

- / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
6. Grochmann, A. Biologische enteisenung und entmanganung eines methanhaltigen grandwasser in speyir / A. Grochmann, R. Gollasch, G. Chumacher // GWF. Wasser, Abwasser. – 1989. – S. 441–447.
  7. Badjo, I. Technologies appropriées. L'exemple d'une grande installation de deferrisation biologique au Togo / I. Badjo, P. Mouches – 38, № 3 – P. 197–206.
  8. Клячко, В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин – М.: Стройиздат, 1971. – 578 с.

Материал поступил в редакцию 02.05.2018

**STASIUK S.R. Laboratory studies of groundwater iron removal in local systems of agricultural water supply**

The results of laboratory studies of the processes of iron removal from groundwater by physicochemical and biological methods on installation that consists of a water-air tank with a fine-fiber loading and a contact clarifying filter with a polystyrene floating filtering load are presented in the paper. The advantage of this system lies in the provision of high efficiency water purification from iron at low capital and operating costs. The regularities of changes in the content of iron in filtered water during the filtration cycle that are dependent on multiple factors are established. Recommendations about optimal working regimes of water iron removal installation are developed.

УДК 628.355

**Белов С. Г., Акулич Т. И., Наумчик Г. О.**

**ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЕ**

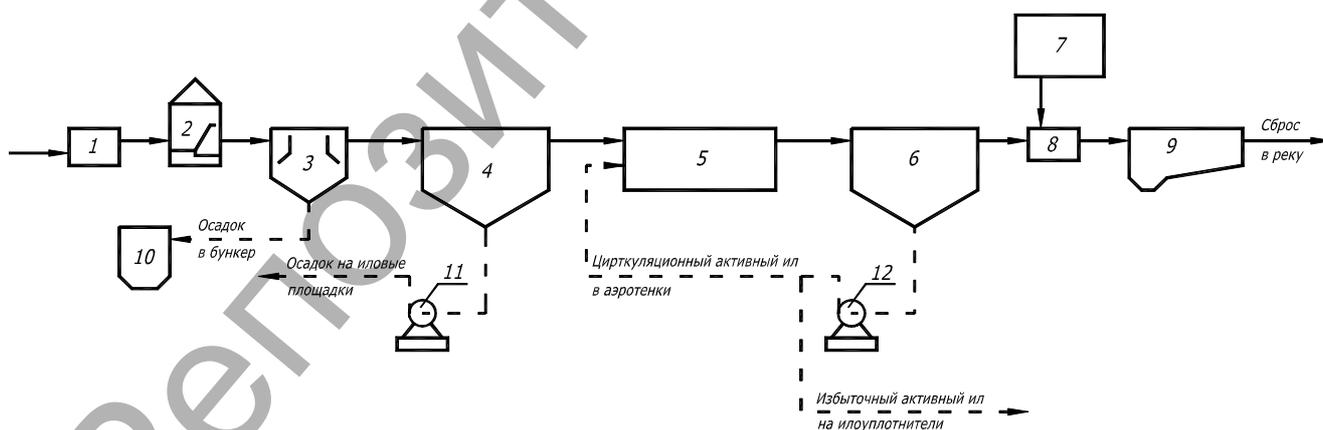
**Введение.** В настоящее время на большинстве городских канализационных очистных сооружений Республики Беларусь обработка сточных вод производится по классической схеме, включающей механическую очистку на решетках, в песколовках и первичных отстойниках, биохимическую обработку в аэротенках с последующим отстаиванием во вторичных отстойниках, обеззараживание сточной воды и в ряде случаев доочистка различными методами.

Проектирование и строительство большинства очистных сооружений было осуществлено в 60–80-х годах XX века. Как правило, проектная мощность очистных сооружений закладывалась с учетом развития промышленности города и с расширением городской застройки. Однако в настоящее время при переходе на новые методы хозяйствования резко сократилось строительство новых промышленных предприятий, на ряде предприятий снизились объемы производственных мощностей, а некоторые предприятия внедрили собственные локальные сооружения. Также в связи с использованием современных санитарно-технических устройств, счетчиков воды снизилось количество бытовых сточных вод, поступающих на очистные сооружения от населения. Все это привело к

уменьшению производительности станции, к изменению качественного состава сточных вод относительно проектных данных. Существенное различие между проектными и фактическими значениями на многих очистных сооружениях повлекло за собой ряд нарушений технологического режима очистных сооружений, что отражается в неудовлетворительном качестве очищенных сточных вод. Концентрации загрязняющих веществ сточных вод, сбрасываемых в водный объект, постоянно превышают установленные допустимые концентрации, что отрицательно сказывается на экологическом состоянии водных объектов.

