

The article analyzes the work of municipal wastewater treatment plant, as a result of which it is revealed that the unsatisfactory work of the plant is associated with the swelling of activated sludge. The study and analysis of possible types of swelling of the active sludge and the reasons that lead to its swelling showed that filamentous activated sludge data wastewater treatment plants due to the low load on the activated sludge for organic contaminants.

As a result of the work, scientifically grounded recommendations on improvement of technological process and operation of sewage treatment facilities were developed.

УДК 628.34

Гуринович А. Д., Бойцов В. Г.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Введение. Потребность в разработке методологических подходов анализа состояния и перспектив развития систем водоснабжения малых городов обусловлена необходимостью выполнения на стадии их технико-экономического обоснования (ТЭО) разработки мероприятий, оптимизирующих инвестиции и эксплуатационные затраты [1, 2]. Обязательным условием разработки ТЭО должно быть математическое моделирование гидравлики водопровода. Знание о гидравлических потенциалах водопроводной сети города крайне важно как при обосновании подключения новых потребителей воды к действующим водопроводным сетям, так и строительству новых сетей и водозаборов. Наличие математической модели водопровода позволяет принимать обоснованные технические и экономические решения перспективных направлений их развития с учетом современных инновационных технологий, минимизирующих капитальные и эксплуатационные затраты.

На качество результатов математического моделирования водопровода существенное влияние оказывают следующие факторы:

- достоверность данных о топологической конфигурации системы водоснабжения;
- наличие геоинформационной системы (ГИС);
- техническое состояние элементов системы водоснабжения;
- наличие системы мониторинга и полнота технологических параметров работы элементов системы водоснабжения;
- наличие интегрированных биллинговых систем с геопространственной информацией о водопотребителях, способствующих подготовке исходных данных в автоматическом режиме;
- наличие баз данных архивных значений часовых и секундных расходов;
- наличие данных проведения систематических замеров гидравлических параметров на характерных участках водопроводной сети, а также водозаборных скважин.

В предлагаемых методологических подходах анализа состояния и перспектив развития систем водоснабжения выделяются следующие этапы:

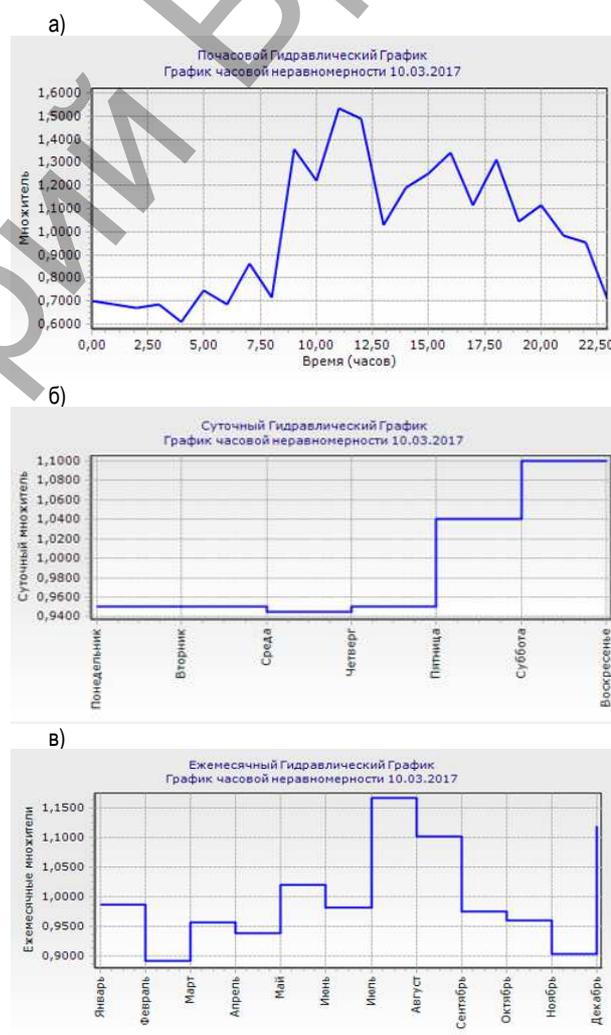
1. Сбор, изучение и обработка информации.
2. Натурные обследования.
3. Обработка и анализ материалов обследования.
4. Разработка мероприятий по оптимизации и интенсификации.

