Изучение режима поступления городских сточных вод малых населенных пунктов в сухую погоду

И.И. Иваненко, К.С. Сеничева

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ),
190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

АННОТАЦИЯ

Введение. Попытки применить классические технологии очистки сточных вод к малым объемам зачастую невозможны ввиду высокой неравномерности поступления сточной воды, значительных колебаний состава сточных вод, которые отличаются большим разнообразием по сравнению со средними и большими городами. С целью определения коэффициентов неравномерности поступления сточных вод в сухой период года на объектах Ленинградской области проведены натурные замеры расходов городских сточных вод от населенных пунктов с числом жителей 1000 человек и промышленного предприятия. Используемые в практике проектирования коэффициенты неравномерности для такого рода объектов весьма разнятся по значениям, как было определено в процессе анализа литературных данных, что при проектировании головных очистных сооружений может привести к существенным ошибкам в расчетах.

Материалы и методы. Для измерения суточных расходов городских сточных вод на трех объектах Ленинградской области использованы расходомеры Взлет ЭР ЛайтМ ЭРСВ-540Ф В и Взлет ЭМ Эксперт 921И. С помощью аппарата математической статистики составлена генеральная выборка значений и удалены неправдоподобные значения. Определены коэффициенты суточной неравномерности расходов в сухую погоду и недельные коэффициенты неравномерности расходов городских сточных вод. Проведено сравнение данных различных объектов.

Результаты. Рассмотрены математические зависимости для описания колебаний суточных расходов городских стоков в течение года. Предложено описывать недельное колебание расходов при помощи недельного коэффициента неравномерности. По проведенным натурным исследованиям определены значения коэффициентов.

Выводы. Разработана методика, позволяющая спрогнозировать величину коэффициента суточной неравномерности в сухую погоду для городских сточных вод поселений с количеством жителей 1000 человек. Определены коэффициенты недельной неравномерности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоотведение, малые населенные пункты, суточный коэффициент неравномерности, расходы в сухую погоду, определение расчетных расходов, недельная неравномерность, математическая зависимость

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Иваненко И.И., Сеничева К.С. Изучение режима поступления городских сточных вод малых населенных пунктов в сухую погоду // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 2. С. 225–236. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.225-236

Research of sewage intake of small settlements in dry weather

Irina I. Ivanenko, Kseniya S. Senicheva

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU),
4 2-ya Krasnoarmeyeskaya st., Saint-Petersburg, 190005, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Attempts to apply classical wastewater treatment technologies to small volumes are often impossible due to the high irregularity of wastewater inflows, and fundamental fluctuations in the composition of wastewaters, which are very diverse in comparison with medium and large cities. At three sites located in the Leningrad Region, full-scale measurements of wastewater discharges from settlements with a population of 1000 people and an industrial enterprise were carried out in order to determine the irregularity coefficients of wastewater during the dry season. The irregularity coefficients used in the design practice for such objects differ greatly in their values, as determined in the process of analyzing the literature data, which, when designing head sewage treatment plants, can lead to significant errors in calculations.

Materials and methods. Measurement of a daily consumption of sewage flowmeters counters, elimination of improbable values, definition of consumption in dry weather, comparison of these various objects.

Results. Mathematical dependences are proposed for describing fluctuations in the daily coefficient of irregularity of waste during the year. It was proposed to describe the weekly fluctuation of expenses with the help of the weekly coefficient of non-uniformity and its values were determined for the studied objects. A method has been developed for determining estimated costs for small objects with a population of 1000 people.

Conclusions. The developed technique allows to predict the size of coefficient of daily unevenness within a year in dry weather for small settlements with number of inhabitants of 1000 people and a small share of production drains. It is possible to recommend values of coefficients of week unevenness.

KEYWORDS: sewage system, small settlements, daily irregularity coefficient, costs in dry weather, determination of estimated costs, week irregularity, mathematical dependence

FOR CITATION: Ivanenko I.I., Senicheva K.S. Research of sewage intake of small settlements in dry weather. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:2:225-236. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.225-236

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России более 40 млн чел. проживают в малых городах и сельских поселениях [1]. Около 10 % сельских поселений имеют централизованную канализацию. Малые поселения — это не только малые города и сельские поселения, но и коттеджные поселки, торговые центры, санатории и дома отдыха, военные базы, вахтовые поселки. Попытки применить классические технологии очистки сточных вод к малым объемам зачастую невозможны по следующим причинам [2, 3, 26, 27]:

- высокой неравномерности поступления сточной воды;
- значительным колебаниям состава сточных вод, которые отличаются большим разнообразием по сравнению со средними и большими городами;
- требованиями совместно очищать хозяйственно-бытовые и ливневые стоки;
- невозможностью утилизации образующихся осадков на месте.

Попытки изучения неравномерности притока ведутся постоянно, но методики определения неравномерности поступления стоков на малые объекты нет [4–6, 14, 15, 23–25].

Проведенное авторами исследование касалось первого пункта вышеперечисленного перечня — была изучена неравномерность поступления стоков на трех объектах:

- 1-й объект — деревня Большой Двор, расположенная в Бокситогорском районе Ленинградской области. Население 1100 чел., из них 96 % проживают в 2–5-этажных домах, 4 % — в частном секторе. Хозяйственно-бытовая канализация, кроме населения, обслуживает объекты социального назначения, предприятие коммунального хозяйства и сельскохозяйственное.
- 2-й объект — поселок Цвылево в Тихвинском районе Ленинградской области. Хозяйственно-бытовая канализация принимает стоки от населения (950 чел., проживающих как в многоквартирных домах, так и в частном секторе), объектов социальной и коммунальной сферы.
- 3-й объект — производственный, находится в Ленинградской области. Для персонала предусмотрены душевые. Система канализации раздельная. Хозяйственно-бытовая обслуживает 400 рабочих в будние дни и 200 в выходные, а также столовую.

В СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» по сравнению со СНиП 2.04.03-85* и СНиП II-32-74 «Канализация. Наружные сети

и сооружения», предлагается описывать неравномерность такого рода объектов с использованием новой вероятностной оценки появления расходов — 1 % обеспеченности среднего расхода сточных вод. Максимальный общий коэффициент неравномерности для средних расходов менее 5 л/с предлагается принимать равным 3. Но такой подход может привести к крайне некорректным данным для проектирования очистных сооружений. Анализ литературных источников показал также значительный разброс мнений специалистов относительно величины коэффициентов неравномерности для небольших поселений:

1. Н.С. Жмур установила, что коэффициент неравномерности может достигать значений 5 и более и определять его нужно за 14–18 ч без учета ночного времени, кроме того, в поселках — проблемы с неравномерностью притока днем, в то время как в городах они могут быть круглосуточно [7].

2. Коэффициенты неравномерности зависят от численности населения и условий уклада жизни людей и могут изменяться в широких диапазонах [8–10].

3. Максимальный часовой расход в сутки при пиковой нагрузке составляет около 15 л(чел. час), но необходимо также учитывать большую долю производственных сточных вод в типовых поселках. А.И. Василенко рекомендует принимать общий коэффициент неравномерности притока бытовых сточных вод равный 2,2 для среднего расхода сточных вод 5 л/с [11].

4. Е.О. Графова в своей работе отмечает, что очистные сооружения малых городов и поселков производительностью от 500 до 10 000 м³/сут отличаются высоким коэффициентом неравномерности — от 1,55 до 3,5 [12].

5. М.А. Канунникова и А.Н. Эпов при изучении работы очистных сооружений указали на увеличение диапазона удельных расходов стоков на человека с уменьшением производительности станций очистки. Так, для станций производительностью более 300 000 м³/сут основная часть распределения приходится на 270–370 л·чел./сут, от 100 000 до 300 000 м³/сут — 210–400 л·чел./сут, а менее 100 000 м³/сут — 150–400 л·чел./сут [13].

6. Если обратиться к европейским подходам, то стандарт ATV-DVWK-A 198E¹, разработанный Не-

¹ ATV-DVWK-A 198E. Standardisation and Derivation of Dimensioning Values for Wastewater Facilities. URL: https://kupdf.net/download/atv-dvwa198e_5ab4de35e2b6f5f669d0b19a_pdf

мечкой ассоциацией водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод, посвящен определению, сбору, оценке и анализу данных, на основе которых затем выводятся значения параметров для установок очистки сточных вод и систем канализации. Например, для оценки внутрисуточного колебания расхода стока в сухую погоду при проектировании сетей канализации рекомендуется брать 5-минутные и 1-часовые средние расходы, а для очистных сооружений — 2-часовые. При определении расходов в сухую погоду, вне зависимости от погодных условий, формируется полигон минимальных суточных объемов стока. Величины, попадающие в интервал вплоть до 20 % выше полигона, рассматриваются как сухая погода.

На объектах с незначительным водопотреблением для определения величины инфильтрации рекомендуется проводить замеры ранним утром с субботы по понедельник. Общий коэффициент неравномерности для небольших жилых районов принимается 4,5 (1,5 — коэффициент суточной неравномерности, 3 — внутрисуточной) [14, 15, 19–21, 25].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разнообразие сведений о проблеме неравномерного поступления стоков на малые объекты, неболь-

шое число новых исследований и замеров, необходимость реконструкции большей части очистных станций небольших поселений, делают проблему исследования неравномерности поступления расходов малых населенных пунктов актуальной.

Для измерения расходов были использованы расходомеры Взлет ЭР ЛайтМ ЭРСВ-540Ф В (на КОС поселков) и Взлет ЭМ Эксперт 921И (на производстве).

Обработка замеренных величин проводилась в следующем порядке:

1. На первом этапе проведено определение коэффициентов неравномерности и определено среднее арифметическое всех измерений. Оно было принято за единицу и далее путем деления суточных объемов стоков на среднеарифметическое значение за весь период наблюдений, вычисляли $K_{сут}$. Минимальные величины с квадратом отклонения от среднего более 0,3 исключались. Результаты обработки показаны на рис. 1–3.

2. Следующим этапом обработки данных наблюдений ставилась задача определения расходов сточных вод в сухую погоду. С помощью архива погоды ближайшей к исследуемому объекту метеостанции определялись погодные условия каждого из дней рассматриваемого периода. Если количе-

Рис. 1. Результаты замеров расходов сточных вод. Объект 1 (население 1100 чел.)

Fig. 1. Results of measurements of expenses of sewage. Object 1 (population of 1100 people)

Рис. 2. Результаты замеров расходов сточных вод. Объект 2 (население 950 чел.)

Fig. 2. Results of measurements of expenses of sewage. Object 2 (population of 950 people)

Рис. 3. Результаты замеров расходов. Объект 3 (производство)

Fig. 3. Results of measurements of expenses. Object 3 (production)

ство выпавших осадков за сутки составляло 1 мм и меньше, а также накануне отсутствовали сутки с дождем, день считался «сухим». Максимальные значения на графике, не обоснованные выпадением осадков или снеготаянием, с квадратом отклонения от среднего более 0,3 исключались. Обычно такие значения обусловлены неточностью метеосводки из-за возможной удаленности от объекта наблюдения. Был сформирован ряд данных расходов только для дней сухой погоды.

Вышеперечисленные шаги подходят и для производственного объекта, но для «отсеивания» недостоверных данных пришлось учитывать режим работы предприятия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Суточные коэффициенты неравномерности стоков в сухую погоду, полученные в результате обработки, представлены на рис. 4.

На всех графиках прослеживаются сезонные колебания расходов: максимальные значения приходятся на период снеготаяния (март, апрель), а минимальные — на летние месяцы, что подтверждает общую тенденцию колебаний расходов в сухую погоду, отмеченную в ряде работ [8, 14–17, 21, 22, 26–28].

Из обработки данных наблюдений для населенных пунктов с численностью жителей 1000 чел. при сухой погоде получено:

1. Максимальные значения $K_{\text{сут сух max}}$ колеблются в промежутке от 1,2 до 1,6 (чаще всего $K_{\text{сут сух}} = 1,4$) и приходятся на март и апрель.

2. С мая по июнь происходит быстрый спад с $K_{\text{сут сух max}} = 1,4$ до $K_{\text{сут сух min}} = 0,8$. В конце мая $K_{\text{сут сух}}$ уже достигает значения 1.

3. Период $K_{\text{сут сух min}} = 0,8$ (диапазон от 0,6 до 0,9) длится с июня по август.

4. В сентябре наблюдается постепенный рост, вплоть до ноября, и $K_{\text{сут сух}}$ уже принимает значения от 0,7 до 1,1 и, в среднем, равен 0,9.

5. Величина $K_{\text{сут сух}}$ с декабря по март зависит от количества случайных оттепелей до наступления периода снеготаяния. Если весь период держалась отрицательная температура, то $K_{\text{сут сух}}$ находится в диапазоне от 0,7 до 0,9 (чаще всего 0,8). В противном случае $K_{\text{сут сух}}$ может достигать значений 0,95–1,3.

Математическое описание кривой колебаний расходов сточных вод в сухой период года (рис. 5) возможно осуществить при помощи зависимости:

$$K_{\text{сут сух}} = 1 + A \cdot \sin(k_1 t_1),$$

где A — коэффициент корреляционной связи, среднее арифметическое между максимальным и минимальным отклонением $K_{\text{сут сух}}$ от среднего значения ($K_{\text{сут сух}} = 1$); k_1 — степень аритмии синусоиды; t_1 — время действия составляющей $A \cdot \sin(k_1 t_1)$, условных радиан (365 дней или 6,28 рад).

В табл. 1 представлены значения параметров для каждого сухого дня наблюдений. Общая кривая — график усредненных суточных значений по трем объектам.

С учетом обработки данных наблюдений, значения $K_{\text{сут сух}}$ для малых населенных пунктов с числом жителей до 1000 чел. можно определять по

Рис. 4. Суточные коэффициенты неравномерности в сухую погоду. Все объекты

Fig. 4. Daily coefficients of unevenness in dry weather. All objects

Табл. 1. Значения параметров для каждого сухого дня наблюдений. Общая кривая — график усредненных суточных значений по трем объектам**Table 1.** Parameter values for each dry day of observation. General curve — a graph of averaged daily values for 3 objects

Дата / Date	Общая кривая / General curve	Значения величин по зависимости $K_{\text{сут}} = 1 + A \cdot \sin(k_1 t_1) /$ $K_{\text{daily}} = 1 + A \cdot \sin(k_1 t_1)$		
		$A \cdot \sin(k_1 t_1)$	$k_1 t_1$	$K_{\text{сут}} / K_{\text{daily}}$
15.12.16	0,99	0,027	0,074	1,027
17.12.16	0,99	0,033	0,090	1,033
22.12.16	1,00	0,047	0,130	1,047
27.12.16	1,01	0,061	0,167	1,061
01.01.17	1,03	0,075	0,207	1,075
06.01.17	1,04	0,089	0,246	1,089
11.01.17	1,05	0,104	0,290	1,104
16.01.17	1,07	0,120	0,336	1,120
21.01.17	1,08	0,135	0,378	1,135
26.01.17	1,10	0,149	0,420	1,149
31.01.17	1,11	0,165	0,468	1,165
05.02.17	1,13	0,180	0,515	1,180
10.02.17	1,15	0,195	0,564	1,195
15.02.17	1,17	0,210	0,612	1,210
20.02.17	1,19	0,225	0,664	1,225
25.02.17	1,22	0,240	0,718	1,240
02.03.17	1,24	0,255	0,774	1,255
07.03.17	1,27	0,270	0,833	1,270
12.03.17	1,29	0,286	0,900	1,286
17.03.17	1,31	0,300	0,965	1,300
22.03.17	1,33	0,317	1,050	1,317
27.03.17	1,35	0,332	1,140	1,332
01.04.17	1,37	0,345	1,240	1,345
06.04.17	1,38	0,355	1,340	1,355
11.04.17	1,39	0,361	1,430	1,361
16.04.17	1,39	0,365	1,571	1,365
21.04.17	1,39	0,365	1,571	1,365
26.04.17	1,38	0,358	1,370	1,358
01.05.17	1,35	0,336	1,170	1,336
06.05.17	1,30	0,300	0,964	1,300
11.05.17	1,23	0,230	0,680	1,230
16.05.17	1,16	0,160	0,454	1,160
21.05.17	1,09	0,090	0,250	1,090
26.05.17	1,01	0,010	0,028	1,010
31.05.17	0,95	-0,058	3,300	0,942
05.06.17	0,90	-0,119	3,475	0,881
10.06.17	0,86	-0,174	3,640	0,826
15.06.17	0,83	-0,216	3,774	0,784
20.06.17	0,80	-0,251	3,900	0,749
25.06.17	0,77	-0,283	4,030	0,717
30.06.17	0,74	-0,307	4,140	0,693
05.07.17	0,72	-0,330	4,270	0,670
10.07.17	0,69	-0,346	4,390	0,654
15.07.17	0,67	-0,357	4,500	0,643
20.07.17	0,66	-0,365	4,712	0,635

Продолжение табл. 1

Дата / Date	Общая кривая / General curve	Значения величин по зависимости $K_{\text{сут}} = 1 + A \cdot \sin(k_1 t_1) /$ $K_{\text{daily}} = 1 + A \cdot \sin(k_1 t_1)$		
		$A \cdot \sin(k_1 t_1)$	$k_1 t_1$	$K_{\text{сут}} / K_{\text{daily}}$
25.07.17	0,66	–0,364	4,640	0,636
30.07.17	0,66	–0,357	4,500	0,643
04.08.17	0,66	–0,345	4,384	0,655
09.08.17	0,67	–0,331	4,280	0,669
14.08.17	0,68	–0,317	4,195	0,683
19.08.17	0,69	–0,303	4,120	0,697
24.08.17	0,71	–0,289	4,055	0,711
29.08.17	0,72	–0,275	3,995	0,725
03.09.17	0,73	–0,261	3,940	0,739
08.09.17	0,75	–0,247	3,885	0,753
13.09.17	0,76	–0,233	3,835	0,767
18.09.17	0,78	–0,219	3,785	0,781
23.09.17	0,79	–0,205	3,738	0,795
28.09.17	0,81	–0,191	3,692	0,809
03.10.17	0,82	–0,177	3,647	0,823
08.10.17	0,83	–0,163	3,603	0,837
13.10.17	0,85	–0,149	3,563	0,851
18.10.17	0,86	–0,135	3,520	0,865
23.10.17	0,88	–0,121	3,480	0,879
28.10.17	0,89	–0,107	3,440	0,893
02.11.17	0,90	–0,093	3,400	0,907
07.11.17	0,92	–0,079	3,360	0,921
12.11.17	0,93	–0,065	3,320	0,935
17.11.17	0,94	–0,051	3,282	0,949
22.11.17	0,95	–0,037	3,244	0,963
27.11.17	0,96	–0,023	3,206	0,977
02.12.17	0,97	–0,009	3,166	0,991
07.12.17	0,98	0,005	3,128	1,005
12.12.17	0,98	0,019	3,090	1,019
14.12.17	0,99	0,026	0,072	1,026

Табл. 2. Значения коэффициентов $k_1 t_1$ Table 2. Coefficient values $k_1 t_1$

Месяцы года / Months of year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Значение $k_1 t_1$ / Value $k_1 t_1$	0,335	0,615	0,944	1,420	0,978	3,827	4,502	4,172	3,813	3,542	3,302	1,240

следующей обобщенной зависимости, принимая значения коэффициентов $k_1 t_1$ по табл. 2:

$$K_{\text{сут сух}} = 1 + 0,365 \cdot \sin(k_1 t_1).$$

При изучении характера колебаний в сухую погоду нами был выявлен еще один тип колебания расходов сточных вод — колебания расходов по дням недели. Представленные на рис. 6 результаты получены для малых населенных пунктов, т.е. по объектам 1 и 2 (производство, ввиду отличия количества рабочих в будние и выходные дни, не рассматривалось).

При определении суточных недельных коэффициентов неравномерности, из-за выраженной сезонной неравномерности, необходимо, по мнению авторов, рассматривать значения сухих дней только летних месяцев (чтобы свести к минимуму влияние на результат инфильтрационных вод) и для каждого месяца необходимо найти среднее значение по дням недели, а потом уже построить по ним кривые и найти усредненную общую кривую.

По проведенным наблюдениям возможно рекомендовать следующие значения коэффициентов

Рис. 5. Математическое описание распределения $K_{\text{сух}} / K_{\text{daily dry}}$. Все объектыFig. 5. The mathematical description of distribution of $K_{\text{daily dry}}$. All objects

Рис. 6. Недельные коэффициенты неравномерности поступления сточных вод в сухую погоду. Объект 1 и 2

Fig. 6. Week coefficients of unevenness of intake of sewage in dry weather. Object 1 and 2

Табл. 3. Значения коэффициентов недельной неравномерности для населенных пунктов с численностью жителей 1000 чел. при сухой погоде**Table 3.** The values of the coefficients of the weekly unevenness for settlements with a population of 1000 people at during dry weather

$K_{\text{нед сух}} / K_{\text{week dry}}$						
Пн / Mon	Вт / Tue	Ср / Wed	Чт / Thu	Пт / Fri	Сб / Sat	Вс / Sun
1,01	0,97	0,95	0,95	0,97	1,09	1,06

недельной неравномерности для населенных пунктов с численностью жителей 1000 чел. при сухой погоде (табл. 3).

ВЫВОДЫ

Результаты, полученные в ходе обработки данных по расходам городских сточных вод на трех объектах, позволяют спрогнозировать величину коэффициента суточной неравномерности в течение года в сухую погоду для небольших поселений с числом жителей 1000 чел. Подобные колебания играют немаловажную роль при проектировании и эксплуатации сооружений по очистке городских сточных вод. С учетом обработки данных наблюдений, значения $K_{\text{сут сух}}$ для малых населенных пунктов с числом жителей до 1000 чел., можно определять по следующей обобщенной зависимости, принимая значения коэффициентов $(k_1 t_1)$ по табл. 2:

$$K_{\text{сут сух}} = 1 + 0,365 \cdot \sin(k_1 t_1).$$

Кроме сезонной, суточной и внутрисуточной неравномерностей, выявлена недельная неравномерность, которая также оказывает влияние на величину общего коэффициента неравномерности, значения коэффициентов возможно принимать по табл. 3.

Разработанная методика для определения расходов сточных вод в сухой период года базируется на трех основных моментах:

1. Необходима выборка из значений минимум за 1 год (лучший вариант — за 3–5 лет).
2. Для определения среднего сухого значения расхода сточных вод необходимо отсеять неподходящие данные, как было показано выше.
3. Для того чтобы найти предполагаемый расход в интересующий период, необходимо средний сухой расход умножить на коэффициент неравномерности соответствующего периода, который возможно вычислить по представленной выше зависимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пупырев Е.И. Особенности водного менеджмента в России // Коммунальный комплекс России. 2016. № 11. С. 24–29.
2. Резолюция семинара «Инновации и тенденции развития в очистке малых объемов сточных вод в России», 17 марта 2017 г. М. : МГСУ.
3. Янин В.С., Бондарева О.А. Возможности улучшения качества водоотведения в малых городах и поселках на примере районного поселения Мокшан. Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. № 6–2. С. 316–322.
4. Рублевская О.Н., Леонов Л.В., Мишуков Б.Г., Васильева Е.Е., Соловьева Е.А. Оценка расхода и состава сточных вод в СПб // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 9. С. 60–64.
5. Соловьева Е.А., Мишуков Б.Г. Методика определения расчетных показателей расхода и состава сточных вод // Известия ПУПС. 2015. № 3. С. 194–200.
6. Едунов Е.В. Влияние неравномерности поступления сточных вод на эффективность их очистки // Синергия наук. 2018. № 21. С. 533–540.
7. Жмур Н.С. Анализ причин неэффективности работы малых сооружений биологической очистки // Водоснабжение и канализация. 2011. № 6. С. 16–35.
8. Гузынин А.И. Сравнительный анализ моделей водопотребления населенных пунктов // Коммунальное хозяйство городов. 2011. № 97. С. 117–126.
9. Московский государственный строительный университет совместно с Bauhaus Universität Weimar. Заочные курсы «Вода и окружающая среда» — Курс ВВ 52. Сточные воды II — Очистка сточных вод. Весенний семестр 2000/2001 Гл. 6. Малые очистные сооружения. М., 2001. 59 с.
10. Лондонг Й. Очистка сточных вод. Программа повышения квалификации в области водного хозяйства и охраны окружающей среды. СПб. : Новый журнал, 2013. 483 с.
11. Василенко А.И. Малые очистные канализационные сооружения. Киев : Изд-во «Будівельник». 1970. 222 с.
12. Ким А.Н., Графова Е.О. Современные методы очистки воды локальных объектов. СПб. : СПбГАСУ, 2016. 270 с.

13. Данилович Д.А., Эпов А.Н., Канунникова М.А. Анализ данных работы очистных сооружений российских городов — основа для технологического нормирования // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2015. № 3–4. С. 18–28. URL: http://treatmentwater.ru/data/documents/NDT__4_16_Dnlvch_2-Itog.pdf
14. Игнатчик В.С., Седых Н.А., Гринев А.П. Экспериментальное исследование неравномерности притока сточных вод // Военный инженер. 2017. № 4. С. 22–28.
15. Иваненко И.И. Режим поступления и очистка городских сточных вод от азота и фосфора : дисс. ... канд. техн. наук. СПб., 1998. 206 с.
16. Almeida M.C., Butlera D., Friedler E. At-source domestic wastewater quality // Urban Water. 1999. Vol. 1. Issue 1. Pp. 49–55. DOI: 10.1016/s1462-0758(99)00008-4
17. Чупин Р.В., Майзель И.В., Душин А.С., Чупин В.Р. Нормирование расчетных удельных значений потребления воды и сброса стоков // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 4 (15). С. 171–191.
18. Butler D. The influence of dwelling occupancy and day of the week on domestic appliance wastewater discharges // Building and Environment. 1993. Vol. 28. Issue 1. Pp. 73–79. DOI: 10.1016/0360-1323(93)90008-q
19. Šálek J., Křiška M., Rozkošný M. Voda v domě a na chatě (Water in house and cottage). Praha : Grada Publishing, 2012. 144 p.
20. Wojciech Cieżak, Jan Cieżak. Variability of water intake in settlement units adjacent to Wrocław // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 59. P. 00019. DOI: 10.1051/e3sconf/20185900019
21. Lijó L., Malamis S., González-García S., Moreira M.T., Fatone F., Katsou E. Decentralised schemes for integrated management of wastewater and domestic organic waste: the case of a small community // Journal of Environmental Management. 2017. Vol. 203. Pp. 732–740. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.11.053
22. Atinkpahoun C.N.H., Nang Dinh Le, Pontvianne S., Poirot H., Leclerc J.-P., Pons M.N., Soclo H.H. Population mobility and urban wastewater dynamics // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 622–623. Pp. 1431–1437. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.087
23. Bercoff A. Investigation of the treatment process at Kungsberget's wastewater treatment plant under periods of irregular and low loads // Sweco Environment AB. 2013. P. 51.
24. Morris C.D., Eisenbath K. Modeling infiltration / Inflow using a disaggregated stochastic process // Global Solutions for Urban Drainage. 2012. DOI: 10.1061/40644(2002)126
25. Tomperi J., Juuso E., Kuokkanen A., Leiviskä K. Monitoring a municipal wastewater treatment process using a trend analysis // Environmental Technology. 2017. Vol. 39. Issue 24. Pp. 3193–3202. DOI: 10.1080/09593330.2017.1375026
26. Chow C.W.K., Jixue Liu, Jiuyong Li, Swain N., Reid K., Saint C.P. Development of smart data analytics tools to support wastewater treatment plant operation // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2018. Vol. 177. Pp. 140–150. DOI: 10.1016/j.chemolab.2018.03.006
27. Ewa Ogiolda, Ireneusz Nowogóski. The irregularity of water consumption in settlements with varying numbers of inhabitants // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 45. P. 00059. DOI: 10.1051/e3sconf/20184500059
28. Borzooei S., Amerlinck Y., Abolfathi S., Panepinto D., Nopens I., Lorenzi E. et al. Data scarcity in modelling and simulation of a large-scale WWTP: Stop sign or a challenge // Journal of Water Process Engineering. 2019. Vol. 28. Pp. 10–20. DOI: 10.1016/j.jwpe.2018.12.010

Поступила в редакцию 10 октября 2018 г.

Принята в доработанном виде 21 декабря 2018 г.

Одобрена для публикации 29 января 2019 г.

ОБ АВТОРАХ: Иваненко Ирина Ивановна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры водопользования и экологии, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, i5657@mail.ru;

Сеничева Ксения Сергеевна — магистрант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, vesvorges@list.ru.

REFERENCES

1. Pupyrev E.I. Features of water management in Russia. *Utilities of Russia*. 2016; 11:24-29. (rus.).
2. *The resolution of a seminar "Innovations and trends of development in cleaning of small volumes of sewage in Russia"*. Moscow, 17 March 2017. (rus.).
3. Yanin V.S., Bondareva O.A. The possibility of improvement water discharge services in small towns and villages the example of district village Mokshan. *Education and science in the modern world. Innovation*. 2016; 6-2:316-322. (rus.).
4. Rublevskaya O.N., Leonov L.V., Mishukov B.G., Vasil'eva E.E., Solov'eva E.A. Estimation of discharge and composition of wastewater in St. Petersburg. *Water Supply and Sanitary*. 2013; 9:60-64. (rus.).
5. Solov'eva E.A., Mishukov B.G. A method for estimation of calculated rates of wastewater flow and composition. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2015; 3:194-200. (rus.).
6. Edunov E.V. The effect of uneven sewage intake on the efficiency of their treatment. *Synergy of Science*. 2018; 21:533-540. (rus.).
7. Zhmur N.S. Analysis of the reasons of inefficient work of small treatment facilities of biological cleaning. *Water supply and sewerage*. 2011; 6:16-35. (rus.).
8. Guzynin A.I. Comparative analysis of water consumption patterns of human settlements. *Utilities cities*. 2011; 97:117-126. (rus.).
9. MGSU together with Bauhaus Universität Weimar. Correspondence courses "Water and environment". Course BB 52. Sewage II — Sewage treatment. Spring semester 2000/2001 Chapter 6. Small treatment facilities. Moscow, 2001; 59. (rus.).
10. Londong J. Sewage treatment. Advanced training in water management and environmental protection. *St. Petersburg New Journal*. 2013; 483. (rus.).
11. Vasilenko A.I. *Small treatment sewer facilities*. Kiev, 1970; 222. (rus.).
12. Grafova E.O. *Modern methods of water purification of local objects*. St. Petersburg, SPbGASU, 2016; 272. (rus.).
13. Danilovich D.A., Epov A.N., Kanunnikova M.A. Analysis of operation data of the municipal wastewater treatment facilities of the Russian cities — the basis of the technologic regulation. *Best Available Water and Wastewater Technologies*. 2015; 3-4:18-28. (rus.).
14. Ignatchik V.S., Sedih N.A., Grinev A.P. Experimental study of imperfect periodicity of sewage water. *Military Engineer*. 2017; 4(6):22-28. (rus.).
15. Ivanenko I.I. *Mode of receipt and purification of city sewage of nitrogen and phosphorus: thesis of candidate of technical sciences*. St. Petersburg, 1998; 206. (rus.).
16. Almeida M.C., Butlera D., Friedler E. At-source domestic wastewater quality. *Urban Water*. 1999; 1(1):49-55. DOI: 10.1016/s1462-0758(99)00008-4
17. Chupin R.V., Maizel I.V., Dushin A.S., Chupin V.R. Calculation rating of specific values of water consumption and effluent discharge. *News of universities. Investments. Building. The property*. 2015; 4(15):171-189. (rus.).
18. Butler D. The influence of dwelling occupancy and day of the week on domestic appliance wastewater discharges. *Building and Environment*. 1993; 28(1):73-79. DOI: 10.1016/0360-1323(93)90008-q
19. Šálek J., Křiška M., Rozkošný M. *Voda v domě a na chatě (Water in house and cottage)*. Praha, Grada Publishing, 2012; 144.
20. Wojciech Cieżak, Jan Cieżak. Variability of water intake in settlement units adjacent to Wrocław. *E3S Web of Conferences*. 2018; 59:00019. DOI: 10.1051/e3sconf/20185900019
21. Lijó L., Malamis S., González-García S., Moreira M.T., Fatone F., Katsou E. Decentralised schemes for integrated management of wastewater and domestic organic waste: the case of a small community. *Journal of Environmental Management*. 2017; 203:732-740. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.11.053
22. Atinkpahoun C.N.H., Nang Dinh Le, Pontviann S., Poirot H., Leclerc J.-P., Pons M.-N., Soclo H.H. Population mobility and urban wastewater dynamics. *Science of the Total Environment*. 2018; 622-623:1431-1437. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.087
23. Bercoff A. Investigation of the treatment process at Kungsberget's wastewater treatment plant under periods of irregular and low loads. *Sweco Environment AB*. 2013; 51.
24. Morris C.D., Eisenbath K. Modeling infiltration / Inflow using a disaggregated stochastic process. *Global Solutions for Urban Drainage*. 2012. DOI: 10.1061/40644(2002)126
25. Tomperi J., Juuso E., Kuokkanen A., Leiviskä K. Monitoring a municipal wastewater treatment process using a trend analysis. *Environmental Technology*. 2017; 39(24):3193-3202. DOI: 10.1080/09593330.2017.1375026
26. Chow C.W.K., Jixue Liu, Jiuyong Li, Swain N., Reid K., Saint C.P. Development of smart data analytics tools to support wastewater treatment plant operation. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2018; 177:140-150. DOI: 10.1016/j.chemolab.2018.03.006
27. Ewa Ogiolda, Ireneusz Nowogoński. The irregularity of water consumption in settlements with varying numbers of inhabitants. *E3S Web of Conferences*. 2018; 45:00059. DOI: 10.1051/e3sconf/20184500059
28. Borzooei S., Amerlinck Y., Abolfathi S., Panepinto D., Nopens I., Lorenzi E. et al. Data scarcity in modelling and simulation of a large-scale WWTP: Stop sign or a challenge. *Journal of Water Process Engineering*. 2019; 28:10-20. DOI: 10.1016/j.jwpe.2018.12.010

Received October 10, 2018

Adopted in a modified form on December 21, 2018

Approved for publication January 29, 2019

ABOUT THE AUTHORS: **Irina I. Ivanenko** — Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Associated Professor of the chair Water use and Ecology, **Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**, 4 2-ya Krasnoarmeyskaya st., Saint-Petersburg, 190005, Russian Federation, i5657@mail.ru;

Kseniya S. Senicheva — magistant, **Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**, 4 2-ya Krasnoarmeyskaya st., Saint-Petersburg, 190005, Russian Federation, vesvorges@list.ru.