

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РАСХОДОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Кармазинов Ф. В., Игнатчик С. Ю., Кузнецова Н. В., Кузнецов П. Н., Феськова А. Я.

## METHODS FOR CALCULATING THE SURFACE RUN-OFF

Karmazinov F. V., Ignatchik S. Yu., Kuznecova N. V., Kuznecov P. N., Fes'kova A. Ya.

### Аннотация

**Введение:** требования по очистке и отведению поверхностного стока в последнее время ужесточаются. По этой причине, например, стали типовыми ситуации, связанные с отказами территориальных управлений Государственной экспертизы и Росрыболовства в согласовании осуществления деятельности по проектируемым объектам капитального строительства на основании статьи 60 Водного кодекса РФ, запрещающей осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке и обезвреживанию. В этих условиях очень важной является информация о фактических расходах, образующихся в результате выпадения дождей, отличных от расчетных. В первую очередь сверхрасчетных дождей, расходы стока от которых невозможно измерить в связи с переходом сетей в напорный режим и подтоплением расходомеров. **Цель исследования:** совершенствование методов расчета расходов поверхностного стока, направленных на повышение достоверности их оценки и обоснования резервов в таких системах для сокращения затрат на стадии строительства и эксплуатации. **Результаты:** Для обоснования методов расчета расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения проведены экспериментальные исследования на одном из бассейнов водоотведения Санкт-Петербурга общей площадью 96,97 га, максимальным уклоном поверхности — 0,006 и средневзвешенным коэффициентом стока  $\psi_{cp} = 0,46$ . В результате экспериментально установлено, что применение упрощенного гидравлического моделирования с учетом только уличных сетей (без включения дворовых) приводит к завышению расчетных расходов до 20 %. При этом экспериментально обоснован экспресс-метод оценки расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения, допускающий применение гидравлического моделирования с учетом только уличных сетей, на которых смоделированы виртуальные емкости по объему, равные объему дворовых сетей, подключенных к ним. Экспериментально подтверждена возможность применения нормативных методик для определения на стадии эксплуатации максимального расхода сточных вод в зависимости от фактической  $q_{20ф}$  интенсивности дождя. Для повышения достоверности расчетов обязательным условием является применение коэффициента  $\beta$  не в виде константы, а определение его в зависимости от фактической  $q_{20ф}$ -интенсивности дождя по формуле  $\beta = 1,2915 \cdot q_{20ф}^{-0,055}$ . **Заключение:** применение разработанных методов позволяет: на стадии проектирования обосновать решения, позволяющие уменьшить на 12 % расчетную производительность дождевых и общесплавных систем водоотведения; снизить трудозатраты и продолжительность подготовки исходных данных для гидравлического моделирования водоотводящих сетей и коллекторов.

**Ключевые слова:** системы водоотведения, канализационные насосные станции (КНС), сточные воды, поверхностный сток, расходомеры, поверхность водосбора.

### Abstract

**Introduction:** the requirements for treatment and discharge of surface run-off have been tightened lately. For this reason, refusals of State Expertise and Federal Agency for Fisheries (Rosrybolovstvo) territorial divisions to approve activities related to designed capital construction projects based on Article 60 of the Water Code of the Russian Federation, prohibiting the discharge of waste waters that have not undergone sanitary purification and neutralization into bodies of water, have become common. Under these circumstances, information on the actual rate of run-off resulting from rainfall, differing from the estimated run-off rate, becomes important. Such run-off primarily results from overestimated rainfall when it is impossible to measure the run-off rate due to drainage systems operating in the forced flow mode and flooding of flow rate meters. The purpose of the study is to improve methods for calculating the surface run-off rate, aimed to increase estimate reliability and justification of reserves in such systems to cut costs at construction and operation stages. **Purpose of the study:** to justify methods for calculating the run-off rate in combined water discharge systems, experimental studies were conducted in one of the Saint Petersburg water discharge basins with a total area of 96.97 ha, a maximum surface slope of 0.006, and weighted average run-off coefficient  $\psi_{av} = 0.46$ . **Results:** it has been established that the use of simplified hydraulic simulation with account for street drainage systems only (without household ones) leads to an overestimation of the estimated run-off rate by up to 20 %. An express method for estimating the run-off rate in combined water discharge systems was experimentally justified. The method allows using hydraulic simulation taking into account street drainage systems only, being a basis for the simulation of virtual reservoirs, volumes of which are equal to the volume of household drainage systems connected to such reservoirs. The possibility of using standard methods for determining the maximum run-off rate at the operation stage depending on the actual  $q_{20a}$  rainfall intensity was experimentally confirmed. To increase calculations reliability, it is mandatory not to use coefficient  $\beta$  as a constant but calculate it depending on actual  $q_{20a}$  rainfall intensity according to the following equation:  $\beta = 1,2915 \cdot q_{20a}^{-0,055}$ . **Conclusion:** the use of the methods developed makes it possible: to justify design stage solutions reducing the estimated performance of rainwater and combined water discharge systems by 12 %; to reduce the labor input and duration of initial data preparation for hydraulic simulation of water discharge systems and water collectors.