Сбор, изучение и обработка информации. Подготовка расчетной схемы математической модели гидравлики водопровода целесообразно вести в рамках создания ГИС предприятия, изначально предназначенной для сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о представленных в ГИС объектах. Информация, представленная на картах и планах местности, проще и нагляднее для понимания, анализа и интерпретации, чем текстовая и цифровая информация, таблицы, графики и рисунки.

Для построения пространственной модели используется объектно-ориентированный подход. Каждый объект ГИС представлен в классификаторе и описан набором его свойств – физических и экс-

плуатационных характеристик, а также способов отображения в системе. Кроме того, описываются взаимосвязи между объектами. Комбинации этих элементов образуют пространственные модели объектов. Классификатор позволяет точно и однозначно систематизировать объекты и их пространственные отношения.

ГИС сегодня – еще и интеграционная среда, позволяющая объединять и систематизировать разнообразную информацию, её потоки, поступающие из многих отделов и служб.



а) часовой; б) суточный (по дням недели), в) месячный
Рисунок 1 – Графики неравномерности водопотребления

Гуринович Анатолий Дмитриевич, д. т. н., профессор, профессор кафедры экономики строительства Белорусского национального технического университета.

Бойцов Виталий Геннадьевич, директор ООО «ГеоЦентрГрупп», соискатель степени кандидата технических наук кафедры «Кораблестроение и гидравлика» ФЭС Белорусского национального технического университета. Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65.

Ввод данных о расходах потребителей и получение узловых расходов. В последние годы производители программного обеспечения Bentley (WaterGEMS, WaterCAD) [3], DHI (Mike Urban) [4], Поли-терм (ZuluHydro) [5, 6] и др. [3] для проведения гидравлических расчетов предлагают динамическое моделирование, которое позволяет изучать гидравлику сети в режиме online, часа, суток, недели, года.

При динамическом моделировании в качестве расчетного узлового отбора вносится среднечасовое водопотребление в сутки среднесуточного водопотребления и каждому потребителю назначается график часовой, суточной, годовой неравномерности (см. рис. 1).

Самый простой и качественный метод задания среднесуточного расхода узлу расчетной схемы по принципу: один водопотребитель – один узел (рис. 2).

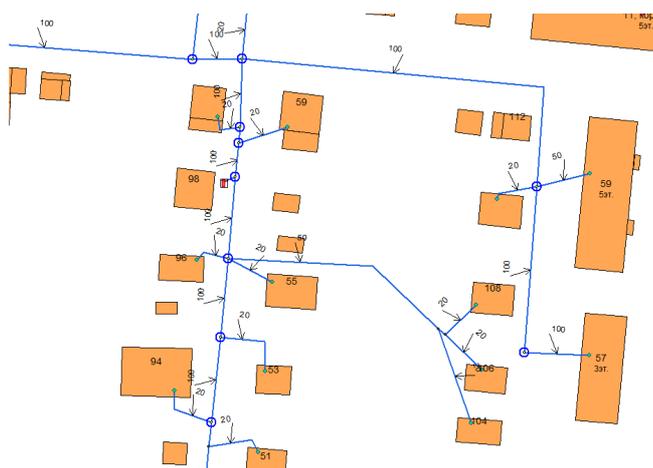


Рисунок 2 – Схема водопроводной сети с указанием каждого водопотребителя

Идеальным решением, позволяющим автоматизировать ввод информации об узловых отборах в расчетную схему, является геокодированный импорт данных водопотребления из биллинговой системы [4].

При отсутствии автоматизированных систем среднечасовое водопотребление потребителями осуществляется по данным абонентского отдела предприятия. В этом случае за основу берутся данные месячного водопотребления потребителей, делятся на количество часов в месяце и делятся на коэффициент месячной неравномерности. Например, месячное водопотребление многоквартирного жилого дома в ноябре 2017 г. составило 4392 м³, коэффициент месячной неравномерности в ноябре, по данным статистических наблюдений, K_{мес}=0,9030. Среднечасовой расход при этом составил 4392/30/24/0,9030=6,76 м³/час.

