

УДК 628.3

Е. А. Соловьева, Б. Г. Мишуков**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
РАСХОДА И СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД**

Дата поступления: 20.05.2015

Решение о публикации: 09.07.2015

Цель: Раскрыть вероятность изменения расхода и состава поступающих на очистку сточных вод. Описать особенности состава, массы и концентрации загрязнений сточных вод, формирующихся из бытового и поверхностного стоков, в условиях общесплавной канализации. **Методы:** Вероятность поступления суточных расходов сточных вод описывается распределением их в генеральной выборке данных за срок не менее трех лет. **Результаты:** Рассмотрены изменения поступления по растворенной части загрязнений (азот аммонийный) и ХПК по концентрации и массе. Предложен вариант раздельного рассмотрения поступления бытового стока и смеси бытового и дождевого стоков. Показаны зависимости поступления расхода сточных вод, концентрации и массы загрязнений в зависимости от обеспеченности притока сточных вод на очистные сооружения. **Практическая значимость:** Отображение суточного расхода смеси дождевых и бытовых сточных вод в виде математической зависимости позволяет составить расчётные показатели работы очистных сооружений г. Санкт-Петербурга. На основе ожидаемой погоды по данным метеослужбы можно составить прогноз поступления массы сточных вод и разработать план мероприятий по очистке стоков.

Сточные воды, дождевые сточные воды, общесплавная канализация, состав стоков, очистные сооружения канализации, ХПК, азот аммонийный.

***Yelena A. Solovyeva**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, el-sol@yandex.ru (Petersburg State Transport University); **Boris G. Mishukov**, D. Eng., professor (Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering) A METHOD FOR ESTIMATION OF CALCULATED RATES OF WASTEWATER FLOW AND COMPOSITION

Objective: To discern probability of changing the flow and composition of wastewater that is to be treated. To describe specific features of composition, mass and pollution concentration of wastewater formed by land and drainage flow in combined sewage system. **Methods:** Probability of daily volumes of wastewater flow is described by their distribution in general data sample over the period of three years or more. **Results:** The study looks at changes in dissolved part of contaminants (Ammonia Nitrogen) and COD by concentration and mass. An option for separate consideration of household flow and mixture of household and rain flow is proposed. Dependencies between wastewater flow, concentration and mass of contaminants are shown in relation to the flow of wastewater to wastewater treatment plants. **Practical importance:** Showing daily volumes of mixture of rain and household wastewater as a mathematical formula allows to compile calculated rates for the operation of St Petersburg municipal wastewater treatment plants. On the basis of weather expected from weather station forecasts, a forecast of the mass of wastewater can be compiled, and measures to treat wastewater can be planned.

Wastewater, storm water, combined sewer, contaminants, wastewater treatment plants, COD, Ammonia Nitrogen.

Система водоотведения Санкт-Петербурга

Специфика системы водоотведения г. Санкт-Петербурга и пригородов заключается в приеме и очистке значительного количества поверхностных вод (дождевых и талых), а также в высоком стоянии грунтовых вод и в наличии инфильтрационного стока [1].

Кроме того, из-за использования глубоко заложенных тоннельных коллекторов большого сечения в сети при малых расходах накапливаются отложения и затем смываются в период резкого увеличения расхода.

Средства регулирования поступления поверхностного стока требуют больших затрат и, как показала практика, эти же средства, вложенные в технологию очистки воды, используются более эффективно.

Поступление сточных вод

Вероятность поступления суточных расходов сточных вод описывается их распределе-

нием в генеральной выборке данных (за срок не менее 3 лет). Пример такой выборки (гистограммы расходов) для Северной станции аэрации (ССА) и Юго-Западных очистных сооружений (ЮЗОС) показан на рис. 1 [4].

