системы КСИ

В научно-исследовательской лаборатории «ПУЛЬСАР» БрГТУ под руководством д.т.н., профессора Северянина Виталия Степановича ведётся разработка гелиоустановки «ЛУЧ», основными особенностями которой являются гелиоконцентратор и ориентирование на Солнце механизмом слежения. Исходя из предыдущего пункта в нашей системе тел (гелиоустановка «ЛУЧ»), концентратор характеризуется только коэффициентом отражения, которым мы задаёмся ($RC = 0,8$). Для теплоприемника важны следующие факторы: качество и оптические свойства поверхности; форма и размер поверхности, габариты; компоновка с другими элементами; подвод и отвод теплоносителя.

Внешняя поверхность теплоприемника должна обладать следующими оптическими свойствами – максимально поглотить попавшее на неё солнечное излучение и минимально отразить его обратно в атмосферу. Для этого применяют специальное селективное покрытие для лучепоглощающей поверхности

теплоприемника. Оно обладает высоким коэффициентом поглощения α коротковолнового солнечного излучения (короче 2 мкм), низкой излучательной способностью ϵ в инфракрасной области (длиннее 2 мкм), стабильной величиной степени селективности α/ϵ , способностью выдерживать кратковременный перегрев и хорошей коррозионной стойкостью. Для идеальной селективно-поглощающей поверхности $\alpha = 1$ и $\epsilon = 0$ [2].

Поверхность «Н» (СП – геометрическая поверхность) теплоприемника по тепловой работе обусловлена степенью концентрации солнечного потока K_C (отношение поперечного сечения солнечного потока «F» ($S_{c.n.}$ – площадь кругового кольца гелиоконцентратора) к величине поверхности теплоприемника, воспринимающего концентрированное излучение СПК) [3].

При заданном солнечном потоке «F» для определенной тепловой мощности Q справедливы соотношения:

$$K_C = \frac{F}{H} = \frac{S_{c.n.}}{S_{ПК}}, \quad Q = q \cdot H = q \cdot S_{ПК} \Rightarrow q = \frac{Q \cdot K_C}{S_{c.n.}} \cdot R_C \quad (1)$$

где q – удельный тепловой поток, падающий от гелиоконцентратора на теплоприемник, (пропорционален степени концентрации K_C), Вт/м², с учётом коэффициента отражения R_C .

В нашей системе «Солнце – концентратор – приемник» перенос тепла происходит посредством лучистого теплообмена между телами Солнце и теплоприемник. Для его исследования будем использовать метод сальдо, как наиболее нам подходящий, использующий величины, которые характеризуют конечные эффекты теплообмена между телами данной излучающей системы. Плотность потока собственного излучения каждого из тел (Солнца и приёмника) представим по закону Стефана-Больцмана через заданные температуры и коэффициенты теплового излучения [4]:

$$E_C = c_0 \cdot \epsilon_C \cdot \left(\frac{T_C}{100} \right)^4, \quad E_{II} = c_0 \cdot \epsilon_{II} \cdot \left(\frac{T_{II}}{100} \right)^4 \quad (2)$$

Тогда получим плотность потока результирующего излучения q_0 , падающий от Солнца на поверхность гелиоконцентратора, Вт/м²:

$$q_0 = c_0 \cdot \epsilon_n \cdot \left[\left(\frac{T_C}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{II}}{100} \right)^4 \right] \quad (3)$$

$$q = q_0 \cdot K_C, \quad (4)$$

где T_C , T_{II} – температуры Солнца и приемника, соответственно, °К; c_0 – коэффициент лучеиспускания (излучательная способность) абсолютно черного тела, $c_0 = 5,6703$ Вт/(м²·К⁴); ϵ_n – приведенная степень черноты системы (приведённый коэффициент излучения), для рассматриваемой системы тел равна

$$\epsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_C} + \frac{1}{\epsilon_{II}} - 1} \quad (5)$$

ϵ_C , ϵ_{II} – коэффициенты излучения Солнца и приемника, соответственно ($\epsilon_C=1$, а ϵ_{II} зависит от оптических свойств поверхности теплоприемника).

Так же получить плотность потока результирующего излучения q_0 можно другим способом. Условия прохождения солнечного луча через атмосферу определяются ее прозрачностью, которая описывается коэффициентом интегральной прозрачности атмосферы P [5]:

$$P_m = m \sqrt{\frac{q_0}{q_c}}, \quad (6)$$

где q_0 – прямая радиация на нормальную к лучу поверхность при оптической массе атмосферы τ ; q_c – радиация вне атмосферы (солнечная постоянная), $q_c = EC \approx 1360 \text{ Вт/м}^2$.