С аналогичными проблемами столкнулись на очистных сооружениях биологической очистки г. Волковыска Гродненской области, в связи с чем ПУП «Волковыское коммунальное хозяйство» обратилось в БрГТУ с просьбой выявить причины неудовлетворительной работы очистных сооружений сточных вод. В настоящей статье будут рассмотрены причины неэффективной работы сооружений и предложены мероприятия по оптимизации их работы.

**Очистные сооружения** г. Волковыска предназначены для механической, биологической очистки сточных вод и обработки осадка,



- 1 – приемная камера; 2 – решетки; 3 – горизонтальные песколовки с круговым движением воды; 4 – первичные радиальные отстойники; 5 – аэротенк; 6 – вторичные радиальные отстойники; 7 – хлораторная; 8 – смеситель; 9 – контактный резервуар; 10 – песковой бункер; 11 – насосы сырого осадка первичных отстойников; 12 – илоциркуляционные насосы

**Рисунок 1** – Технологическая схема канализационных очистных сооружений

**Белов Сергей Григорьевич**, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

**Акулич Татьяна Ивановна**, старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

**Наумчик Григорий Остапович**, ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

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

введены в эксплуатацию в 1982 году с проектной производительностью 10000 м<sup>3</sup>/сут. В 1996 году было принято решение о реконструкции и расширении очистных сооружений до производительности 27000 м<sup>3</sup>/сут с целью подключения стоков молочно-консервного комбината, стоков юго-западного промышленного узла и перспективного территориального роста города. Однако в связи с изменившейся экономической ситуацией, все крупные предприятия города, имевшие свои ведомственные поля фильтрации, отказались отводить свои сточные воды на очистные сооружения г. Волковыска по экономическим соображениям. Поэтому расход сточных вод оказался значительно ниже проектной мощности сооружений. По вышеуказанным причинам из намеченных мероприятий по расширению и реконструкции очистных сооружений было выполнено строительство только камеры решеток с установкой решеток Step Screen и одного радиального вторичного отстойника диаметром 24 м.

Технологическая схема существующих очистных сооружений представлена на рисунке 1.

Сооружения механической очистки состоят из решетки-процеживателя Step Screen с шириной прозоров 16 мм, двух горизонтальных песколовков с круговым движением воды диаметром 6 м и двух первичных радиальных отстойников диаметром 24 м. В настоящее время эксплуатируется одно отделение песколовки и один отстойник.

Биологическая очистка осуществляется в техкоридорном аэротенке-вытеснителе с размерами коридора  $L \times B \times H = 60 \times 8,8 \times 3,6$  (рис. 2). В настоящее время задействованы два коридора аэротенка, которые работают параллельно в режиме вытеснения без регенерации активного ила. Аэрация в аэротенках осуществляется системой среднепузырчатой аэрации фирмы «Ракада». Циркуляционный активный ил подается сосредоточенно в начало коридора аэротенка в периодическом режиме.



Рисунок 2 – Аэротенк

Отделение очищенной воды от активного ила осуществляется во вторичных радиальных отстойниках. Всего имеется 3 вторичных радиальных отстойника диаметром 24 м. В настоящее время все сточные воды обрабатываются в одном отстойнике.

Для обработки осадков на очистных сооружениях предусмотрен песковой бункер, два илоуплотнителя (диаметром 6 м) и иловые площадки (8 карт с вертикальным дренажем).

Осветленная очищенная вода из вторичных отстойников по трубопроводу диаметром 600 мм и протяженностью 1,8 км подается в открытый мелиоративный канал через береговой затопленный выпуск и затем в р. Россь.

При изучении данных о количественном и качественном составе поступающих и отводимых сточных вод было установлено, что неудовлетворительная работа очистных сооружений биологической очистки выражается в периодическом увеличении выноса взвешенных веществ из вторичного отстойника и увеличения показателя БПК<sub>5</sub>, что приводило к превышению ПДК по данным показателям в воде водного объекта.

Дальнейший анализ данных лабораторно-производственного контроля показал, что причиной периодического увеличения значе-

ний концентрации взвешенных веществ и БПК<sub>5</sub> в очищенной воде является высокое значение илового индекса активного ила, который находился в пределах 210-881 см<sup>3</sup>/г. Иловый индекс характеризует седиментационные свойства активного ила. Рабочий диапазон значений илового индекса активного ила аэротенков, составляет 80–120 см<sup>3</sup>/г. При более высоком значении величины илового индекса значительно возрастает вынос активного ила из вторичных отстойников вместе с очищенной водой, что приводит к снижению эффективности очистки по взвешенным веществам и по показателю БПК. Значение илового индекса более 140 см<sup>3</sup>/г говорит о наличии процессов вспухания активного ила.

Основной причиной возникновения процесса вспухания активного ила является развитие нитчатых форм микроорганизмов (рис. 3).

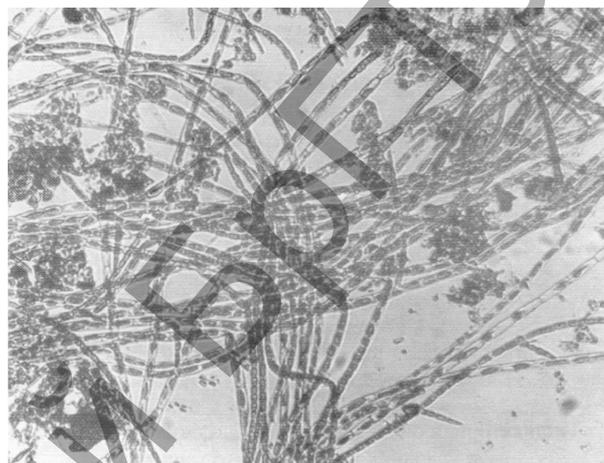


Рисунок 3 – Нитчатая структура вспухшего активного ила

Факторы, вызывающие нитчатое вспухание активного ила, по распространенности рассматриваются в следующей последовательности [2]:

Токсическое действие специфических промышленных загрязнений сточных вод на биоценоз активного ила.

Высокие нагрузки на активный ил по показателю БПК<sub>5</sub> при обработке сточных вод с высоким содержанием легкоокисляемых органических загрязнений (в основном стоки пищевой промышленности).

Низкие нагрузки на активный ил (менее 150 мгБПК/гБВАИ), т. е. недостаточная концентрация легкоокисляемых органических загрязнений в сточных водах.

Дисбаланс содержания биогенных элементов (азота, фосфора) в сточных водах.

Высокие концентрации соединений серы в обрабатываемых сточных водах.

Очистка сточных вод с pH менее 5.

С целью установления наиболее вероятной причины вспухания активного ила на очистных сооружениях г. Волковыска было выполнено аналитическое исследование, включающее изучение и анализ:

- качественной и количественной характеристик поступающих сточных вод (на основании данных лабораторного контроля);
  - данных микробиологического контроля видового состава микроорганизмов активного ила и т. д.;
  - информации о режимах стокообразования и качестве сточных вод на промышленных предприятиях города, сбрасывающих стоки в городскую канализацию;
  - регламента эксплуатации отдельных сооружений очистной станции.
- В результате проведенного анализа путем последовательного исключения была выявлена основная причина возникновения нитчатого вспухания активного ила на очистных сооружениях канализации г. Волковыска – низкие нагрузки на активный ил (менее 150 мгБПК<sub>5</sub>/гБВАИ), т. е. недостаточная концентрация легкоокисляемых органических загрязнений в сточных водах.

Выполненный теоретический анализ и натурные обследования очистных сооружений позволили выявить факторы, способствующие нитчатому вспуханию активного ила:

1. Колебания расходов и концентраций поступающих сточных вод. В результате изучения режима поступления сточных вод на очистные сооружения канализации г. Волковыска было установлено,

что в течение суток происходят значительные колебания их расхода (от 250 до 580 м<sup>3</sup>/ч, при среднесуточном расходе около 400 м<sup>3</sup>/ч), а также концентраций загрязнений по показателю БПК<sub>5</sub> (от 75 до 180 мг О<sub>2</sub>/л, при средней концентрации 130 мг О<sub>2</sub>/л). Отношения максимальных/минимальных часовых значений к среднечасовым составляет 1,5/0,6 – для расходов сточных вод и 1,4/0,6 – для значений БПК<sub>5</sub>. Данные соотношения согласно [2] являются одним из факторов развития нитчатого вспухания активного ила.

2. Некорректные проектные решения сооружений очистки. При средней фактической производительности станции 10000 м<sup>3</sup>/сут на очистных сооружениях запроектированы радиальные отстойники, которые рекомендуются применять при производительности более 20000 м<sup>3</sup>/сут [3]. Даже при эксплуатации одного радиального отстойника диаметром 24 м продолжительность отстаивания составляет 3–4 ч. Такое длительное отстаивание приводит к значительному снижению органических веществ, в связи с чем в аэротенк поступает сточная вода с концентрацией по БПК<sub>5</sub> 50–90 мг О<sub>2</sub>/л.

Также, в связи с превышением проектных расходов над фактическими, изменен режим работы трехкоридорного аэротенка-ввесителя. Один из коридоров в настоящее время не эксплуатируется, а два коридора работают параллельно в режиме вытеснения. При этом фактическое время аэрации достигает 8–9 и более часов, что при низкой концентрации легкоокисляемых органических веществ приводит к голоданию микроорганизмов активного ила, и вытеснению в условиях конкуренции за питание флокулообразующих бактерий нитчатыми бактериями. Это приводит к увеличению илового индекса и вспуханию активного ила.

3. Нарушения при эксплуатации очистных сооружений.

3.1. В настоящее время циркуляционный активный ила подается в аэротенк в периодическом режиме залповыми расходами. Это обусловлено чрезмерно высокой производительностью илоциркуляционного насоса. Однако из теории и практики биологической очистки известно, что наиболее благоприятна для проведения процесса биологической очистки непрерывная подача циркуляционного активного ила в аэротенки, поскольку при периодической подаче возникают зоны переменной дозы ила в иловой смеси.

При натурном обследовании двух параллельно работающих коридоров аэротенка было установлено, что подача сточной воды осуществляется сосредоточенно в один из углов одного коридора, а подача ила – сосредоточенно в середину этого же коридора аэротенка. Из этого следует, что происходит неравномерное распределение воды и ила между двумя коридорами и неудовлетворительное смешение сточной воды и циркуляционного ила. С учетом малого отношения длины аэротенка к его ширине (L:V=60:8,8) могут возникать транзитные потоки недостаточно очищенной сточной воды и голодающего ила.

3.2. В результате обследования вторичного отстойника было установлено, что в центральной части отстойника у поверхности воды образуется уплотненная корка активного ила, которая по мере накопления начинает перекрывать впускное отверстие вторичного отстойника. Для удаления данной корки в настоящее время имеется вырез в полупогружной перегородке на уровне поверхности воды, в который крупные фрагменты данной корки периодически проникают, и затем дрейфуют по зеркалу отстойной зоны к периферийному водосборному лотку. Также наблюдается периодическое всплывание донных скоплений активного ила около внутренней стенки периферийного водосборного лотка, что может быть связано с возникновением кольцевой периферийной «мертвой» зоны, в которой возможно происходит загнивание ила. Также на предприятии отсутствует информация о степени открытия входных отверстий сосунов илососа.

В соответствии с установленными факторами, вызывающими нитчатое вспухание активного ила и способствующими неудовлетворительной работе очистных сооружений, специалистами кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов были выполнены поверочные расчеты сооружений станции. Также для обеспечения удовлетворительной работы станции были предложены стандартные и нестандартные технические решения, основанные на научных исследованиях и подтвержденные практическим применением. На основании выполненной работы были разработаны следующие технико-технологические мероприятия, позволяющие исключить влияние негативных факторов на процесс очистки сточных вод на очистных сооружениях канализации г. Волковыска.

1. Для выравнивания расхода поступающих в аэротенк сточных вод до среднечасового рекомендуется в распределителе первичных отстойников установить водораспределительное устройство, которое позволит резервный отстойник №2 использовать в качестве резервуара-накопителя избыточного расхода сточных вод, превышающего среднечасовой расход 400 м<sup>3</sup>/ч. Подача регулирующего объема сточных вод должна осуществляться под уровень в центр распределителя насосом опорожнения первичных отстойников. Насос должен включаться и выключаться по сигналу датчика расхода, устанавливаемого в лотке подачи иловой смеси после аэротенков во вторичный отстойник. Датчик расхода должен быть отрегулирован на расход иловой смеси 530 м<sup>3</sup>/ч.

2. С целью увеличения нагрузки на активный ил по легкоокисляемым органическим веществам (показатель БПК<sub>5</sub>) и сокращения времени аэрации сточных вод до 3–4 часов, необходимо использовать один коридор аэротенка вместо двух параллельно работающих в настоящее время коридоров. Данное мероприятие обеспечит равномерное распределение и перемешивание воды и активного ила в аэротенке, а также позволит повысить концентрацию растворенного кислорода.

3. Непрерывную подачу циркуляционного активного ила в аэротенк возможно обеспечить путем замены существующего насоса илоподачи производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч на насос производительностью 130 м<sup>3</sup>/ч, который должен работать в постоянном режиме. При этом необходимо смонтировать 1 рабочий и 1 резервный насос. Также необходимо смонтировать и установить гидравлический аэратор-смеситель над лотком подачи осветленной сточной жидкости в аэротенк. Это обеспечит полное смешение и предварительную аэрацию иловой смеси на входе в аэротенк.

4. С целью устранения недостатков в работе вторичного отстойника, приводящих к выносу крупных скоплений активного ила с очищенной водой, необходимо смонтировать устройство для размытия корки, образующейся в центральной части вторичного отстойника у полупогружной перегородки. Кроме этого, для достижения данной цели необходимо смонтировать эластичный скребок на торцевой части илососа за крайним сосуном. Для обеспечения равномерности удаления осевшего активного ила и предотвращения его обводнения необходимо отрегулировать площадь входных отверстий сосунов.

**Заключение.** На начальном этапе работы были изучены и проанализированы технологическая карта очистных сооружений г. Волковыска, статистические данные по качественному и количественному составу поступающих и отводимых сточных вод, режимы стокообразования и качество сточных вод на промышленных предприятиях города, сбрасывающих стоки в городскую канализацию, видовой состав биоценоза активного ила, проведены натурные обследования канализационных сооружений.

Далее были рассмотрены возможные типы вспухания активного ила и причины, приводящие к его вспуханию. В результате проведенного анализа путем последовательного исключения было установлено, что нитчатое вспухание активного ила на очистных сооружениях канализации г. Волковыска вызвано низкими нагрузками на активный ил по органическим загрязнениям. Также были выявлены факторы, способствующие нитчатому вспуханию активного ила.

В результате работы были разработаны научно-обоснованные рекомендации по совершенствованию технологического процесса и эксплуатации очистных сооружений канализации г. Волковыска. Выполнение этих рекомендаций позволит решить главную проблему, мешающую нормальной работе рассматриваемых очистных сооружений канализации – вспухание активного ила.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: Акварос, 2003. – 507 с.
2. Харькина, О.В. Проблемы эксплуатации сооружений очистки сточных вод и их решения: вспухание и пенообразование активного ила / О.В. Харькина, С.В. Харькин // Справочник эколога. – 2015. – №2. – С. 85–96.
3. Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.01-202-2010 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2012. – 99 с.

Материал поступил в редакцию 08.05.2018

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:

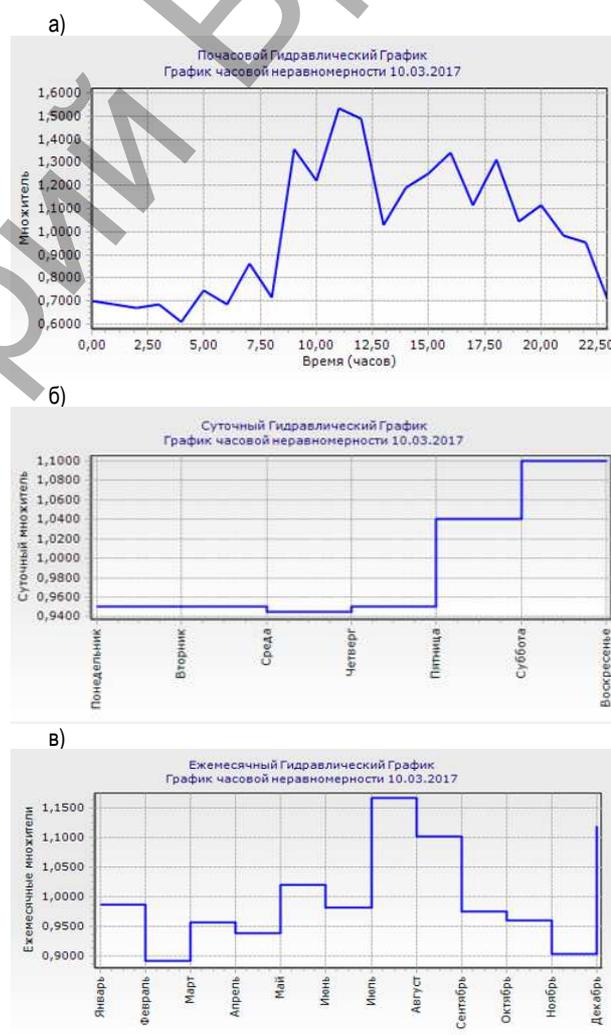
1. Сбор, изучение и обработка информации.
2. Натурные обследования.
3. Обработка и анализ материалов обследования.
4. Разработка мероприятий по оптимизации и интенсификации.

**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.