Часовую неравномерность для населения можно определить одним из следующих способов:

1. По журналам подачи воды водозаборными в сеть.
2. Более точный способ – с помощью инструментальных исследований (стационарными и портативными расходомерами) потребителей с различной степенью благоустройства.

Для сосредоточенных потребителей, таких как заводы, фабрики и т. д., среднечасовой расход получаем путем деления месячного расхода на количество часов в месяце и деления на месячный коэффициент неравномерности. Например, месячное водопотребление одного из предприятий, работающего по будним дням 9 часов сутки, в ноябре 2017 г. составило 955 м³, коэффициент месячной неравномерности в ноябре, по данным статистических наблюдений, K_{мес}=0,8300. Среднечасовой расход в этом случае составил 955/22/9/0,8300=5,81 м³/час.

Часовую неравномерность водопотребления предприятием можно определить одним из следующих способов:

По опросному листу, в котором будет отражен график водопотребления или предоставлен режим работы предприятия.

Более точный способ – с помощью инструментальных исследований (стационарными и портативными расходомерами).

Имея сведения о водопотребителях города, можно получить сведения о расчетном водопотреблении города Q_t^g в любой момент времени t

$$Q_t^g = \sum_{i=1}^{i=n} Q_{ср.час}^{хол,n} \cdot K_{h,час}^{хол,n} \cdot K_{d,сут.}^{хол,n} \cdot K_{т,мес.}^{хол,n} + \sum_{i=1}^{i=n} Q_{ср.час}^{гор,n} \cdot K_{h,час}^{гор,n} \cdot K_{d,сут.}^{гор,n} \cdot K_{т,мес.}^{гор,n} + \sum_{i=1}^{i=b} Q_{ср.час}^{сосред.,b} \cdot K_{h,час}^{сосред.,b} \cdot K_{d,сут.}^{сосред.,b} \cdot K_{т,мес.}^{сосред.,b}$$

где Q_{ср.час}^{хол,n}, Q_{ср.час}^{гор,n}, Q_{ср.час}^{сосред.,b} – среднечасовой расход холодной, горячей воды водопотребителей со степенью благоустройства n и сосредоточенными водопотребителями (предприятия, административно-бытовые здания,...); K_{h,час}^{хол,n}, K_{h,час}^{гор,n}, K_{h,час}^{сосред.,b} – коэффициент часовой неравномерности холодной, горячей воды водопотребителей со степенью благоустройства n и сосредоточенными водопотребителями; K_{d,сут.}^{хол,n}, K_{d,сут.}^{гор,n}, K_{d,сут.}^{сосред.,b} – коэффициент суточной неравномерности холодной воды по дням недели водопотребителей со степенью благоустройства n и сосредоточенными водопотребителями; K_{т,мес.}^{хол,n}, K_{т,мес.}^{гор,n}, K_{т,мес.}^{сосред.,b} – коэффициент месячной неравномерности холодной, горячей воды водопотребителей со степенью благоустройства n и сосредоточенными водопотребителями.

Скелетизация математической модели гидравлики водопровода. При построении подробных схем водоснабжения количество узлов делает схему трудночитаемой и соответственно труднопонимаемой. В качестве примера можно привести г. Рогачев – при общей протяженности водопроводных сетей 178 км, количество участков составляет 6778, количество узлов составляет 6054.

С целью облегчения анализа исходных данных и результатов



Рисунок 3 – Схема водопровода при математическом моделировании до скелетизации – а и после скелетизации – б

расчета очень часто применяется упрощение (скелетизация) математической модели гидравлики водопроводной сети [5]. Программное обеспечение WaterGEMS позволяет проводить автоматическую скелетизацию – упрощение расчетной схемы по заданному пользователем алгоритму с сохранением ее гидравлической целостности.