Так как P зависит от оптической массы, то указывают, к какой массе τ он относится – P_τ . Обычно используют P_2 – коэффициент интегральной прозрачности атмосферы при массе 2 (высота солнца практически 30°).

Изменения энергетической освещенности в безоблачную погоду при определенной высоте солнца определяются прозрачностью атмосферы. Среднемесячные значения коэффициента интегральной прозрачности P_2 в Минске приведены в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Среднемесячные значения коэффициента интегральной прозрачности P_2 в Минске

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,77	0,76	0,74	0,72	0,70	0,71	0,70	0,70	0,71	0,75	0,77	0,78

Плотность потока результирующего излучения q_0 , Вт/м^2 , падающий от Солнца на поверхность гелиоконцентратора, находим из формулы (2.6):

$$q_0 = P_m^2 \cdot q_c \quad (7)$$

Воспринятая тепловая мощность Q_Π , Вт утилизируется в теплоприемнике (нагрев теплоносителя, конструкции и т. п. — Q_H), и частично теряется в окружающую среду через обратное излучение Q_{II} (уже в инфракрасной части спектра) и конвекцию Q_K . Для стационарного режима верно условие:

$$Q_\Pi = Q_H + Q_{II} + Q_K \quad (8)$$

$$Q_H = \Delta I \cdot G \quad (9)$$

где ΔI – приращение энтальпии теплоносителя, кДж/кг ; G – расход теплоносителя, кг/с .

$$Q_{II} = \varepsilon_\Pi \cdot c_0 \cdot \left(\frac{T_\Pi}{100}\right)^4 \cdot S_{\Pi K} \quad (10)$$

$$Q_K = \alpha_K \cdot (T_\Pi - T_B) \cdot S_{\Pi K} \quad (11)$$

где α_K – коэффициент конвективной теплоотдачи, $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; T_B – температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$.

Исходя из равенства теплового потока, поступающего на теплоприёмник, и теплового потока, принятого поверхностью теплоприёмника $Q = Q_\Pi$, составим систему уравнений из формул (1 - 11):

$$\begin{cases} Q = Q_H + Q_{II} + Q_K \\ Q = S_{\Pi K} \cdot q_0 \cdot K_C \cdot R_C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Q = \Delta I \cdot G + \varepsilon_\Pi \cdot c_0 \cdot \left(\frac{T_\Pi}{100}\right)^4 \cdot S_{\Pi K} + \alpha_K \cdot (T_\Pi - T_B) \cdot S_{\Pi K} \\ Q = S_{\Pi K} \cdot K_C \cdot R_C \cdot \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_C} + \frac{1}{\varepsilon_\Pi} - 1} \cdot c_0 \cdot \left[\left(\frac{T_C}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_\Pi}{100}\right)^4 \right] \end{cases} \quad (12)$$

или

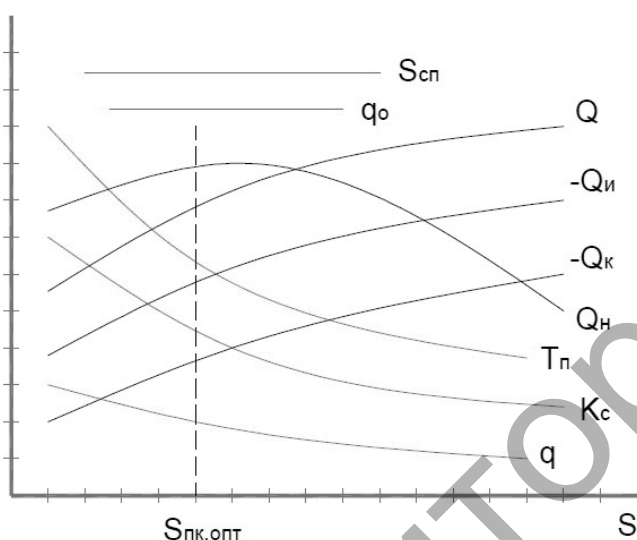
$$\begin{cases} Q = Q_H + Q_{II} + Q_K \\ Q = S_{ПК} \cdot q_0 \cdot K_C \cdot R_C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Q = \Delta I \cdot G + \varepsilon_{II} \cdot c_0 \cdot \left(\frac{T_{II}}{100}\right)^4 \cdot S_{ПК} + \alpha_K \cdot (T_{II} - T_B) \cdot S_{ПК} \\ Q = S_{ПК} \cdot K_C \cdot R_C \cdot P_m^2 \cdot q_C \end{cases} \quad (13)$$

С помощью данных систем можно найти важные параметры для проектирования гелиоустановки «ЛУЧ», такие как – температура поверхности теплоприёмника ТП, т.е. температура в фокусе концентратора, и оптимальный размер теплоприёмника по найденной его поверхности СПК.