**Keywords:** water discharge systems, sewage pumping stations (SPS), waste waters, surface run-off, flow rate meters, drainage area.

## Введение

Анализ поправок, вносимых в основные отраслевые законодательные документы [1–3], показывает, что требования по очистке и отведению поверхностного стока в последнее время ужесточаются. По этой причине, например, стали обычными ситуации, связанные с отказами территориальных управлений Государственной экспертизы и Росрыболовства в согласовании осуществления деятельности по проектируемым объектам капитального строительства на основании статьи 60 Водного кодекса РФ, запрещающей осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке и обезвреживанию. В то же время, отраслевые нормативные документы [4–6] не в полной мере позволяют обосновать экономически эффективные проектные решения, позволяющие создавать транспортные и очистные сооружения поверхностного стока, удовлетворяющие современным законодательным требованиям. Поэтому появилась необходимость совершенствования методов расчета расходов поверхностного стока, направленных на повышение достоверности их оценки и обоснования резервов в таких системах, позволяющих сократить затраты на стадии строительства и эксплуатации.

Настоящая работа ограничена совершенствованием двух методов расчета:

- с применением гидравлического моделирования на стадии проектирования и эксплуатации;
- с применением нормативных методик [4–6] для определения расчетных расходов только на стадии проектирования.

Актуальность научной задачи совершенствования первого метода заключается в том, что с одной стороны, как показывает практика, для оценки расходов [7–11] поверхностного стока в коллекторах большой протяженности (например, Правобережный коллектор Санкт-Петербурга длиной более 9 км) применение нормативных методик [4–6] приводит к существенным погрешностям, поскольку на разных участках таких коллекторов интенсивность дождя может существенно отличаться. Поэтому единственным методом определения расхода в таких случаях является гидравлическое моделирование. Однако для больших площадей водосбора его применение на практике связано с существенными трудностями,

так как в эксплуатируемых организациях, как правило, достоверными являются только планы сетей, а данные в экспликации колодцев, по которым строятся профили, во многих случаях не совпадают с реальными. Поэтому созданию гидравлической модели эксплуатируемых сетей и коллекторов водоотведения предшествует этап геодезической съемки, уточняющий отметки колодцев и примыкающих к ним трубопроводов. Это существенно усложняет и увеличивает продолжительность выполнения решаемой задачи. По указанным причинам актуальным является создание экспресс-метода гидравлического моделирования транспортных сооружений систем водоотведения, позволяющего сократить объемы вводимой информации без снижения точности результатов гидравлического моделирования.

Актуальность научной задачи совершенствования второго метода расчета (с применением нормативных методик [4–6]) заключается в том, что в соответствии с действующими нормами [4] расход  $Q_{cal}$  дождевых вод для гидравлического расчёта дождевых сетей определяется по формуле

$$Q_{cal} = \beta \cdot Q_p, \text{ л/с,}$$

где  $\beta$  — коэффициент, учитывающий заполнение свободной ёмкости сети в момент возникновения напорного режима;  $Q_p$  — расходы дождевых вод в коллекторах дождевой канализации, отводящих сточные воды с селитебных территорий и площадок предприятий, л/с. Физический смысл понижающего коэффициента  $\beta$  заключается в том, что он учитывает, насколько уменьшается фактический расход при возникновении напорных режимов за счет наполнения свободной емкости сетей и коллекторов при принятых расчетных значениях интенсивности дождя  $q_{20}$  для данной местности продолжительностью 20 мин при периоде  $P$  однократного превышения расчётной интенсивности дождя  $P=1$  год и заданного в техническом задании значения этого периода.