Отметим характерные участки: левую часть графика (3–5% от общего числа наблюдений) с низкими расходами, центральную часть (70–80%) и правую часть (10–15%), которая отличается нарастанием расхода до предельных и запредельных значений. Малые расходы обусловлены техническими причинами (отключением горячей и холодной воды) и может не рассматриваться как лимитирующая величина. Центральная часть является отличительным признаком индивидуального изменения водопотребления населением. Правая часть отображает природно-климатические явления данной местности (интенсивные дожди, паводки, затопление территорий и т. п. случаи).

Слабоинтенсивные дожди включаются в объем стока от населения, поскольку их влияние на расход стоков сложно зафиксировать и оценить.

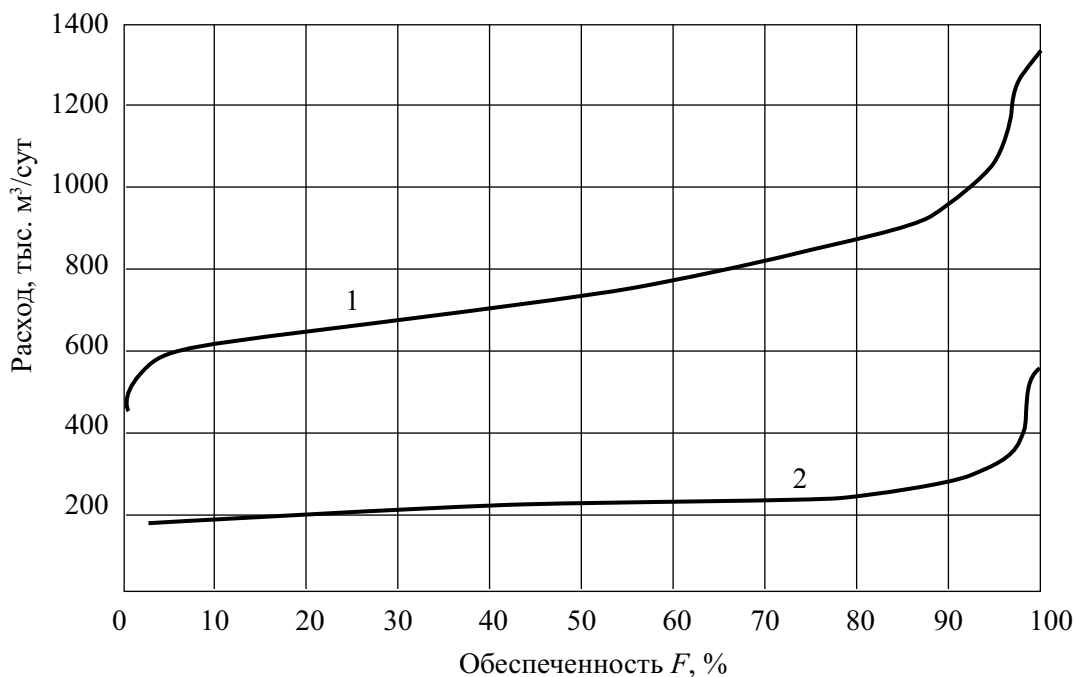


Рис. 1. Гистограмма значений расходов сточных вод, поступающих на ССА (1) и ЮЗОС (2)

Методика определения расходов

Центральная часть гистограммы расходов может быть выражена в виде прямой линии с пересечением оси ординат (рис. 2).

Слева (в точке 1) будет теоретический минимальный расход воды в сухую погоду, справа (в точке 3) – теоретический максимальный. Точка 2 – средний расход.

Расход дождевого стока нарастает по степенной зависимости при переменных значениях h_a , ψ и F .

Верхняя часть графика от точки 2 до точки 4 представляет собой приток дождевых, талых и иных вод природно-климатического происхождения.

Наращение дождевого и талого стока начинается в области обеспеченности 75–85%. Например, в Германии для разграничения вида стоков за расчетный расход бытовых сточных вод принимают обеспеченность 85% [2].

Гистограммы расхода сточных вод, показанные на рис. 1 и 2, практически одинаковы

для большинства изученных очистных станций.