При работе гелиоустановки следует всегда достигать максимального отбора теплоты от приёмника и передаче его циркулирующему теплоносителю, при этом должно соблюдаться условие

$$Q_H = Q - Q_{II} - Q_K \rightarrow \max \quad (14)$$

Это означает, что можно найти оптимальное значение поверхности теплоприёмника, воспринимающего концентрированное излучение СПК при известных площади кругового кольца гелиоконцентратора $S_{сп}$ и плотности потока результирующего излучения q_0 , падающего от Солнца на поверхность гелиоконцентратора ($TP = f(S_{ПК})$). Эти зависимости показаны на рисунке 1.



приемника, воспринимающего концентрированное излучение СПК при известных площади кругового кольца гелиоконцентратора $S_{сп}$ и плотности потока результирующего излучения q_0 , падающего от Солнца на поверхность гелиоконцентратора ($TP = f(S_{ПК})$). Эти зависимости показаны на рисунке 1.

Рисунок 1 – Тепловые зависимости в теплоприемнике

Заключение

Анализируя приведённую в статье информацию, можно сделать следующие выводы:

- для увеличения температуры теплоносителя нужно снижать площадь поверхности приёмника СПК;
- для увеличения расхода теплоносителя при незначительной температуре нужно увеличивать площадь СПК;
- для определённого расхода теплоносителя и заданной температуры нужно определить оптимальное значение СПК. ОПТ.

Список литературы

1. Андреев, В. М., Грилпхес, В. А., Румянцев, В. Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. – Л. : Наука, 1989. – 310 с.
2. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. М. : Энергоатомиздат, 1991 г. – 208 с.
3. Северянин, В.С. Янчилин, П.Ф. Некоторые пути развития гелиотехники. // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 43–50.
4. Теплопередача: Учебник для ВУЗов / В.П.Исаченко и др. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1981. – 416 с.
5. Климат Беларуси / Под ред. В.Ф. Логинова – Мн. : Институт геологических наук АН Беларуси, 1996.

СПИСОК АВТОРОВ

С		Кузнецов Д.В.	281
Chlost Izabela	3	Кузнецов Д.П.	131
М		Кукшинов М.С.	61
Miseckaitė O.	150	Л	
Т		Лазарева Т.С.	105
Tararauskiene L.	150	Ланкович С.В.	234
А		Левкевич В.Е.	80
Адиканко И.И.	154	Левчук Н.В.	88, 93
Андреюк С.В.	159	Липко В.И.	234, 290
Асмаловский Н.А.	17	Лукашевич Я.С.	97
Б		М	
Булак И.А.	73	Мажайский Ю.А.	105
В		Мазов И.Н.	281
Валуев В.Е.	116	Манойленко А.Е.	180
Василевская М.В.	88	Мендусь С.П.	257
Власюк Т.А.	185	Мешик О.П.	111, 116
Водчиц Н.Н.	48, 127	Моняк Т.М.	174
Волчек А.А.	20, 25, 30, 36, 43	Мороз М.Ф.	25
Вострова Р.Н.	164, 185	Н	
Г		Натарова О.Н.	30
Галузо А.В.	219	Никифорова К.Д.	234
Гертман Л.Н.	56, 73	Новикова О. К.	185
Голод Ю.В.	168	Новиньски Камиль	8
Горбачева М.Г.	273	Новосельцев В.Г.	242
Громик Н.В.	48, 127	Новосельцева Д.В.	250
Громыко Ж.Н.	180	П	
Гуляко Е.А.	93	Пастухов Е. Ю.	164
Д		Пеньковская А.М.	190
Дашкевич Д.Н.	20	Петров Д.О.	36
Дзюба Я.В.	122	Попова Е.Н.	190
Дубенок С.А.	154, 168	Приходько Н.В.	257
Е		Р	
Ермолович О.А.	180	Радчук А.П.	228
Ж		Ратникова А.М.	197
Живица В.А.	122	Рачковская Е.Д.	262
З		Роденко А.В.	164
Захарко П.Н.	168	Рокочинский А.Н.	122, 257
Зубрицкая Т.Е.	111	Рутковский П.П	56
К		Рыбкина И.Д.	203
Кирвель И.И.	61	С	
Колобаев А.Н.	68	Сальникова С.Р.	269
Комаровский Д.П.	174	Северянин В.С.	273
Корженевич Е.А.	224	Сопин Ю.Ю.	269
Корженевич С.В.	224	Стельмашук С.С.	48, 127
Корнеев В.Н.	73	Струк М.И.	131
Костюк Д.А.	36	Суворов Д.С.	281
Куган С.Ф.	228		