Этот метод расчета имеет ограниченную область применения, поскольку его можно использовать только на стадии проектирования и только для расчетной интенсивности дождя. Для решения обратной задачи расчета, когда в эксплуатируемом бассейне водоотведения с фиксированными диаметрами участков труб требуется определить значение коэффициента  $\beta$  при фактическом дожде, отличном от расчетного,

его применение не представляется возможным. Кроме того, многолетними наблюдениями установлено [7–9], что происходит изменение климата, а следовательно, в ближайшем будущем потребуются вести расчеты при других значениях интенсивностей дождей  $q_{20}$ . При этом потребуются уточнять значения коэффициентов  $\beta$ . По этой причине актуальным является проведение экспериментальных исследований с целью определения зависимости этого коэффициента от интенсивности дождей  $q_{20}$ . Особую важность решения указанной обратной задачи расчета придает тот факт, что при сверхрасчетных дождях, когда сети водоотведения переходят в напорный режим, не только не представляется возможным рассчитать фактический максимальный расход, но и невозможно его измерить, поскольку при этом происходит подтопление расходомеров.

#### Методы и материалы

В качестве базы для проведения экспериментальных исследований принят локальный бассейн водоотведения, расположенный в Невском районе Санкт-Петербурга, ограниченный улицами Профессора Качалова, Седова, Бехтерева, Хрустальной, Книпович и набережной Обуховской Обороны общей площадью 96,97 га (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид земельного участка экспериментального бассейна водоотведения

Максимальный уклон поверхности — 0,006. Характеристики площадей водосбора приведены в табл. 1. Средневзвешенный коэффициент стока

$$\psi_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^8 \psi_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^8 F_i} = 44,8029/96,9722 = 0,46.$$

Для повышения достоверности результатов экспериментальных исследований план и профили сетей этого бассейна водоотведения уточнены путем проведения топографических и геодезических работ (рис. 2). С применением программного комплекса Mike Urban разработаны две гидравлические модели:

- гидравлическая модель [2–16], включающая в себя только уличные сети;

Таблица 1

#### Характеристика площадей водосбора

№ п/п	Тип поверхности	Площадь $F_i$ , га	Коэффициент стока $\psi_i$	$F_i \times \psi_i$
1	Водные объекты	0,0275	0	0
2	Зоны озеленения	18,21	0,1	1,821
3	Несплошные покрытия (брусчатые и булыжные мостовые)	47,75	0,5	23,875
4	Сплошные покрытия	26,63	0,7	18,641
5	Кровли	0,0435	0,7	0,03045
6	Без покрытия	0,0435	0,2	0,0087
7	Кустарники	4,268	0,1	0,4268
8	Сумма	96,9725		44,8029



Рис. 2. Схема дворовых сетей и уличных коллекторов экспериментального бассейна водоотведения



Рис. 3. Схема уличных коллекторов экспериментального бассейна водоотведения

- гидравлическая модель, включающая в себя только уличные сети, на которых смоделированы виртуальные емкости, по объему равные объему дворовых сетей, подключенных к ним (рис. 4).