В городах с полной раздельной системой водоотведения в период дождей из-за негерметичности сети и колодцев приток сточных вод увеличивается в 1,4–1,6 раза. Если центральную часть графиков представить в виде прямых линий, то получим ряд прямых линий с различным уклоном (J_F) в соответствии с изменением обеспеченности F от 0 до 100%.

Для больших станций характерен меньший уклон, чем для средних и малых.

Наращение расхода в сухую погоду

$$J_F = 1,25 - 0,2 \cdot \lg q_{cp}, \quad (1)$$

где J_F – наклон линии расхода, доли единицы; q_{cp} – средний суточный расход, л/с.

При этом расходы любой обеспеченности F (доли единицы) будут выражены в долях от q_{cp} :

$$q_F = q_{cp} \cdot [1 + (1,25 - 0,2 \cdot \lg q_{cp}) \times (F - 0,5)]. \quad (2)$$

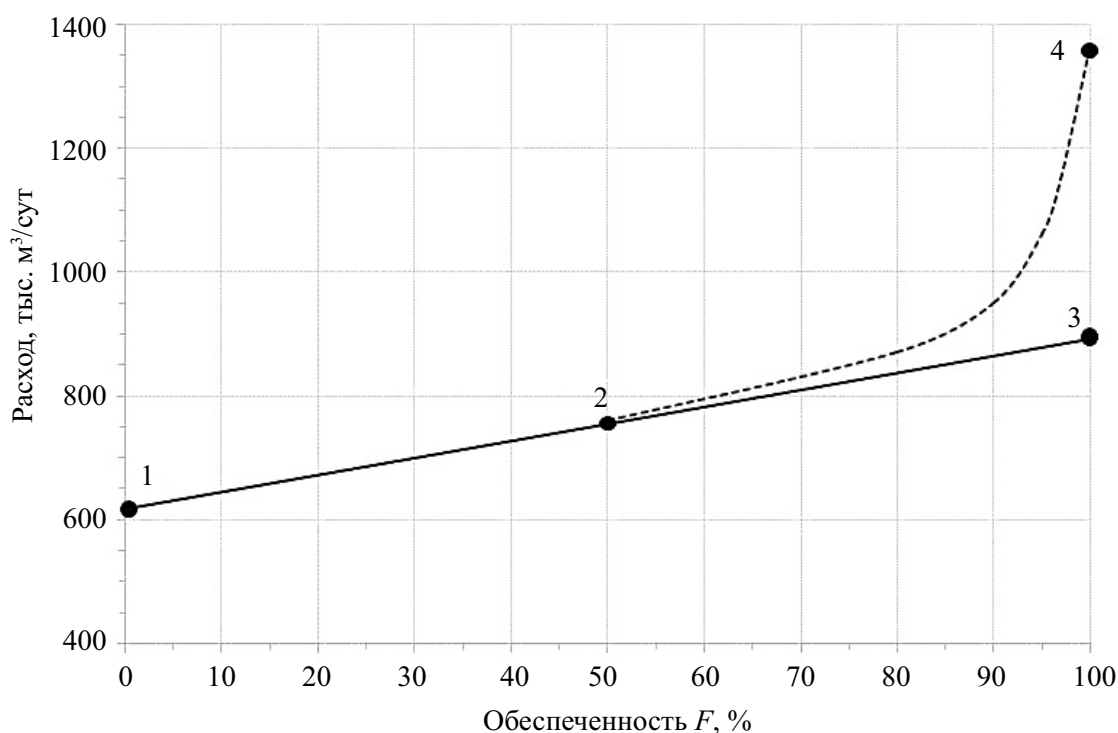


Рис. 2. Гистограмма значений расходов сточных вод

Общий расход сточных вод в системах будет превышать расход водопроводной воды за счет притока дождевых, талых и инфильтрационных стоков.

Расход инфильтрационных вод оценивается по площади бассейна стока и по удельному расходу (л/с с 1 га), принимаемому равным 0,05 л/с для районов с благополучным инженерным обустройством, 0,1 л/с – для обычных районов, 0,15 л/с – для районов с изношенными сетями. В последнем случае необходимо составить план реновации сетей и сооружений.