Т		Х	
Титов К.С.	73	Хайдаров Б.Б	281
Трофимчук Д.Н.	122	Ч	
Троцюк В.С.	136	Чобану Н.	215
Турченко В.А.	276	Ш	
У		Шешко Н.Н.	36
Унгурияну Д.	215	Широкова О.Н.	290
Усманов И.А.	207,211	Шпендик Н.Н.	116
Ф		Шпока Д.А.	43
Фам Нгок Киен	68,142	Шпока И.Н.	43
Филипчук Б.А.	257	Ю	
Фомин Д.К.	164	Ющенко В.Д.	219
Фурман В.М.	136	Я	
		Янчилин П.Ф.	298

Репозиторий БРТУ

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Chlost Izabela WATER BALANCE OF LAKE ŁEBSKO.....	3
Камиль Новиньски ПОЛОЖЕНИЕ ОЗЁР НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАК ФАКТОР, ФОРМИРУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКУЮ ПРОВОДИМОСТЬ ВОДЫ.....	8
Асмаловский Н.А. ТРАНСГРАНИЧНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ ВИЛИЯ.....	17
Волчек А.А., Дашкевич Д.Н. ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВЕННОГО РЕЖИМА РЕК БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ.....	20
Волчек А.А., Мороз М.Ф. МЕЛИОРАТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ.....	25
Волчек А.А., Натарова О.Н. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА ВОДЫ РЕК БЕЛАРУСИ.....	30
Волчек А.А., Шешко Н.Н., Костюк Д.А., Петров Д.О. КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ Р. ПРИПЯТЬ).....	36
Волчек А.А., Шпока И.Н., Шпока Д.А. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТЕЛЕЙ И СНЕГОПАДА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ.....	43
Громик Н.В., Водчиц Н.Н., Стельмашук С.С. НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ С КАМЕРНЫМ ОТВОДОМ.....	48
Гертман Л.Н., Рутковский П.П. МЕРЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ЧЕРВОНОЕ.....	56
Кирвель И. И., Кукшинов М. С. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ РАСШИРЕНИЯ СЕТИ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЁМОВ.....	61
Колобаев А. Н., ФамНгокКиен ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ РЕК БЕЛАРУСИ И ВЬЕТНАМА.....	68
Корнеев В.Н., Гертман Л.Н., Титов К.С., Булак И.А. УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО РЕЖИМА ВОДОТОКОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ.....	73
Левкевич В.Е. О РАСПРЕДЕЛЕНИИ СКОРОСТЕЙ ВОЛНОВОГО ПОТОКА ПО ПРОФИЛЮ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ.....	80
Левчук Н.В., Василевская М.В. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ АГРЕССИВНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ КОРРОЗИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ.....	88
Левчук Н.В., Гуляко Е.А. АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШУМОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЧЕЛОВЕКА.....	93
Лукашевич Я.С. ХОД И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКЕ СЛУПИ В СЛУПСКЕ В ГОДЫ 1960-2013.....	97
Мажайский Ю.А., Лазарева Т.С. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ЛЕГКИХ И СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ПРИ ОРОШЕНИИ ГАЗОНОВ.....	105
Мешик О.П., Зубрицкая Т.Е. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОДУЛЕЙ СТОКА ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ РЕК БЕЛАРУСИ.....	111