При разработке расчетной схемы экспериментального бассейна водоотведения определено место установки расходомера в безнапорном

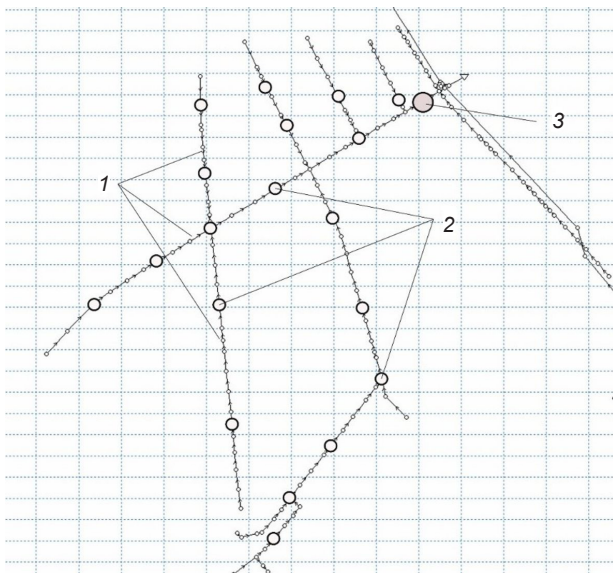


Рис. 4. Расчетная схема экспериментального бассейна водоотведения: 1 — уличные коллекторы; 2 — виртуальные емкости; 3 — место установки расходомера

трубопроводе диаметром 1000 мм (рис. 4). В ходе эксперимента использован бесконтактный метод с установкой радарного расходомера «Flo-Dar», реализующего метод измерения «площадь-скорость» (рис. 5). Расходомер представлял собой измерительный комплекс, включающий в себя:

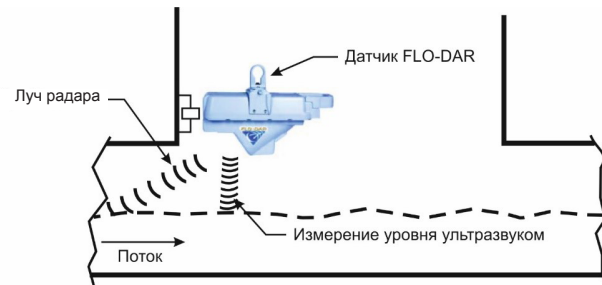


Рис. 5. Схема установки расходомера «Flo-Dar»

- датчик, измеряющий уровень наполнения воды в трубопроводе, на основании которого рассчитывалась площадь;
- измеритель скорости потока;
- контроллер, осуществляющий вычисление расхода и объема, измеряемого потока воды.

В результате при измерениях погрешность по скорости составляла  $\pm 0,5\%$ , а погрешность по уровню  $\pm 1\%$ .

Для измерения во времени интенсивности дождей применены дождемеры ГУП Водоканал Санкт-Петербурга.

При проведении исследований дополнительно учитывались:

- расходы бытовых сточных вод, поступающих в систему водоотведения экспериментального бассейна водоотведения. Определялись по узлам учета водопотребления у абонентов;
- расходы инфильтрационных вод, поступающих в систему водоотведения экспериментального бассейна водоотведения. Определялись по допустимым нормам, лимитирующим требования к результатам гидравлического испытания.

#### Результаты и обсуждение

Исследования проводились в период с 03.09.2017 г. по 17.09.2017 г. При этом зафиксировано шесть дождей. Для примера результаты исследований в период первого дождя представлены на рис. 6, а, второго дождя — на рис. 6, б, третьего дождя — на рис. 6, в.