При упрощении работ по скелетизации математической модели гидравлики водопроводной сети г. Рогачева количество расчетных участков сократилось с 6778 до 398, а узлов – с 6054 до 269 (рис. 3).

По результатам упрощения возникает вопрос – как при скелетизации важно распределять узловые расчетные расходы так, чтобы это не отразилось на качестве гидравлического моделирования.

Существуют различные способы и технологические подходы к решению данной задачи [6]. Программное обеспечение WaterGEMS V8i позволяет назначить расчетное водопотребление одним из следующих способов:

Объединение и агрегирование счетов-фактур от биллинговой системы. Этот метод позволяет привязывать данные о водопотреблении от биллинговой системы к узлам расчетной схемы.

Биллинговая система позволяет вычислять стоимость воды и услуг канализации для каждого клиента и хранит информацию обо всех тарифах и прочих стоимостных характеристиках, которые используются абонентскими службами по расчету с потребителями для выставления счетов.

Привязка к ближайшему узлу расчетной схемы.

Этот метод позволяет присваивать расчетные расходы водопотребителей к расчетному узлу схемы.

Этот метод использует возможности пространственного анализа ГИС для назначения геокодированных данных для ближайшего узла или трубы (рис. 4).

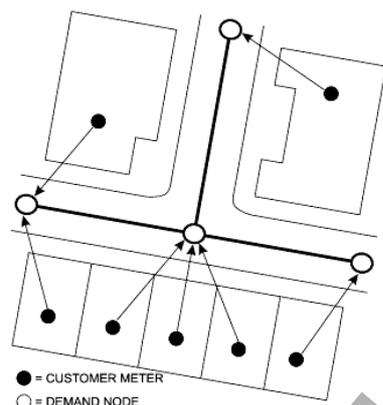


Рисунок 4 – Привязка данных к ближайшему узлу

Географическое расположение счетчика в ГИС не обязательно является точкой, из которой вода берется из системы, но может быть центром земельного участка, центром тяжести здания или точкой вдоль фасада здания. В идеале, точка привязки объекта в ГИС должна совпадать с местом расположения узла учета воды абонента.

Привязка к ближайшей трубе.

При этом методе присваивает расчетным узлам схемы нагрузки водопотребителей на ближайшую трубу, а затем распределяет нагрузки с использованием пользовательских критериев.

Этот метод использует возможности пространственного анализа ГИС для назначения геокодированных данных для ближайшей трубы. Далее системе следует предложить следующую стратегию и методы распределения узловых отборов.

3.1 Взвешенное распределение.

Этот метод позволяет распределять часть общей нагрузки, назначенной трубе, на основе расстояния между потребителями (абонентами) и узлами на концах трубы. Чем ближе водопотребитель находится по отношению к концу трубы (узлу), тем больше нагрузки будет присвоено ему.

3.2 Равное распределение.

Этот метод присваивает равную часть общей нагрузки, назначенной прилегающей трубе, каждому из конечных узлов расчетного участка.

3.3 Ближайший узел

Этот метод присваивает всю общую нагрузку, назначенную конечному узлу трубы, который ближе всего к водопотребителю (абоненту).

3.4 Самый дальний узел

Этот метод присваивает всю общую нагрузку, назначенную конечному узлу трубы, который ближе всего к водопотребителю (абоненту).

Натурные обследования. Для диагностики работы водопровода города и внесения, в последующем, необходимых корректировок в ее работу необходимо произвести пьезометрическую съемку водопроводной сети. Такую съемку можно получить с использованием стационарных и временных пунктов контроля давления и расхода.

При осуществлении пьезометрической съемки водопроводной сети с помощью автономных регистраторов давления (временные пункты контроля давления) необходимо руководствоваться определенной последовательностью работ: выбор точек сети для измерения давлений; выбор оборудования назначенных мест с учетом установки автономных регистраторов давления; геодезическая съемка каждой точки; проведение замеров; обработка материалов манометрической съемки; повторная пьезометрическая съемка; систематизация материалов пьезометрической съемки.

При выборе точек измерения целесообразно их располагать на основных магистралях, по ходу движения воды от насосных станций к наиболее удаленным потребителям, а в случае питания сети несколькими насосными станциями – к предполагаемым точкам встречи потоков.

