

анализа экономической целесообразности оснащения частотными преобразователями существующие насосные станции, а также для сравнения различных конкурентных вариантов насосного оборудования при реконструкции насосной станции при существующей водопроводной сети.

Выводы

1. При определении диаметров участков водопроводной сети, согласно методам [1-6], используется приближенное значение коэффициента неравномерности потребления энергии. Поэтому необходимо производить проверку соответствия будущих затрат энергии на основании проекта системы подачи и распределения воды с затратами энергии, которые принимаются в качестве исходных данных для проектирования.
2. Наиболее точным и удобным методом описания процесса водопотребления является метод, предложенный Старинским В.П., так как он учитывает наибольшее количество влияющих факторов и не требует экспериментальных замеров.
3. Предложен метод расчета затрат энергии насосной станции на основании графиков обеспеченности часовых расходов водопотребления. Расчет опирается на характеристики и режим работы предполагаемого насосного оборудования.
4. Предложенный метод расчета затрат энергии хорошо подходит для анализа экономической целесообразности оснащения частотными преобразователями существующих насосных станций, а также для сравнения различных конкурентных вариантов насосного оборудования при реконструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мошнин Л.Ф. Методы технико-экономического расчета водопроводных сетей. - М.: Стройиздат, 1950. - 144с.
2. Лобачев В.Г. Приемы расчета водопроводных сетей. - Ленинград: изд. МКХ РСФСР, 1950
3. Расчет водопроводных сетей. Учебное пособие для вузов / Абрамов Н.Н., Поспелова М.М. и др. - изд. 3 перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1976. - 304с.
4. Кирсанов М.В. Экономический расчет водопроводных сетей. - М.: Издательство министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1949. - 146с.
5. Сироткин В.П. Схемы и расчет водоводов и водопроводных сетей. - М.: «Высшая школа», 1968 -271с.

УДК 628.162.1

Дмухайло Е.И., Наумчик Г.О., Новик С.А.

МАССОПЕРЕДАЧА КИСЛОРОДА ПРИ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУЙНОЙ АЭРАЦИИ

В последние годы струйная аэрация для насыщения природных и сточных вод кислородом воздуха вызывает большой интерес и находит промышленное применение как обладающая потенциально большей эффективностью и имеющая ряд преимуществ по сравнению с традиционными системами аэрации.

К настоящему времени наиболее полно изучена массопередача свободнопадающими струями на водосливах и в значительно меньшей степени – свободными напорными струями, истекающими из различного типа насадок, конфузоров, работающих с существующей инверсией струи.

Большинство авторов изучали процесс вовлечения пузырьков, распределение их по размерам, объемный расход газа и возможные механизмы вовлечения в зависимости от

6. Кикачейшвили Г.Е. Расчет оптимальных параметров системы подачи и распределения воды – Тбилиси: «Сабчета Сакартвело», 1980 – 200с.
7. Кемелев А.А. Водопотребление и рационализация систем сельскохозяйственного водоснабжения - Алма-Ата: "Кайнар", 1979. - 124с.
8. Абрамов Н.Н., Поспелова М.М. Расчет водопроводных сетей. - изд.2 - М.: Госстройиздат, 1962. - 230с.
9. Белан А.Е., Хоружий П.Д. Техничко-экономические расчеты водопроводных систем на ЭВМ. – К.: Высшая школа. – 1979. – 192с.
10. Козицин Т.В. Влияние режима работы насосной станции на неравномерность потребления энергии // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В. Прикладные науки. – 2005. №3 – С. 199-205.
11. Вербицкий А.С. Исследование режимов водопотребления и разработка методов их прогнозирования при проектировании и эксплуатации. Автореферат – М., 1976г. – 20с.
12. Лякмунд А.Л. Совершенствование расчетов систем ПРВ с использованием статистической модели водопотребления. Автореферат – М., 1987г. – 22с.
13. Григоренко Н.В. Имитационное моделирование систем подачи и распределения – М.: МИСИ, 1987г. – 22с.
14. Викторов Г.Н. Функциональное выражение графика водопотребления городов – Тр.: ИПИ / сер. Общетеchnические и технические науки. Выпуск 37, 1967г. – С. 3-6.
15. Белохоров Н.П. и Луговской М.В. Расчет систем водоснабжения с применением вычислительной техники – М.: Колос, 1973 – 248с.
16. Целахашвили З.И. Выбор оптимального числа и режима насосных агрегатов, работающих по системе «НС – водопотребитель» при АСУВ – Реферативная информация ЦИНИС Госстроя СССР, сер. IX, 1977г. – С. 8-13.
17. Шопенский Л.А. Аналитическое описание режимов водопотребления и построение аналитических расчетных графиков. Сб. тр. / ЦНКЭП зданий, 1975, вып. 1, с. 28-34.
18. Старинский В.П. Технологические, гидравлические и технико-экономические расчеты в водоснабжении. - Минск: Высшая школа, 1985. - 200с.
19. Козицин Т.В. Проблема водоснабжения населенных мест Республики Беларусь // Материалы XXI симпозиума – AQUA 2000 – Полоцк: Полоцкий строительный институт, 2000. – С. 28-34.
20. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 136с.