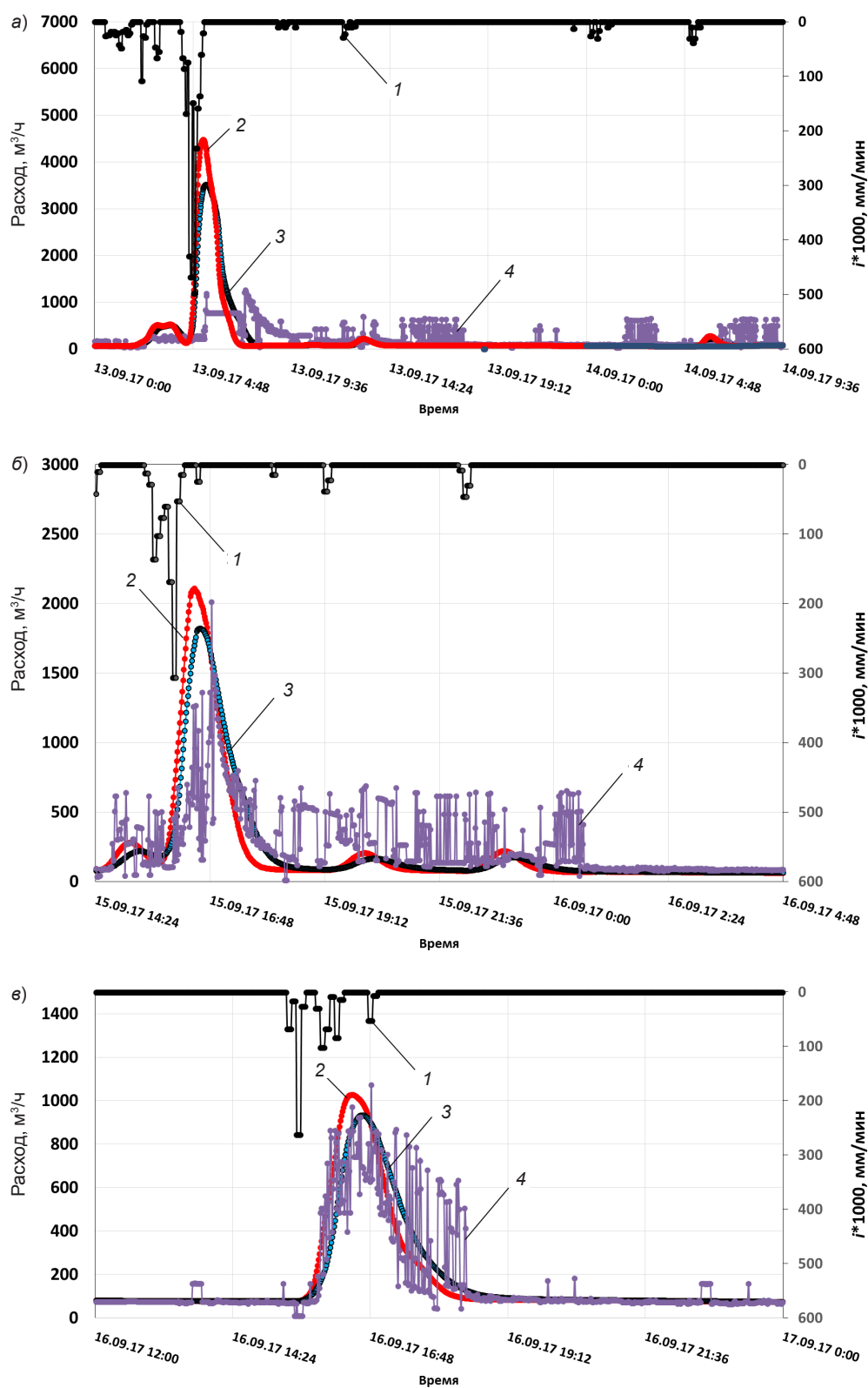


Рис. 6. Результаты сравнения расчетных по результатам гидравлического моделирования и экспериментальных значений расходов дождевого стока в период первого (а), второго (б) и третьего дождя (в): 1 — интенсивность дождя; 2 — расчет по гидравлической модели уличных сетей без учета емкостей дворовой сети; 3 — то же, с учетом виртуальных емкостей, равных объему дворовой сети; 4 — измеренное значение расхода поверхностного стока

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Расходомеры, реализующие метод измерения «площадь–скорость», имеют ограниченную область применения, поскольку при переходе сетей водоотведения в напорный режим они перестают работать и восстанавливают работу только при выходе из этого режима (рис. 6, а).

2. Применением гидравлического моделирования с учетом только уличных сетей приводит к завышению расчетных расходов в пределах 12–20 %.

3. Применение гидравлического моделирования с учетом только уличных сетей, на которых смоделированы виртуальные емкости по объему, равные объему дворовых сетей, подключенных к ним, приводит к погрешности расчетов в пределах 2–5%.

Дополнительно проведена оценка достоверности применения нормативных методик [4–6] для определения на стадии эксплуатации максимального расхода в зависимости от фактической  $q_{20ф}$  интенсивности дождя, которая для Санкт-Петербурга определялась из условия, что интенсивности дождя, замеренной по осадкомеру  $i = 7,2$  мм/20 мин соответствует расчетное значение  $q_{20}$ , равное 60 л/(с-га). При этом, в связи с невозможностью работы расходомеров в периоды выпадения сверхрасчетных дождей, расходы в эти периоды определялись по верифицированной на первом этапе гидравлической модели. Для этого, в дополнение к полученной экспериментальной информации, смоделировано выпадение трех сверхрасчетных дождей, зафиксированных осадкомерами 16.06.2016 г. В результате установлено, что при расчете фактических расходов с применения нормативных методик коэффициент  $\beta$  следует принимать не постоянной величиной, а определять в зависимости от фактической  $q_{20ф}$  интенсивности дождя по формуле  $\beta = 1,2915 \cdot q_{20ф}^{-0,055}$  (рис. 7).

#### Заключение

1. Для обоснования методов расчета расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения проведены экспериментальные исследования на одном из бассейнов водоотведения Санкт-Петербурга общей площадью 96,97 га, максимальным уклоном поверхности 0,006 и средневзвешенным коэффициентом стока  $\psi_{cp} = 0,46$ .

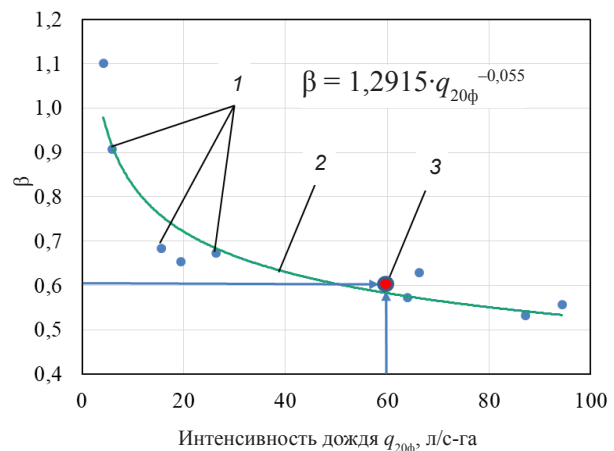


Рис. 7. Результаты оценки фактических значений коэффициента  $\beta$ : 1 — экспериментальное значение коэффициента  $\beta$ ; 2 — теоретическое значение коэффициента  $\beta$ ; 3 — нормативное значение коэффициента  $\beta$

2. Экспериментально установлено, что применение упрощенного гидравлического моделирования с учетом только уличных сетей (без включения дворовых) приводит к завышению расчетных расходов до 20 %.

3. Экспериментально обоснован экспресс-метод оценки расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения в зависимости от интенсивности дождей, допускающий применение гидравлического моделирования с учетом только уличных сетей, на которых смоделированы виртуальные емкости, по объему равные объему дворовых сетей, подключенных к ним. Погрешность метода составляет 2–5 %.

4. Экспериментально подтверждена возможность применения нормативных методик для определения на стадии эксплуатации максимального расхода сточных вод в зависимости от фактической  $q_{20ф}$  интенсивности дождя. Для повышения достоверности расчетов обязательным условием является применение коэффициента  $\beta$  не в виде константы, а определение его в зависимости от фактической  $q_{20ф}$  интенсивности дождя по формуле  $\beta = 1,2915 \cdot q_{20ф}^{-0,055}$ .

#### Литература

1. Федеральный закон РФ (2011). «О водоснабжении и водоотведении». № 416-ФЗ от 07.12.2011 г.
2. Федеральный закон РФ (2011). «Водный Кодекс Российской Федерации». № 416-ФЗ от 07.12.2011 г.

3. Федеральный закон РФ (2015). «Об охране окружающей среды». № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. (в редакции от 29.12.2015 г.).

4. Минрегион России (2012). СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Минрегион России, 85 с.

5. Госстрой СССР (1986). СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 84 с.

6. НИИ ВОДГЕО (2014). Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с сельских территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М.: ОАО «НИИ ВОДГЕО», 89 с.

7. Игнатчик, В. С., Ивановский, В. С., Игнатчик, С. Ю., Кузнецова, Н. В. (2015). Система диагностики расхода воды. № 2557349.

8. Кармазинов, Ф. В., Пробирский, М. Д., Игнатчик, В. С. (2016). Система диагностики притока воды. № 2596029.

9. Игнатчик, В. С., Ивановский, В. С., Игнатчик, С. Ю., Кузнецова, Н. В. (2016). Система оценки сбросов сточных вод в окружающую среду. № 2599331.

10. Кармазинов, Ф. В., Панкова, Г. А., Михайлов, Д. М., Курганов, Ю. А. (2017). Система для оценки и прогнозирования сбросов сточных вод. № 2606039.

11. Кармазинов, Ф. В., Панкова, Г. А., Михайлов, Д. М., Игнатчик, С. Ю. (2016). Методика оценки объемов аварийных сбросов сточных вод в окружающую среду. Водоснабжение и санитарная техника, № 6, сс. 49–54.

12. Кармазинов, Ф. В. (2000). Повышение эксплуатационной надежности, управляемости и эффективности системы водоотведения крупного города: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 87 с.

13. Игнатчик, С. Ю., Кузнецов, П. Н. (2017). Методы оценки и пути снижения сбросов сточных вод в окружающую среду. Часть 1. Методы оценки и пути снижения сбросов сточных вод при засорениях или авариях на участках водоотводящих сетей. Вода и экология: проблемы и решения, № 1, сс. 13–23.

14. Кармазинов, Ф. В., Панкова, Г. А., Михайлов, Д. М., Игнатчик, С. Ю. (2016). Методика оценки объемов аварийных сбросов сточных вод в окружающую среду. Водоснабжение и санитарная техника, № 6, сс. 49–54.

15. Игнатчик, В. С., Кузнецов, П. Н. (2016). Оптимизация систем водоснабжения и водоотведения. Вода и экология: проблемы и решения, № 4, сс. 26–35.

16. Игнатчик, С. Ю. (2010). Обеспечение надежности и энергосбережения при расчете сооружений для транспортирования сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника, № 8, сс. 56–62.

#### References

1. Federalnyj zakon RF [Federal law] (2011). «O vodosnabzhenii i vodootvedenii». № 416-FZ ot 07.12.2011 g. (in Russian).

2. Federalnyj zakon RF [Federal law] (2011). «Vodnyj Kodeks Rossijskoj Federacii». № 416-FZ ot 07.12.2011 g. (in Russian).

3. Federalnyj zakon RF [Federal law] (2015). «Ob ohrane okruzhayushchej sredy». № 7-FZ ot 10.01.2002 g. (v redakcii ot 29.12.2015 g.). (in Russian).

4. Minregion Rossii (2012). SP32.13330.2012. Kanalizaciya. Naruzhnye seti i sooruzheniya [Sewerage. External networks and facilities]. M.: Minregion Rossii, 85 p. (in Russian).

5. Gosstroj SSSR (1986). SNiP 2.04.03–85. Kanalizaciya. Naruzhnye seti i sooruzhe-niya [Sewerage. External networks and facilities]. M.: CИTP Gosstroya SSSR, 84 p. (in Russian).

6. НИИ ВОДГЕО (2014). Rekomendacii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverhnostnogo stoka s selitebnyh territorij, ploshchadok predpriyatij i opredeleniyu uslo-vij vypuska ego v vodnye ob'ekty [Recommendations on the calculation of systems for collecting, diversion and cleaning of surface runoff from residential areas, sites of enterprises and determining the conditions for its release into water bodies]. M.: ОАО «НИИ ВОДГЕО», 89 p. (in Russian).

7. Ignatchik, V. S., Ivanovskij, V. S., Ignatchik S. Yu., Kuznecova, N. V. (2015). Sistema diagnostiki raskhoda vody [Water flow diagnostic system]. № 2557349. (in Russian).

8. Karmazinov, F. V., Probirskij, M. D., Ignatchik, V. S. (2016). Sistema diagnostiki pritoka vody [The system of diagnostics of water inflow]. № 2596029. (in Russian).

9. Ignatchik, V. S., Ivanovskij, V. S., Ignatchik, S. Yu., Kuznecova, N. V. (2016). Sistema ocenki sbrosov stochnyh vod v okruzhayushchuyu sredu [The system for assessing wastewater discharges into the environment]. № 2599331. (in Russian).