Для г. Санкт-Петербурга рекомендовано среднее значение удельного расхода 0,06–0,07 л/с с 1 га [1]. Для расчета учитываются площади стока с плотной жилой застройкой.

Практическая значимость

Исследования гидрографов притока на очистных станциях г. Санкт-Петербурга и его пригородов показали, что можно отобразить

суточный расход смеси дождевых и бытовых сточных вод в виде зависимости

$$Q_{\text{сум}} / Q_{\text{сух}} = \left(\frac{h_a}{h_1} \right)^{n_d}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{сум}}$ и $Q_{\text{сух}}$ – суточные расходы смеси стоков в дождь и в сухую погоду, соответственно; h_a – слой осадков, мм/сут; h_1 – осадки, не образующие стока (~ 1 мм/сут); n_d – показатель степени, отражающей изменения ψ и F во время дождя.

По результатам исследований на больших и малых по площади бассейнах стока $n_d = 0,25–0,3$, на крупных (Центральная станция аэрации (ЦСА), Северная станция аэрации (ССА)) – 0,2–0,23.

Например, для ССА нарастание стока при изменении h_a изображено на рис. 3.

На основе ожидаемой погоды по данным метеослужбы можно составить прогноз поступления массы сточных вод и разработать план мероприятий по очистке стоков.

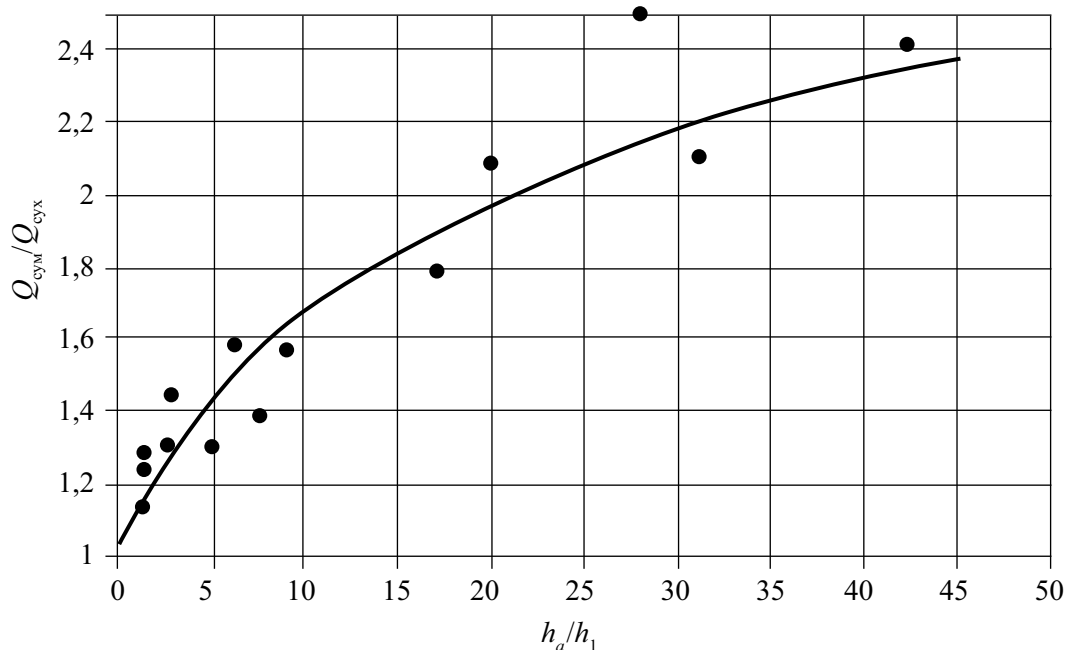


Рис. 3. Увеличение относительного суммарного расхода сточных вод ССА в зависимости от слоя осадков в неблагоприятный период

Более точную информацию можно получить при установке радаров, определяющих запас воды в надвигающихся облаках.