различных параметров. Однако по массопередаче кислорода как конечной цели процесса имеется мало данных.

В процессе струйной аэрации турбулентная струя жидкости после прохождения через газовую среду затопляется в жидкость резервуара, вовлекая значительное количество газа, и образует водовоздушную смесь с большой площадью раздела фаз. Этот процесс подобен для многих форм течений – например, для гидравлического прыжка, используемых для гидравлической аэрации потока.

Рассмотрим физическую схему вовлечения газа и массопередачи при поверхностной струйной аэрации, показанную на рис. 1.

Дмухайло Евгений Иванович, отдел главного энергетика, инженер ВиК СП ОАО «БРЕСТГАЗОАППАРАТ».

Беларусь, г. Брест, ул. Орджоникидзе 22.

Наумчик Григорий Остапович, ассистент каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Новик Сергей Александрович, студент Брестского государственного технического университета.

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

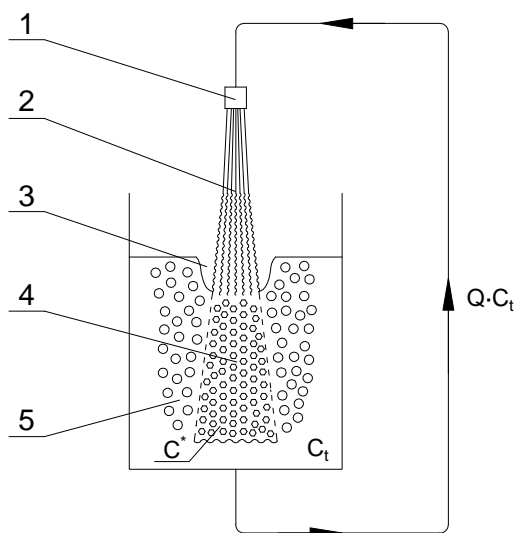


Рис. 1. Физическая схема процесса вовлечения газа и массопередачи при поверхностной струйной аэрации.

1. насадок,
2. струя,
3. газовая полость (вентилируемая камера),
4. внутренняя зона первичных пузырьков,
5. внешняя зона вторичных пузырьков.

После выхода из насадка в окружающую среду свободная струя жидкости постепенно расширяется, при этом скорость течения возрастает и на поверхности струи наблюдаются волнообразные возмущения.

Одновременно, захватывая с собой часть газа, струя образует газовую полость небольшой глубины, через дно которой входит в жидкость. Вследствие пульсаций волнового пограничного слоя происходит “коллапс” газовой полости, приводящий к образованию множества мелких первичных пузырьков, движущихся вниз и в стороны под воздействием импульса струи.

Наличие волн возмущения на поверхности жидкости, зависящих от масштаба установки и структуры газожидкостного потока, приводит к дискретности процесса вовлечения газа за счет изменения свободного для прохода газа сечения, а также его частичного захлопывания в момент прохождения волны. В результате множественной коалесценции первичных пузырьков образуются более крупные вторичные пузырьки, всплывающие к поверхности жидкости.