Контрольные точки намечаются:

- а) в местах ответвлений от магистралей;
- б) в местах более высоких геодезических отметок;
- в) вблизи высоких зданий;
- г) в местах, где наблюдаются недостаточные свободные напоры.

На схеме водопровода (рис. 5) показано расположение точек измерения.

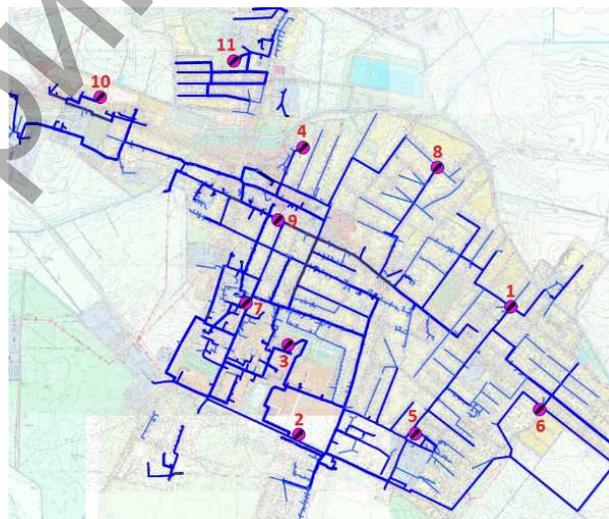


Рисунок 5 – Схема водопроводной сети с указанием мест установки автономных регистраторов давления [1–11]

Замеры давления производятся, по возможности, во всех наиболее ответственных точках одновременно. В случае, если для этой цели не хватает приборов, система делится на отдельные независимые зоны.

При наличии нескольких насосных станций, подающих воду в разные зоны или участки сети, съемка производится по зоне или участку, обслуживаемому данной насосной станцией.

При работе ряда насосных станций в одну зону, съемку следует производить по направлению встречных потоков в магистралях, что дает возможность определить зону влияния каждой насосной станции.

Обработка и анализ материалов обследования. Для практического применения математического моделирования гидравлики водопровода необходимо, чтобы расчетные значения давления в узлах и расходов по трубопроводам имели минимально допустимые отклонения от фактических.

В процессе калибровки модели к реальной работе сети используются возможности системы математического моделирования и макси-

мально допустимое количество фактических данных о расходах и давлении по данным проведенной пьезометрической съемки, текущих данных из системы мониторинга технологических параметров.

Ручной эмпирический подход калибровки математической модели гидравлики водопровода крайне трудоемок и из-за наличия большого количества параметров труднодостижим до уровня приемлемых результатов.

Программные продукты Bentley® WaterGEMS и DHI (MikeUrban) позволяют проведение автоматической калибровки математической модели.

Преимущество программного обеспечения Bentley® WaterGEMS заключается в использовании генетического алгоритма калибровки математической модели, в котором калибровке подлежат коэффициенты эквивалентной шероховатости трубопроводов, узлового потребления.

Генетические алгоритмы основаны на принципах естественного отбора. Так, в исследованиях водопроводной сети г. Червеня калибровка математической модели основывалась на 722 натуральных замерах расходов и давления. Были выдвинуты условия калибровки: максимальное количество проб 5 млн, оставляемых решений – 3, поколения без улучшения – 200, погрешность соответствия - 0,001, максимальное число эволюций – 6, число поколений на эволюцию – 150, размер популяции – 50, возможность деления -1,7%, возможность скрещивания – 90%, возможность мутаций – 1,0%. На 3564216 шаге поколения результатов калибруемой модели достигли состояния, при котором генетический алгоритм достиг максимального подобия результатам натуральных замеров. Среднеквадратичная ошибка лучшего решения составила 16,565. График корреляции смоделированного и наблюдаемого пьезометрического напора в контрольных точках представлен на рисунке 6.