Наблюдения на станциях меньшей производительности (канализационных очистных сооружениях г. Петродворца, г. Сестрорецка) показали, что суточный приток может увеличиваться в 3 раза [3, 5].

Изложенный метод позволит определить фактические расходы на очистных станциях, так как площадь бассейна стока и коэффициент стока всего бассейна в целом являются величинами переменными и неопределенными.

С уменьшением площади бассейна стока возрастает относительный суммарный расход $Q_{\text{сум}}$ (за счет естественного увеличения расхода дождевых вод на коротких отрезках канализационных сетей) и меняется показатель степени n_D .

Предлагаем зависимости изменения n_D :

- для общесплавной системы канализации

$$n_D = 0,35 - 0,05 \cdot \lg q_{\text{ср}}; \quad (4)$$

- для раздельной системы

$$n_D = 0,25 - 0,025 \cdot \lg q_{\text{ср}}, \quad (5)$$

где $q_{\text{ср}}$ – средний расход сточных вод в сухой период, л/с.

Целесообразно принимать количество выпадающих осадков не более 20–25 мм/сут при $P \leq 1$ год.

В других странах максимальный расход смеси рекомендуется принимать равным удвоенному среднесуточному расходу в сухую погоду (ХЕЛКОМ) при условии, что среднесуточный расход в сухую погоду относится к маловодному засушливому году [2].

По данным прогноза суточного количества поступающих сточных вод можно определить расходы в час притока наибольшей массы воды в течение 6–8 ч.

Масса загрязнений представляет собой произведение расхода сточных вод ($Q_{\text{сут}}$, $Q_{\text{ч}}$) на концентрацию загрязнений C_i (г/м³), соответствующую диапазону изменения расхода.