Таким образом, при поверхностной аэрации образуются две отличные друг от друга зоны пузырьков, для которых невозможно проследить и охарактеризовать детальное распределение во времени и в пространстве поверхностей раздела между фазами. Поэтому массопередача может быть надежно рассчитана лишь на эмпирической основе с помощью таких независимых переменных системы, как расходы каждой из фаз, их физические свойства, параметры струй, геометрий струйных аэраторов.

При высоких скоростях истечения струи внутри двухфазной области находятся в условиях интенсивной турбулентности, что приводит к почти полному насыщению жидкости кислородом в этом районе. Учитывая это обстоятельство и пренебрегая массопередачей через поверхность жидкости в резервуаре, приходим к простому уравнению кислородного баланса:

$$\frac{dC}{dt} \sim Q \cdot (C^* - C_t) / W. \quad (1)$$

С другой стороны в соответствии с основным уравнением массопередачи:

$$\frac{dC}{dt} = K_a \cdot (C^* - C_t). \quad (2)$$

Приравнявая (1) и (2), имеем:

$$W \cdot K_a \sim Q \quad (3)$$

Этот результат указывает на то, что массопередача пропорциональна расходу. Поэтому в целевой критерий массопередачи кислорода при струйной аэрации должен входить расход жидкости. Как показал анализ размерностей, отношение объемного коэффициента массопередачи к расходу жидкости описывается следующим уравнением:

$$\frac{K_a \cdot W}{Q} = f \left(Fr, Re, We, \alpha, \frac{h}{d} \right). \quad (4)$$

Так как физические свойства жидкости не изменялись в процессе опытов, и угол наклона насадки в пределах 30°...90° не оказывал существенного влияния на массопередачу, то критериальное уравнение массопередачи имеет вид:

$$\frac{K_a \cdot W}{Q} = C \left(\frac{V^2}{g \cdot d} \right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{h}{d} \right)^{\alpha_2}. \quad (5)$$

Объемный коэффициент массопередачи определяется по методу переменного дефицита кислорода и рассчитывается по уравнению:

$$K_a = 2,3 \cdot [\lg(C^* - C_1) - \lg(C^* - C_2)] \cdot \frac{K_T}{\Delta t}. \quad (6)$$

Поскольку в любой аэрационной системе существует градиент концентрации растворенного кислорода, то для повышения точности и воспроизводимости результатов измерений методика была модифицирована применительно к струйной аэрации, при которой имеет место локальный перенос кислорода и высокие скорости насыщения. Этот метод предусматривает измерения с перекрытием потока, по которым получают для любого момента времени среднюю величину концентрации растворенного кислорода.

Используемая в настоящих исследованиях установка показана на рис. 2.

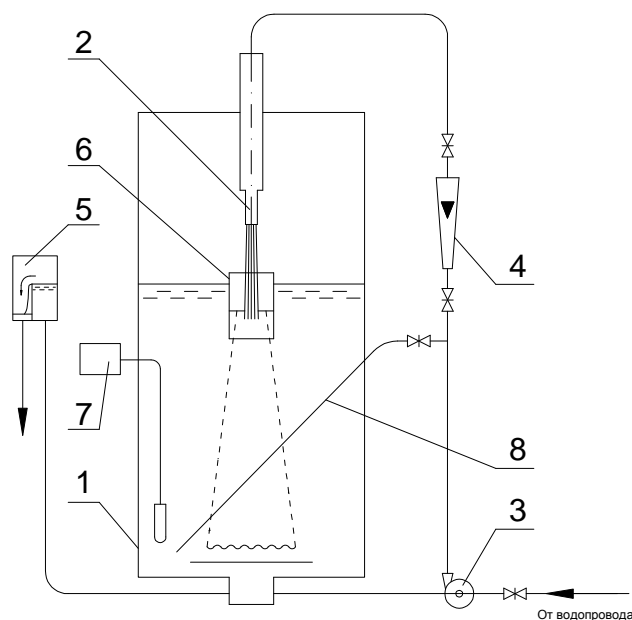


Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

1. колонна с прозрачной стенкой 0,5x0,5x1,5 м.,
2. насадок,
3. насос,
4. ротаметр,
5. подвижной водослив,
6. направляющий насадок,
7. анализатор растворенного кислорода,
8. линия струйного перемешивания.

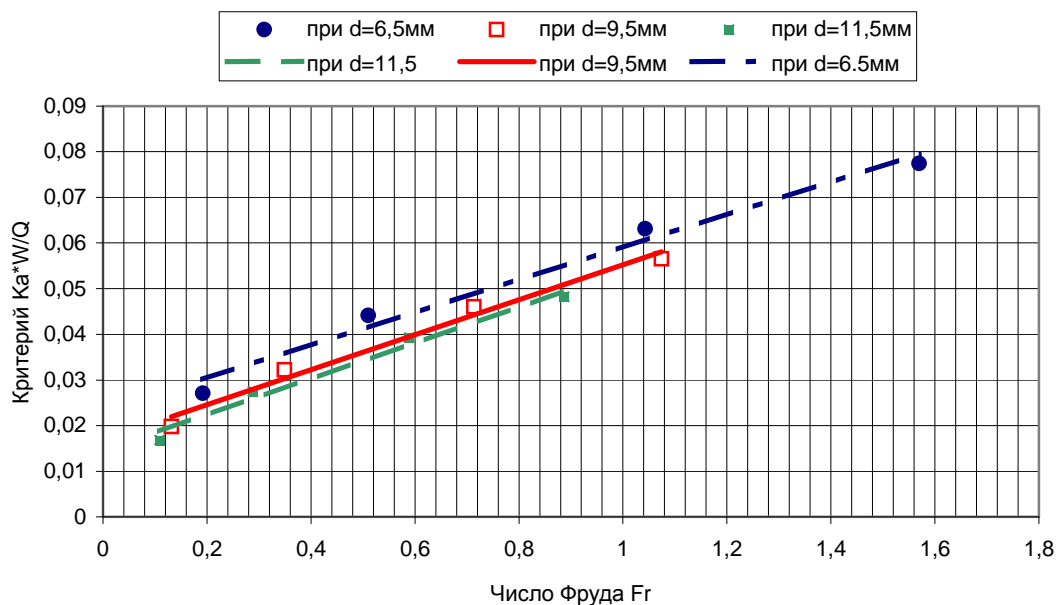


Рис. 3. Зависимость критерия $\frac{K_a \cdot W}{Q}$ от числа Фруда **Fr**, при высоте истечения из насадки $h=80$ см.

d – диаметр сопла, мм.

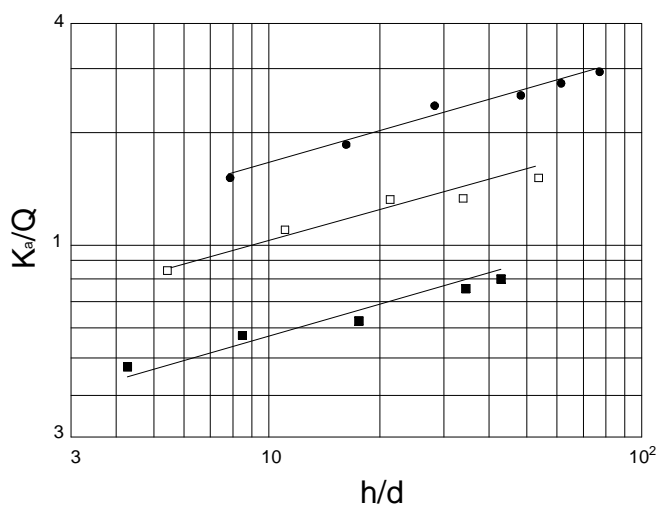


Рис. 4. Зависимость критерия $\frac{K_a}{Q}$ от критерия $\frac{h}{d}$.

- $d=6,5$ мм, $v=8,15$ м/с,
- $d=9,5$ мм, $v=5,7$ м/с,
- $d=11,5$ мм, $v=3,5$ м/с.

d – диаметр сопла, мм.

v – скорость истечения из сопла, м/с.

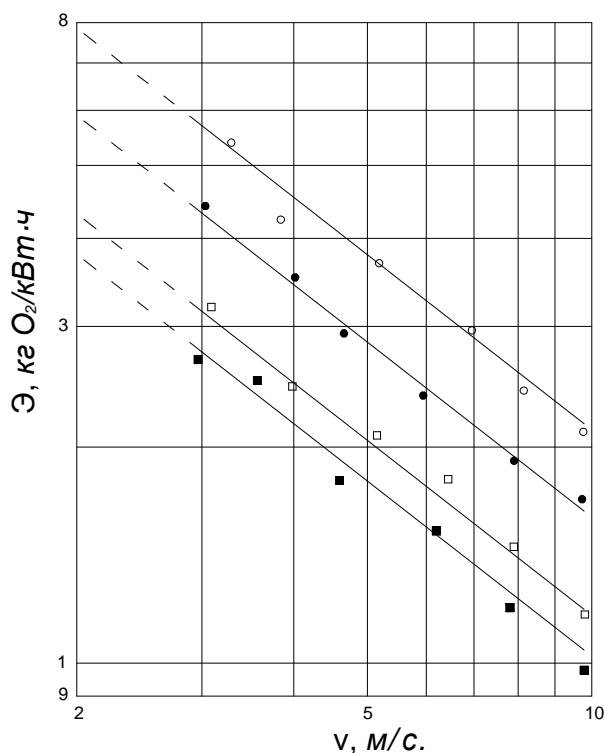


Рис. 5. Зависимость эффективности аэрации от скорости истечения струи.

- $d=5$ мм,
 - $d=6,5$ мм,
 - $d=9,5$ мм,
 - $d=11,5$ мм,
- d – диаметр сопла, мм.

С целью стабилизации условий входа струи в жидкость, зависящего от соотношения параметров струи и объема установки, оказывающих влияние на массопередачу, в точке входа струи в жидкость устанавливался короткий направляющий

насадок. Растворенный кислород измерялся анализатором АКВА-Л, датчик которого поверялся в каждой серии опытов.

Расходы воды определялись ротаметром. Применялись латунные насадки с $l/d > 10$, диаметром 5; 6,5; 9,5; 11,5 мм.

Скорость истечения изменялась от 3 до 10 м/с, высота истечения – от 5 до 50 см.

Результаты измерений в виде безразмерных соотношений представлены на рис. 3, рис. 4 и рис. 5. В окончательном виде уравнение массопередачи имеет вид:

$$\frac{K_a \cdot W}{Q} = 0,027 (Fr)^{0,5} \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{0,33} \quad (7)$$

Экспериментальные значения коэффициентов массопередачи аппроксимируются уравнением (7) с точностью $\pm 7\%$.

Как можно видеть из рис. 5, эффективность аэрации обратно пропорциональна скорости и достигает довольно высоких значений при малых диаметрах и скоростях истечения струи.

Интересно отметить, что для поверхностных механических аэраторов, вовлекающих воздух струей жидкости, срывающейся с лопасти, эффективность аэрации лежит в пределах $2...3 \text{ кг О}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ при оптимальных скоростях вращения $3...5 \text{ м/с}$, что согласуется с полученными данными для струй диаметром $9,5...11,5 \text{ мм}$. Наверное, при струйной аэрации не

УДК 628.094.3

Житенев Б.Н., Лычук Т.П.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕСЦВЕЧИВАНИЯ И ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БЕЛАРУСИ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время на промышленных предприятиях нашей страны вода питьевого качества используется чаще нерационально. Например, анализ водного баланса одного из ведущих предприятий г. Бреста показывает, что в производственном цикле используется 41% технической воды и 59% воды питьевого качества. Причем из общего количества воды питьевого качества 49% потребляется для производственных процессов, до 30%, расходуется на душевые нужды, 14% на пользование туалетами и только 1% воды идет на питьевые нужды. Учитывая высокую стоимость питьевой воды, замена ее более дешевой технической, забираемой из поверхностных источников водоснабжения для производственных, душевых нужд, пользования туалетами и уборки помещений позволит экономить предприятиям значительное количество денежных ресурсов, снижая при этом себестоимость и повышая конкурентоспособность выпускаемой продукции. Достижение указанной цели возможно путем более масштабного использования водных ресурсов из поверхностных источников, при внедрении новых высокоэффективных технологий водоподготовки.

На территории Беларуси сосредоточены значительные запасы водных ресурсов, представленных поверхностными водами. Всего насчитывается 20800 рек, общей протяженностью 90600 км. Наиболее крупные из них: Днепр и его притоки Припять, Березина, Сож; Западная Двина, Западный Буг, Неман, Мухавец и др.

Поверхностные водные ресурсы представлены в республике главным образом речным стоком, который в средние по водности годы составляет $57,9 \text{ км}^3$. В многоводные годы общий речной сток увеличивается до $92,4 \text{ км}^3$ в год, а в маловодные (95% обеспеченности) снижается до $37,2 \text{ км}^3$ в год. Естественные ресурсы подземных вод составляют $15,9 \text{ км}^3$ в год. Поверхностные воды более доступны для использования, к тому же они являются более мягкими и слабоминерализованными по сравнению с подземными, что позволяет использовать их в технических процессах, в которых накладываются

ограничения на жесткость и солесодержание. Однако поверхностные источники подвергаются загрязнению в результате использования их в качестве приемников сточных вод. Самому значительному антропогенному воздействию подвержены водные объекты в бассейне Днепра. Техногенное воздействие на реки Неман, Западная Двина, Припять и др. значительно ниже. Так, в реки бассейна Днепра поступает 71% всех сточных вод, содержащих различные загрязняющие вещества. В водные объекты в бассейнах Немана, Западной Двины и Западного Буга сбрасывается в среднем 13%, 10% и 6% таких вод соответственно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Спивак В.М. Аэраторы для очистки природных и сточных вод.—Львов: “Вища школа”, 1984г.—124с.
2. Б.Ф. Лямаев. Гидроструйные насосы и установки.—Л.: “Машиностроение”, 1988.—278с.
3. А.Е. Жерноклев, Л.П. Пилинович, В.В. Савич. Аэрация и озонирование в процессах очистки воды.—Мн.: “ТОН-ПИК”, 2002.—130с.
4. Г.И. Николадзе. Технология очистки природных вод.—М.: Стройиздат, 1980.—180с.
5. Рябов А.К. Искусственная аэрация природных вод.—Киев: “Навукова думка”, 1982.—197с.

ограничения на жесткость и солесодержание.

Однако поверхностные источники подвергаются загрязнению в результате использования их в качестве приемников сточных вод. Самому значительному антропогенному воздействию подвержены водные объекты в бассейне Днепра. Техногенное воздействие на реки Неман, Западная Двина, Припять и др. значительно ниже. Так, в реки бассейна Днепра поступает 71% всех сточных вод, содержащих различные загрязняющие вещества. В водные объекты в бассейнах Немана, Западной Двины и Западного Буга сбрасывается в среднем 13%, 10% и 6% таких вод соответственно.

По данным исследований [1], проводимых ежегодно, основными загрязняющими веществами поверхностных вод страны являются азот аммонийный и нитритный, соединения железа, фенолы и нефтепродукты. К тому же целый ряд водоемов Белорусского Полесья (Западный Буг, Припять, Мухавец, Сож и др.) имеют болотное питание, содержат гумусовые соединения, обуславливающие их цветность, которая колеблется от 50 до 120 град.

В настоящее время для очистки высокоцветных вод широко используются осветление и обесцвечивание воды, основанное на введении в воду коагулянтов (сульфата алюминия, хлорида железа(III), сульфата железа(II)), которые в результате гидролиза образуют малорастворимые хлопьевидные гидроксиды металлов, адсорбирующие содержащиеся в воде взвеси и коллоиды с последующим удалением их осаждением и фильтрованием. Однако использование сульфатов алюминия и железа приводит к увеличению солесодержания воды, которое строго регламентируется для целого ряда производств (например, в красильной промышленности, производстве целлюлозы и искусственного волокна) [2].

Недостатком сульфата алюминия является также его повышенная чувствительность к температуре и рН очищаемой воды, а также необходимость введения больших доз при обесцвечивании высокоцветных вод.

Житенев Борис Николаевич, к.т.н., зав. каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета

Лычук Татьяна Петровна, аспирантка каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

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