Мешик О.П., Шпендик Н.Н., Валуев В.Е. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ.....	116
Рокочинский А.Н., Дзюба Я.В., Живица В.А., Трофимчук Д.Н. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКОМ ПАВОДКОВ В УСЛОВИЯХ ПРИКАРПАТЬЯ.....	122
Стельмашук С.С., Водчиц Н.Н., Громик Н.В. ТЕХНОЛОГИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ.....	127
Струк М.И., Кузнецов Д.П. ФЕРМЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА КАК ФАКТОР ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРИПЯТСКОМ ПОЛЕСЬЕ.....	131
Троцюк В.С., Фурман В.М. ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО СОСТАВА И ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ.....	136
Фам Нгок Киен МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ РЕК.....	142
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ	
Miseckaitė O., Tapauskienė L. ASSESSMENT OF DEPENDENCE OF CHANGE IN LITHUANIAN RIVER RUNOFF ON SIZE OF DRAINED AREAS.....	150
Адиканко И.И., Дубенок С.А. ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ.....	154
Андреюк С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ НИТРАТОВ.....	159
Вострова Р.Н., Пастухов Е. Ю., Фомин Д. К., Роденко А.В. ОЧИСТКА АЭРАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАВИТАЦИОННОГО НАСАДКА.....	164
Дубенок С.А., Захарко П.Н., Голод Ю.В. ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА И ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ВОДЫ В СИСТЕМЕ КОММУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	168
Комаровский Д.П., Т.М. Монак ПРИМЕНЕНИЕ АЛЮМОСОДЕРЖАЩИХ КОАГУЛЯНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВОДЫ РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА.....	174
Манойленко А. Е., Ермолович О.А., Громько Ж.Н. РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ МОДЕЛИ КАРТРИДЖА ФИЛЬТРА-КУВШИНА.....	180
Новикова О.К., Вострова Р.Н., Власюк Т.А. ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	185
Пеньковская А.М., Попова Е.Н. ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ.....	190
Ратникова А.М. О НОРМИРОВАНИИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	197
Рыбкина И.Д. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ЛАНДШАФТНЫХ ПРОВИНЦИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	203
Усманов И.А. К ВОПРОСУ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ БАССЕЙНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЫРДАРЬЯ.....	207

Усманов И.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНИТОРИНГА ЗА СОСТОЯНИЕМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАСЕЙНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЫРДАРЬЯ.....	211
Чобану Н. Унгуряну Д. ОДНОВРЕМЕННОЕ БИОЛОГИЧЕСКОЕ УДАЛЕНИЕ СОЕДИНЕНЬ АЗОТА И ФОСФОРА ИЗ КОММУНАЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОД.....	215
Ющенко В.Д., Галузо А.В. РЕАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД СЕРНОКИСЛЫМ АЛЮМИНИЕМ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФОСФОРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	219
ЭНЕРГО И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	
Корженевич С.В., Корженевич Е.А. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УЧРЕЖДЕНИЯХ СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	224
Куган С.Ф., Радчук А.П. НЕКОТОРЫЕ ПОХОДЫ К ПРИНЯТИЮ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ.....	228
Липко В.И., Ланкович С.В., Никифорова К.Д. ОСНОВЫ ТЕОРИИ, РАСЧЁТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЧЕРДАЧНЫХ ЗДАНИЙ С ПЛАСТИНЧАТЫМИ ВОЗДУХО-ВОЗДУШНЫМИ ТЕЛОУТИЛИЗАТОРАМИ.....	234
Новосельцев В.Г. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ.....	242
Новосельцева Д.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ С УСТАНОВКАМИ СО СЛОЕВЫМ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ГОРЕНИЕМ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ.....	250
Приходько Н.В., Филипчук Б.А., Мендусь С.П., Рокочинский А.Н. ПОВЫШЕНИЕ ДРЕНИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ ПРИДУНАЙСКИХ РИСОВЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.....	257
Рачковская Е.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ АВТОРИТЕТАМИ ТЕРМОСТАТИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ.....	262
Сальникова С.Р., Сопин Ю.Ю. РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ПО ПРИНЦИПУ МИНИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ.....	269
Северянин В.С., Горбачева М.Г. ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	273
Турченко В.А. РОЛЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГО- МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И УРОЖАЯ ВЕДУЩЕЙ КУЛЬТУРЫ РИСА.....	276
Хайдаров Б.Б., Мазов И.Н., Кузнецов Д.В., Суворов Д.С. РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ.....	281
Широкова О.Н., Липко В.И. ОСНОВЫ ТЕОРИИ АЭРОСТАТИКИ, АЭРОДИНАМИКИ, ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА АЭРАЦИИ ЦЕХОВ С ТЕПЛОИЗБЫТКАМИ.....	290
Янчилин П.Ф. ФИЗИЧЕСКИЕ (ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ) ПРОЦЕССЫ ПРИ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	298
СПИСОК АВТОРОВ	303

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

**Сборник научных статей
Международной научно-практической конференции**

Часть II

6-8 апреля 2016 г.

Текст печатается в авторской редакции

Ответственный за выпуск: Волчек А.А.
Редактор: Боровикова Е.А.
Компьютерный набор: Зубрицкая Т.Е.
Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.
Корректор: Будник О.А., Игнатюк Т.Н.

Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.

Подписано в печать 31.03.2016 г. Гарнитура «Arial».
Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага «Снегурочка». Заказ № 209.
Уч. изд. л. 19,25. Усл. печ. л. 18,0. Тираж 75 экз.

Отпечатано на ризографе Учреждения образования
"Брестский государственный технический университет".
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ISBN 978-985-493-360-3



9 789854 933603

Репозиторий БРГТУ