10. Karmazinov, F. V., Pankova, G. A., Mihajlov, D. M., Kurganov, Yu. A. (2017). Sistema dlya ocenki i prognozirovaniya sbrosov stochnyh vod [The system for the assessment and prediction of wastewater discharges]. № 2606039. (in Russian).

11. Karmazinov, F. V., Pankova, G. A., Mihajlov, D. M., Ignatchik, S. Yu. (2016). Metodika ocenki ob'emov avarijnyh sbrosov stochnyh vod v okruzhayushchuyu sredu [Methodology for assessing the volume of emergency discharges of sewage into the environment]. Water Supply and Sanitary Technique, № 6, pp. 49–54. (in Russian).

12. Karmazinov, F. V. (2000). Povyshenie ehkspluatacionnoj nadezhnosti, upravlyaemosti i ehffektivnosti sistemy vodootvedeniya krupnogo goroda [Increase of operational reliability, controllability and efficiency of a water drainage system of a large city]: avtoreferat diss. d-r tekhn. nauk. Sankt-Peterburg, 87 p. (in Russian).

13. Ignatchik, S. Yu., Kuznecov, P. N. (2017). Metody ocenki i puti snizheniya sbrosov stochnyh vod v okruzhayushchuyu sredu. Chast' 1. Metody ocenki i puti snizheniya sbrosov stochnyh vod pri zasorenijah ili avarijah na uchastkah vodootvodyashchih setej [Estimating methods and ways of reducing waste water decrease in the environment. Part 1. Assessment methods and ways of reducing wastewater discharges when clogging or accidents at drainage network sites]. Water and Ecology, № 1, pp. 13–23. (in Russian).

14. Karmazinov, F. V., Pankova, G. A., Mihajlov, D. M., Ignatchik, S. Yu. (2016). Metodika ocenki ob'emov avarijnyh sbrosov stochnyh vod v okruzhayushchuyu sredu [Methodology for assessing the volume of emergency discharges of sewage into the environment]. Water Supply and Sanitary Technique, № 6, pp. 49–54. (in Russian).

15. Ignatchik, V. S., Kuznecov, P. N. (2016). Optimizaciya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Optimization of

water supply and sewerage systems]. *Water and Ecology*, № 4, pp. 26–35. (in Russian).

16. Ignatchik, S. Yu. (2010). Obespechenie nadyozhnosti i ehnergoberezheniya pri raschyote sooruzhenij dlya transportirovaniya stochnyh vod [Ensuring reliability and energy saving in the calculation of facilities for the transport of waste water]. *Water Supply and Sanitary Technique*, № 8, pp. 56–62. (in Russian).

**Авторы**

**Кармазинов Феликс Владимирович**, д-р техн. наук  
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»  
E-mail: office@vodokanal.spb.ru

**Игнатчик Светлана Юрьевна**, д-р техн. наук  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-  
строительный университет  
E-mail: Ignatchik\_CY@yandex.ru

**Кузнецова Наталья Викторовна**, канд. техн. наук  
АВиВ  
E-mail: natalyakuznetsova.aviv@yandex.ru

**Кузнецов Павел Николаевич**  
ОАО «58 Центральный Проектный Институт»  
E-mail: kuznecpn@gmail.com

**Феськова Алина Яновна**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-  
строительный университет  
E-mail: alinafeskova@gmail.com

**Authors**

**Karmazinov Felix Vladimirovich**, Dr. of Engineering  
SUE “Vodokanal of St. Petersburg”  
E-mail: office@vodokanal.spb.ru

**Ignatchik Svetlana Yurievna**, Dr. of Engineering  
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil  
Engineering  
E-mail: Ignatchik\_CY@yandex.ru

**Kuznetsova Natalya Victorovna**  
Ltd. AW&W  
E-mail: natalyakuznetsova.aviv@yandex.ru

**Kuznetsov Pavel Nikolaevich**  
58 Central Project Institute  
E-mail: kuznecpn@gmail.com

**Feskova Alina Yanovna**  
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil  
Engineering  
E-mail: alinafeskova@gmail.com