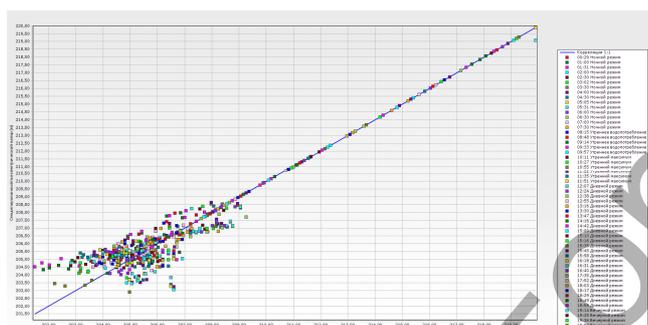
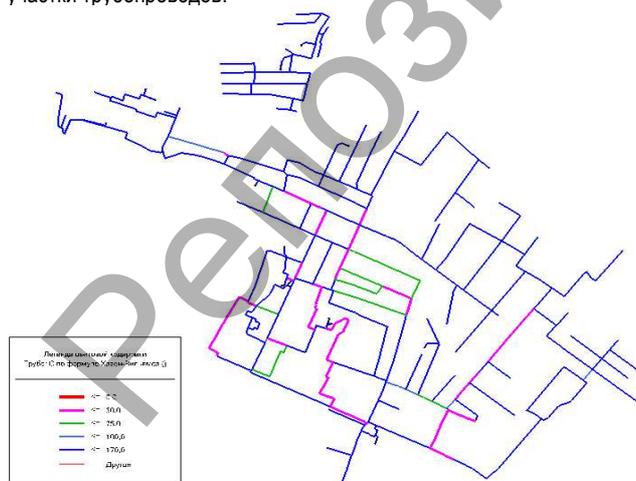


Рисунок 6 – График корреляции смоделированного и наблюдаемого пьезометрического напора в контрольных точках

Визуализация состояния пропускной способности водопроводной сети представлена на рисунке 7, где можно видеть проблемные участки трубопроводов.



Неработающая сеть (закрытое состояние)

Пропускная способность снижена на 65%

Пропускная способность снижена на 50%

Пропускная способность снижена на 35%

Нормальное состояние трубопроводов

Рисунок 7 – Схема водопроводной сети с коэффициентами шероховатости с оценкой состояния пропускной способности

Разработка мероприятий по оптимизации и интенсификации. Математическая модель гидравлики водопроводной сети, успешно прошедшая после калибровки, становится основным инструментом разработки мероприятий по оптимизации и интенсификации.

Она позволяет : выбирать оптимальный режим подачи воды с целью сокращения затрат; проводить оптимизацию зонирования и выбирать насосное оборудование; оценить эффективность реновации действующих трубопроводов, требующих ремонта или замены; моделировать отключения трубопроводов с целью оценки и минимизации определения надежности работы водопроводной сети.

Когда исследуется система водоснабжения со скважинными водозаборами, новые подходы к математическому моделированию гидравлики водопроводной сети заключаются в совместном анализе работы скважинных водозаборов (I-й подъем), сборных водоводов водозабора, резервуаров чистой воды, насосных станций II-го подъёма и водораспределительной сети города. Подобный подход позволяет решать задачи, связанные с минимизацией суммарных удельных затрат энергопотребления на всех этапах, – от добычи воды из подземных источников до подачи воды конечным потребителям.

При решении задач по минимизации энергетических затрат системы водоснабжения должна проводиться оценка влияния регулирующих емкостей на затраты, связанные с подачей воды потребителям.

Оптимальным вариантом технических решений и соответствующих инвестиций будет с минимумом стоимости жизненного цикла (LCC – Life Cycle Cost), включающих совокупные затраты на строительство (реконструкцию) и эксплуатацию в течение расчетного срока эксплуатации.