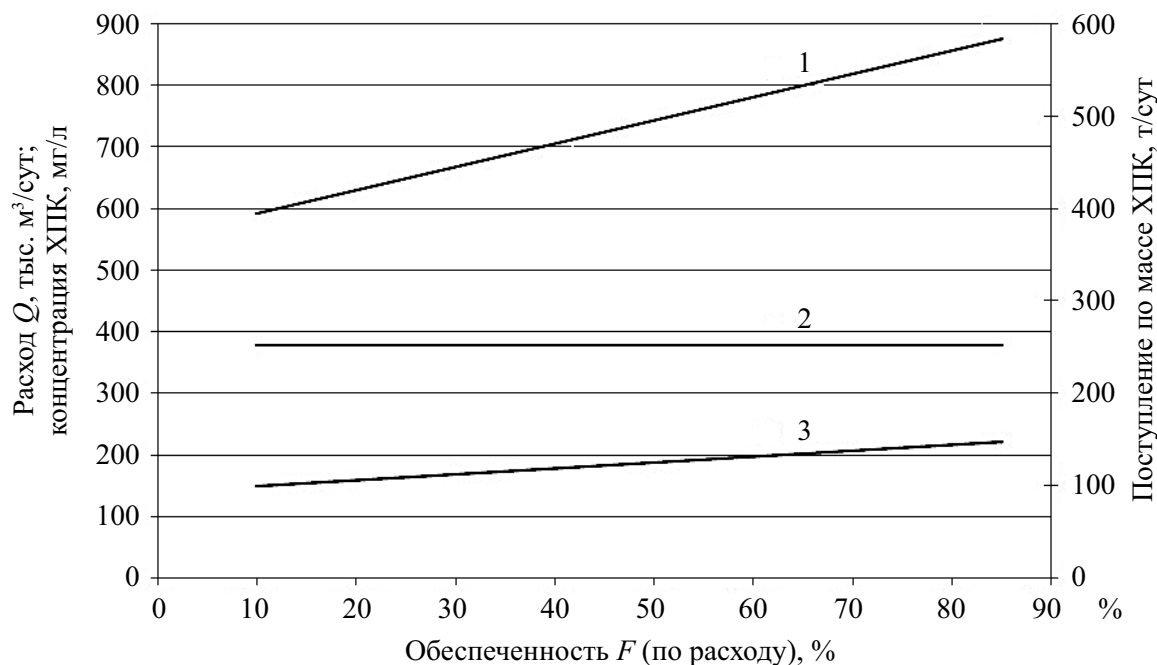


Рис. 4. График зависимости концентрации и массы загрязнений по ХПК (химическое потребление кислорода) от расхода сточных вод, поступающих на ССА г. Санкт-Петербурга (2010–2012 гг.): 1 – расход сточных вод; 2 – поступление ХПК по концентрации; 3 – поступление ХПК по массе

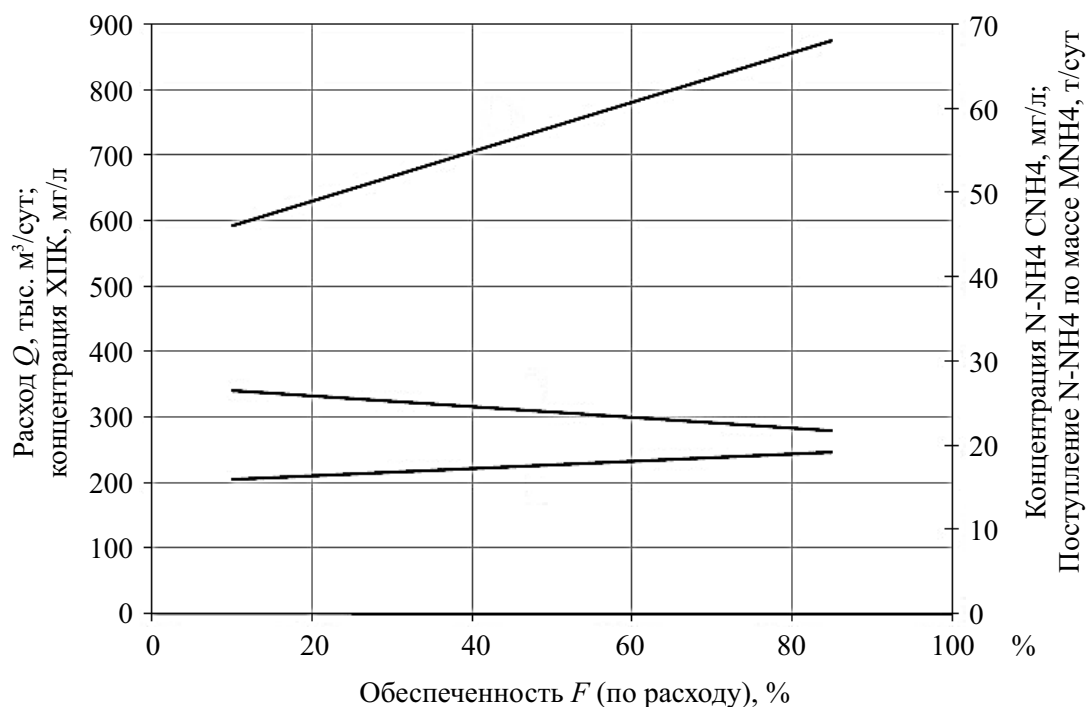


Рис. 5. График зависимости концентрации и массе по N-NH₄ от расхода сточных вод, поступающих на ССА г. Санкт-Петербурга (2010–2012 гг.):
1 – расход сточных вод; 2 – поступление N-NH₄ по концентрации;
3 – поступление N-NH₄ по массе

Суточная масса в текущий момент времени t

$$M_t = Q_{\text{сут}}^t \cdot C_{\text{ср}}^t \cdot 10^{-3} \text{ кг/сут.} \quad (6)$$

Период наблюдений t может продолжаться месяц, декаду, неделю или до 5–6 сут в неделе. В отечественной практике чаще всего применяется декадная отчетность.

Приведенные ранее гистограммы расходов и концентраций стока показывают вероятность появления того или иного загрязнения, но не во взаимосвязи между собой, т. е. Q_i и C_i определены не в одном и том же промежутке времени.