Заключение. Предложенные методологические подходы, базирующиеся на применении современных информационных технологий для сбора исходных данных и их обработки, позволяют в максимальной степени получить математические модели, адекватные существующей гидравлики системы: водозаборные скважины – насосные станции – водопроводная сеть и разработать оптимальные технические решения перспективного развития систем водоснабжения городов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Hurinovich, A.D. Drinking water supply systems with deep wells: planning, designing, constructing and operating. – Minsk: Tekhnoprint Publ., 2004.
- Batchabani, E. Optimal tank design in water distribution networks: review of literature and perspectives / E. Batchabani, M. Fuamba // J. Water Resour. Plan. Manag. 140, 2014. – P. 136–145.
- Borisov, D.A. Bentley Systems – modelirovanie i ekspluatatsiya naruzhnykh setey vodosnabzheniya i kanalizatsii [Bentley Systems – Modeling and Operation of Exterior Water Supply and Sewage Networks] // SAPR i grafika [CAD and Graphics], 2009. – № 5. – P. 64–68.
- Urban, Mike Hydraulic Design Software for Water Supply Networks. DHI Water & Environment [MIKE Series Software Developed by DHI Water & Environment]. – Available at: www.mikebydhi.com. Date of access: 05.12.12.
- ZuluHydro – gidravlicheskie raschety vodoprovodnykh setey. Kompaniya «Poli-term» [ZuluHydro - Hydraulic Design of Water Supply Networks. Poli-term Company]. – Available at: www.politerm.com. – Date of access: 05.12.12.
- Kritskij, G. Inzhnierska infrastruktura miasta i technologie cyfrowe. – Instal. – № 3(393). – 2018.
- Orlov, V.A. Analiz avtomatizirovannykh programm rascheta vodoprovodnykh setey v tselyakh gidravlicheskogo modelirovaniya pri renovatsii trubopro-vodov [Analysis of CAD Software Designated for Analysis of Water Supply Systems for the Purpose of Hydraulic Modeling Designated for Renovation of Pipelines]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering] / V.A. Orlov, I.A. Averkhev. – 2013. – № 3. – P. 237–243.
- Integrated automated management system for housing and public utilities. LLC “Billing Online”, 2013 (in Russian).
- F. Javier Martínez-Solanoa *, Pedro L. Iglesias-Reya, Daniel Mora-Meliáb,* and Vicente S. Fuertes-Miquela. Exact Skeletonization Method in Water Distribution Systems for Hydraulic and Quality Models // XVIII International Conference on Water Distribution Systems Analysis, WDSA2016.

10. Saldarriaga, J.G. Water Distribution Network Skeletonization Using the Resilience Concept / J.G. Saldarriaga, S. Ochoa, D. Rodriguez, J. Arbeláez // Water Distribution Systems Analysis, 2008.
11. Motiee, H. Estimating physical unaccounted for water (UFW) in distribution networks using simulation models and GIS / H. Motiee, E. McBean, A. Motiei // Urban Water Journal, Urban Water Journal. – Vol. 4. – № 1. – March 2007, 4:1. – P. 43–52.
12. Syczewa, E. The methodology in estimation of cost of life cycle of deep wells of underground waters intakes / E. Syczewa, A. Hurynovich – Białystok: Polish Division. Journal of the European Association of Environmental and Resource Economists, 2013. – P. 67–76.

Материал поступил в редакцию 15.05.2018

GURINOVICH A.D., BOYTSOV V.G. Methodological approaches to the analysis of the state and prospects for the development of water supply systems for cities using information technology

The need to develop methodological approaches for an analysis of the state as well as the prospects for the development of water supply systems in small towns is due to a comprehensive assessment of problems and the need to solve problems related to the optimization of current costs and investments.

The main stages of research are considered, the result of which is the development of measures to optimize and intensify water supply systems. Methodological approaches are proposed that make it possible to obtain mathematical models adequate to the existing hydraulics of the system to the maximum possible extent: the water supply network-pumping stations-water wells. The studies are based on the use of modern information technologies for the collection of data and their processing, as well as the development of technical solutions.

УДК 628.316

Волкова Г. А., Сторожук Н. Ю.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Введение. Охрана окружающей среды, в том числе предотвращение загрязнений природных водных ресурсов, является одной из наиболее актуальных проблем современности. Главное направление в решении защиты водоёмов от загрязнений – эффективная очистка сточных вод до степени, позволяющей повторное их использование, либо до нормативных показателей сброса в водоём.

Первоочередного решения в этом направлении требуют промышленные предприятия, являющиеся источниками образования высококонцентрированных сточных вод, особенно производства, расположенные в сельской местности и сбрасывающие сточные воды в маломощные водоёмы.

Сточные воды молокоперерабатывающей промышленности имеют высокую концентрацию органических загрязнений, БПК_{полн.} – 2400–2600 мг/л. Значительная часть этих предприятий расположена в неканализованной сельской местности, вблизи мест получения сырья. В таких случаях требуется устройство самостоятельных очистных станций, обеспечивающих глубокое удаление загрязнений из сбрасываемых сточных вод. Для предприятий, расположенных в городах и посёлках, обычно требуется предварительная неполная очистка сточных вод до требований их сброса в городскую канализацию [1, 5].

В то же время сооружения биологической очистки, применяемые для очистки сточных вод молочных заводов, – аэротенки и биофильтры, всё же имеют некоторые недостатки, ограничивающие их производительность. Интенсификация процесса биологической очистки сточных вод может быть осуществлена путём применения биореакторов с псевдооживленным (взвешенным) слоем мелкозернистой загрузки. Применение этих сооружений позволяет повысить эффективность очистки, удельную производительность сооружений, надёжную их работу, снизить строительные и эксплуатационные расходы. Однако практическому использованию этих сооружений препятствует недостаточная изученность закономерностей протекающих в них процессов при очистке сточных вод, многочисленные недостатки существующих конструкций и схем работы биореакторов.

К сооружениям искусственной биологической очистки относятся реакторы, оборудованные устройствами, обеспечивающими интенсификацию процессов биохимической деструкции загрязнений с помощью биоценоза, выращенного в аэробных, анаэробных или в аноксидных условиях, и сооружения для отделения этого биоценоза от очищенной воды. Биореакторы

классифицируются по различным принципам, основными из которых являются: условия селекции биоценоза по концентрации кислорода в очищаемой воде и веществах, содержащихся в ней, конструктивные особенности корпусов (резервуаров) реакторов и оборудования систем аэрации, распределения и циркуляции воды и биоценоза, а также виды загрузочных материалов для селекции на них иммобилизованной микрофлоры [8].

Различают два основных вида биореакторов. К первому относятся сооружения, в которых создаются аэробные условия для функционирования биоценоза. Это аэротенки и биофильтры различных типов, циркуляционные окислительные каналы, аэрируемые биологические пруды. Во второй вид биореакторов входят сооружения, в которых процесс обработки сточных вод производится в анаэробных условиях, например, затопленные биофильтры и биосорбёры с псевдооживленным слоем свободно плавающих анаэробных гранул биомассы или иммобилизованного биоценоза на зернистой загрузке. Аноксидные условия обработки стоков создаются, как правило, в отдельных камерах (зонах), входящих в состав единого блока ёмкостей, сооружений комбинированного типа. Основная практическая область применения анаэробных процессов – это первая стадия очистки высококонцентрированных производственных сточных вод, а так же дополнительная стадия очистки при глубоком удалении биогенных элементов в сочетании с аэробной стадией.

В зависимости от способа контакта очищаемой сточной воды и колоний микроорганизмов различают два вида сооружений: аэротенки со свободноплавающим биоценозом – активным илом и биофильтры с прикреплённым биоценозом – биоплёнкой.

Сооружения, в которых культивируется биоценоз в свободноплавающем и прикреплённом состоянии, выделяют в отдельную группу, называемую комбинированными сооружениями биологической очистки. Комбинированными считаются также те, в которых в одном блоке ёмкостей совмещены реакторы с аэробными, анаэробными и аноксидными условиями обработки сточной воды, активного ила и биоплёнки. Комбинированные сооружения работают в проточном режиме. Продолжительность обработки стоков и концентрация биоценоза в биореакторе являются важнейшими технологическими параметрами, влияющими на эффективность работы биологических реакторов [13].

Одним из основных направлений по интенсификации работы аэрационных сооружений искусственной биологической очистки

Волкова Галина Александровна, к. т. н., доцент, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Сторожук Наталья Юрьевна, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.