Фактическую гистограмму вероятности поступления массы загрязнений строят в такой последовательности. Гистограмму расхода воды выполняют в обычном режиме по мере увеличения данных наблюдений. В дни, когда измеряют расход, определяют концентрацию загрязнений.

На рис. 4 и 5 представлены измерения расхода и состава загрязнений на ССА.

ХПК является интегральным показателем, охватывающим взвешенные, коллоидные и растворенные вещества. Концентрация по ХПК практически не увеличивается с ростом расхода воды [5].

Выводы

Концентрация азота аммонийного снижается, массовое поступление незначительно увеличивается, это позволяет сделать вывод, что массовое поступление азота аммонийного зависит от удельной нормы загрязнений на одного жителя.

В сухую погоду наблюдается обычное распределение количества загрязнений согласно гистограммам изменения концентрации.

Если диапазон изменения расхода и концентрации рассматривать в пределах F от

10 до 85 %, то масса загрязнений будет практически постоянной, так как увеличение расхода будет компенсироваться снижением концентрации загрязнений.

За пределами рассматриваемого диапазона наблюдается включение дождевого расхода и соответствующие изменения в массе веществ.

Библиографический список

1. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / под общ. ред. Ф. В. Кармазинова. – СПб. : Новый журнал, 2002. – 683 с.

2. Лонгдонг Й. Очистка сточных вод. Программа повышения квалификации в области водного хозяйства и охраны окружающей среды / Й. Лонгдонг. – СПб. : Новый журнал, 2013. – 483 с.

3. Мишуков Б. Г. Следуя по пути модернизации типовых КОС к современным требованиям водоочистки / Б. Г. Мишуков, В. Г. Иванов, С. Г. Амеличкин, А. Н. Медведев // ВжК. – 2013. – № 1/2. – С. 76–84.

4. Рублевская О. Н. Оценка расхода и состава сточных вод в Санкт-Петербурге / О. Н. Рублевская, Л. В. Леонов, Б. Г. Мишуков и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 9. – С. 60–64.

5. Соловьева Е. А. Удаление азота и фосфора из городских сточных вод. Технологии удаления азота и фосфора в комплексе по очистке сточных вод и обработке осадка / Е. А. Соловьева. – Саарбрюккен (Германия) : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011. – 292 с.

References

1. Otvedeniye i ochistka stochnykh vod Sankt-Peterburga [Disposal and Treatment of Sewage in St Petersburg], ed. F. V. Karmazinov. St. Petersburg, Novyy zhurnal, 2002. 683 p.

2. Longdong Y. Ochistka stochnykh vod. Programma povysheniya kvalifikatsii v oblasti vodnogo khozyaystva i okhrany okruzhayushchey sredy [Sewage Treatment. Advanced Training in water Management and Environmental Protection]. St. Petersburg, Novyy zhurnal, 2013. 483 p.

3. Mishukov B. G., Ivanov V. G., Amelichkin S. G. & Medvedev A. N. *Vodosnabzheniye i kanalizatsiya – Water Supply and Sewerage*, 2013, no.1/2, pp. 76-84.

4. Rublevskaya O. N., Leonov L. V., Mishukov B. G., Vasilyeva Ye. Ye. & Solovyeva Ye. A. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika – Water Supply and Sanitary Eng.*, 2013, no. 9, pp. 60-64.

5. Solovyeva Ye. A. *Udaleniye azota i fosfora iz gorodskikh stochnykh vod. Tekhnologii udaleniya azota i fosfora v komplekse po ochistke stochnykh vod i obraborkе osadka*. [Removal of Nitrogen and Phosphorus from Urban Wastewater. Technologies for Removal of Nitrogen and Phosphorus in Sewage and Sludge Treatment]. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 292 p.

*СОЛОВЬЕВА Елена Александровна – канд. техн. наук, доцент, el-sol@yandex.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); МИШУКОВ Борис Григорьевич – д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет).