

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПОРНЫХ РЕЖИМОВ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Игнатчик С. Ю., Кузнецова Н. В., Феськова А. Я., Сеньюкович М. А.

RESULTS OF STUDYING FORCED-FLOW MODES OF SEWAGE COLLECTORS

Ignatchik S. Y., Kuznetsova N. V., Fes'kova A. Y., Senyukovich M. A.

Аннотация

Введение. Особенностью работы главного канализационного коллектора при отводе поверхностных сточных вод от разных бассейнов с неодинаковой нагруженностью является напорный режим, позволяющий за счет аккумулирующего объема выравнять расходы, подаваемые на очистные сооружения главной насосной станцией (ГНС). Основными параметрами, характеризующими работу таких коллекторов, являются: подача сточных вод ГНС; объем сточных вод, накопленный в главном коллекторе в результате ограничения их расхода максимальной подачей ГНС; расход сточных вод, поступающих в главный коллектор в виде суммы транзитных и попутных расходов. Без знания перечисленных параметров невозможно управление процессами отведения и очистки сточных вод. По этим причинам исследование зависимости между этими параметрами является актуальным. **Методы.** Исследования проводились в два этапа: 1) исследование объемно-уровневых характеристик главного канализационного коллектора; 2) исследование объемно-расходной характеристики главного коллектора. **Результаты.** На основании исследования объемно-уровневых характеристик главных канализационных коллекторов установлено, что при их переходе в напорный режим уровень воды в нем начинает расти быстрее, чем в безнапорном режиме. При этом рост уровня начинает замедляться при наполнении трубопроводов примыкающих веток. Разработана и апробирована на практике методика экспресс-оценки притока сточных вод в канализационные коллекторы, позволяющая в режиме реального времени с приемлемой погрешностью (до 10 %) определять сумму транзитных и попутных расходов. **Заключение.** Применение разработанной методики позволит автоматизировать процесс принятия решений по пускам и остановкам насосных агрегатов на главных насосных станциях и уменьшить вероятность подтопления территорий в бассейнах водоотведения в результате выхода воды на поверхность при работе коллекторов в напорных режимах.

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

Abstract

Introduction. The operation of main sewage collectors regarding drainage of surface run-off from basins with different loading is distinguished by the forced-flow mode that makes it possible to equate flow rates supplied to treatment facilities by the main pumping station due to the accumulating capacity. The main parameters characterizing the operation of such collectors are as follows: wastewater supply by the main pumping station; volume of wastewater accumulated in the main collector as a result of limiting its flow rate with the maximum rate of the main pumping station; flow rate of wastewater entering the main collector as the sum of transit and associated flow rates. Without knowledge of these parameters, it is impossible to control wastewater disposal and treatment processes. For these reasons, studying the relationship between these parameters seems relevant. **Methods.** The research was carried out in two stages: 1) studies of the volume-level characteristics of the main sewage collector; 2) studies of the volume-flow characteristics of the main collector. **Results.** Based on the studies of the volume-level characteristics of main sewage collectors, the following was found: during the transition to the forced-flow mode, the water level in the collector begins to grow faster than that in the free-flow mode. Its growth starts slowing down when the pipelines of adjacent branches are filled. The authors developed and tested a method for the rapid assessment of wastewater inflow into sewage collectors. Such a method makes it possible to determine the sum of transit and associated flow rates in real time with an acceptable error (up to 10%). **Conclusion.** Due to the use of the developed method, it will be possible to automate the decision-making process regarding starts and stops of pumping units at main pumping stations and reduce the probability of area flooding in water disposal basins as a result of water rise to the surface during the operation of collectors in forced-flow modes.

Keywords: drainage systems, sewage pumping stations (SPSs), wastewater, surface run-off, flowmeter, drainage basin.

Введение

Ужесточение требований по очистке и отведению поверхностного стока происходит в условиях, когда отраслевые нормативные документы Российской Федерации не в полной мере позволяют учитывать динамику изменения климата, сопровождающуюся увеличением количества сверхрасчетных дождей и высокую неравномерность распределения осадков по урбанизированным территориям [12, 13]. Учет таких изменений особенно актуален для крупных городов, где последствия выпадения сверхрасчетных дождей в одном микрорайоне могут быть компенсированы небольшой интенсивностью или их полным отсутствием в другом. В этих условиях очень важную роль играют главные канализационные коллекторы, отводящие поверхностный сток от разных бассейнов водоотведения, нагруженных неодинаково. Особенностью их эксплуатации являются напорные режимы, позволяющие за счет аккумулирующего объема выравнять расходы воды, подаваемые на очистные сооружения главными насосными станциями (рис. 1).

Основными параметрами, характеризующими работу таких коллекторов, являются (рис. 1):

- подача сточных вод $Q_{ГНС}(t)$ ГНС;
- объем $V(t)$ сточных вод, накопленный в главном коллекторе в результате ограничения их расхода максимальной подачей ГНС;
- расход $Q_{П}(t)$ сточных вод, поступающих в главный коллектор в виде суммы транзитных $Q_{П,Т}(t)$ и $Q_{П,П}(t)$ попутных расходов.

Без знания перечисленных параметров невозможно управление процессами отведения и очистки сточных вод. По этим причинам исследование зависимости между этими параметрами является актуальным.

Известны несколько работ в данной предметной области, целью которых являлось решение следующих частных задач:

1. Определение фактического притока сточных вод путем прямого их измерения:

- расходомерами [5–9, 18, 20, 21];
- косвенными методами [10, 11, 15–17].

Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на законе электромагнитной индукции, в соответствии с которым в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости [7, 8]. Работа вихревых расходомеров заключается в измерении частоты колебаний, возникающих в потоке в процессе вихреобразования [8, 9, 20]. Широкое применение в практике получили ультразвуковые расходомеры, принцип действия которых основан на фиксировании и измерении эффекта, зависящего от расхода, и возникающего при проходе акустических колебаний через контролируемый поток жидкости [6, 18, 21]. Один из примеров определения расхода сточных вод косвенным методом заключается в численном моделировании значений расхода на основе данных уровня потока и его скорости [15]. Другой пример метода заключается в том, что в канализационном коллекторе устанавливается камера,

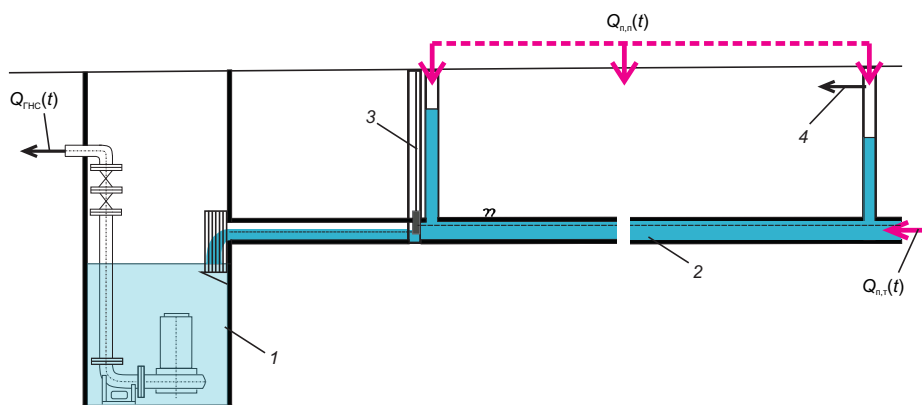


Рис. 1. Напорный режим совместной работы канализационного коллектора и главной насосной станции (ГНС): 1 — главная насосная станция; 2 — канализационный коллектор; 3 — узел регулирования расхода сточных вод; 4 — ливнепуск

производящая видеосъемку. Освещение обеспечивается устройством инфракрасного свечения, расположенным над канализационным каналом. На основании полученных камерой записей производятся алгоритмы обработки видеоизображений для расчета расхода воды, в которые входят измерения уровня скорости потока, и далее идет получение обработанных данных [10, 11, 16, 17]. Однако применение таких решений на практике затруднено в связи с тем, что при выходе коллектора в напорный режим из-за выпадения сверхрасчетных дождей они перестают работать ввиду подтопления самих приборов [1, 3, 9, 14, 19].

2. Определение фактического притока сточных вод, когда их прямое измерение невозможно из-за напорных режимов [4]. Их применение возможно на практике только для определения графиков притоков и объемов сбросов прошедших периодов и не позволяет определять расходы поступающих сточных вод в реальном режиме времени, что очень важно для выработки управленческих решений, например, о включении/выключении насосных агрегатов на главной насосной станции с целью минимизации количества их включений и объемов сбросов через ливнепуски. Метод Гринева А. П. разработан для определения притока и объема сточных вод, поступающих на канализационные насосные станции (КНС), оборудованные резервуарами и работающие в режиме периодического включения (циклическом режиме). Его суть состоит в том, что для определения графика притока воды, поступающей на КНС, выполняют: вычисление среднего расхода во время заполнения приемного резервуара в k -цикле; формируют множество n пар значений расходов и соответствующих им аргументов в виде времени t , а график притока сточных вод определяют в виде функции $q = f(t)$, которая в точках $t_0, t_1, \dots, t_k, \dots, t_n$ принимает значения, как можно более близкие к значениям или равные этим значениям [2].

Методы и материалы

В качестве базы для проведения исследований приняты:

- основы гидравлики;
- гидравлическая динамическая модель совместной работы главной насосной станции и главного канализационного коллектора, достоверность которой ранее подтверждена результа-

тами сопоставления расчетных и экспериментальных данных.

Исследования проводились в два этапа:

- исследование объемно-уровневых характеристик главного канализационного коллектора;
- исследование объемно-расходной характеристики главного коллектора с разработкой методики экспресс-оценки расхода сточных вод, поступающих в главный коллектор в режиме реального времени.

В качестве методической основы для проведения исследований принято сочетание системного подхода и численного эксперимента, базирующегося на результатах гидравлического моделирования. С их помощью реализован метод исследования, заключающийся в последовательной реализации следующих этапов:

- разработке гидравлической модели совместной работы экспериментального главного коллектора и главной насосной станции;
- калибровка гидравлической модели по результатам сопоставления результатов моделирования и натурных измерений;
- исследование с применением гидравлической модели объемно-уровневых характеристик главного канализационного коллектора посредством построения графиков уровня воды в коллекторе в зависимости от ее объема;
- исследование с применением гидравлической модели объемно-расходной характеристики главного коллектора посредством построения графиков изменения расхода сточных вод, поступающих в главный коллектор в режиме реального времени, в зависимости от значений измеряемых уровней воды в двух точках и динамики изменения объема аккумулированной воды.

Результаты исследования и обсуждение

Исследование объемно-уровневых характеристик главного канализационного коллектора. Результаты исследований объемно-уровневой характеристики главного тоннельного канализационного коллектора, состоящего из самотечных труб, проложенных под уклоном 0,001, и вертикальных шахт представлены в графическом виде (рис. 2). В дополнение приведена аналогичная характеристика для уличных коллекторов, проложенных открытым способом (рис. 3). Их анализ показывает, что:

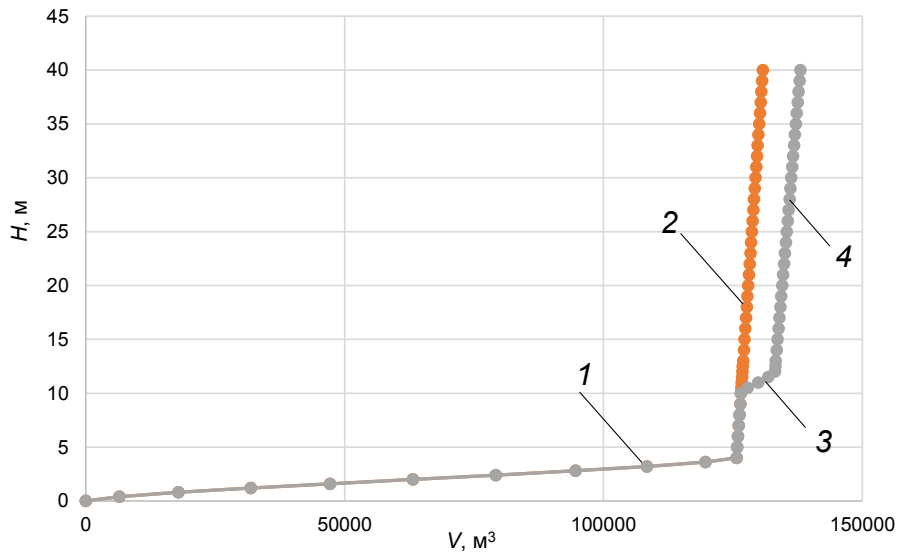


Рис. 2. Пример объемно-высотной характеристики тоннельного канализационного коллектора: 1 — главный трубопровод; 2 — шахты главного коллектора; 3 — ответвление от главного канализационного коллектора; 4 — шахты главного коллектора и ответвления

– примерно 90 % объема тоннельных коллекторов составляют трубопроводы и около 10 % — шахты. Из этого следует, что при переходе тоннельных коллекторов в напорный режим уровень начинает расти очень быстро;

– примерно 62 % объема уличных коллекторов, проложенных открытым способом, составляют трубопроводы, и около 32 % — колодцы. Из этого следует, что при переходе уличных кол-

лекторов в напорный режим рост уровня увеличивается, но он происходит значительно медленнее, чем в шахтах тоннельных коллекторов. Это следует учитывать при прогнозировании подтоплений территорий, например в периоды свехрасчетных дождей.

Исследование объемно-расходной характеристики главного коллектора. Результаты исследований объемно-уровневых характеристик

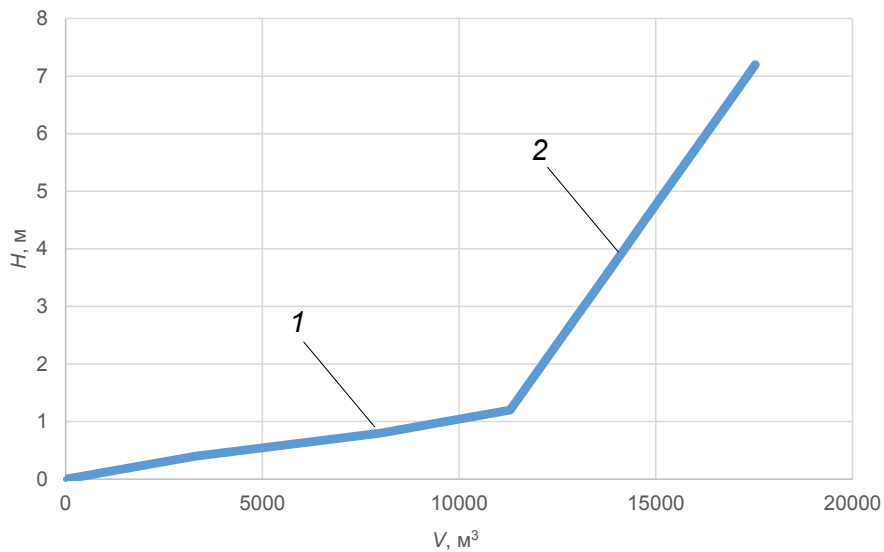


Рис. 3. Пример объемно-высотной характеристики уличных коллекторов, проложенных открытым способом: 1 — главный трубопровод; 2 — колодцы главного коллектора

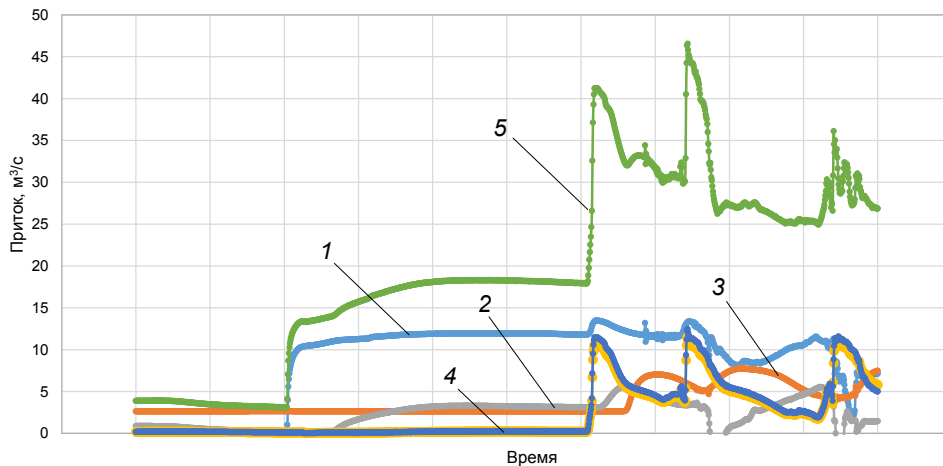


Рис. 4. Результаты изменения во времени попутных и транзитных притоков сточных вод на участок коллектора: 1 — транзитный приток; 2, 3, 4 — попутные притоки; 5 — суммарный приток

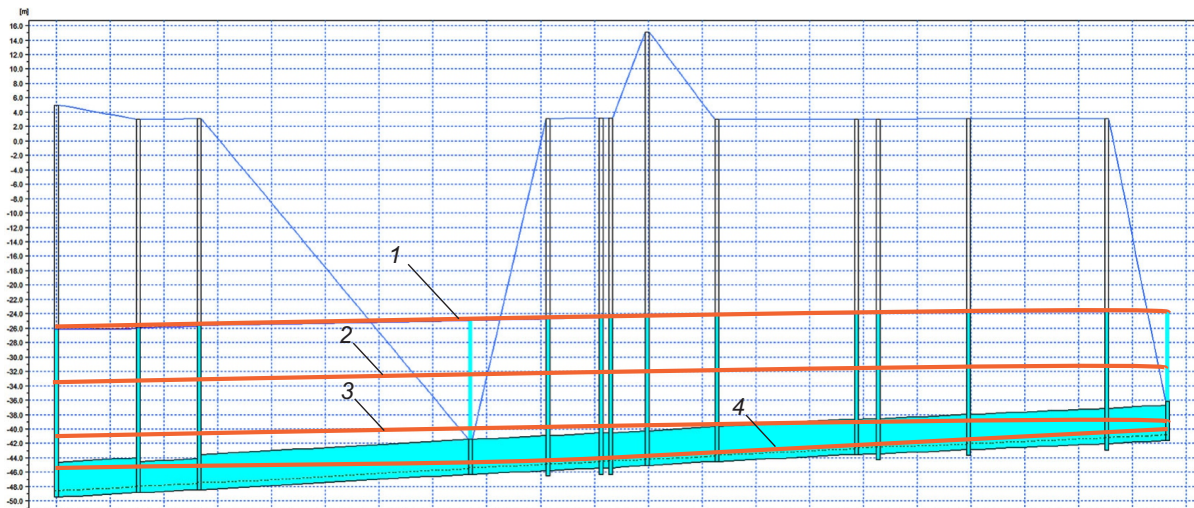


Рис. 5. Результаты изменения во времени уровней воды в коллекторе по результатам гидравлического моделирования: 1– 4 — уровни воды в различные периоды времени

двух типов главных канализационных коллекторов обосновали необходимость определения объемно-расходной характеристики главного тоннельного коллектора с применением верифицированной гидравлической динамической модели, разработанной на программном комплексе *Mike Urban*. В качестве исходных данных применены:

- результаты изменения во времени попутных и транзитных притоков сточных вод на участок коллектора (рис. 4);
- результаты изменения во времени уровней воды в коллекторе (рис. 5).

Результаты экспресс-оценки расхода $Q_{\Pi}(t)$ сточных вод, поступающих в главный коллектор в режиме реального времени представлены графически (рис. 6). При этом $Q_{\Pi}(t)$ определялся по следующей зависимости:

$$Q_{\Pi}(t) = Q_{\text{ГНС}}(t) + dV(t)/dt. \quad (1)$$

Разработанная методика экспресс-оценки расходов сточных вод, поступающих в главный коллектор в режиме реального времени, позволяет повысить точность их оценки по сравнению:

- с известными методами прямого измерения расходомерами [5–9, 18, 20, 21], поскольку

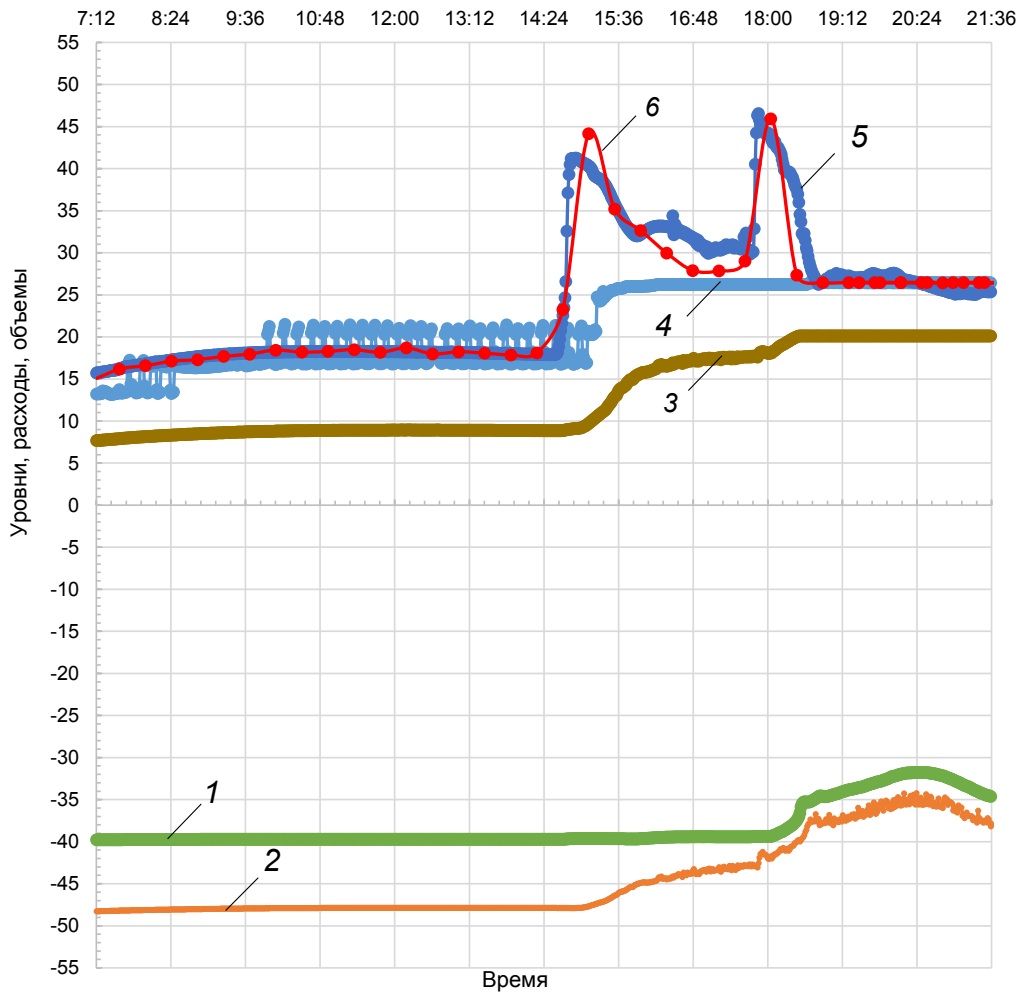


Рис. 6. Результаты экспресс-оценки притока сточных вод в режиме реального времени:
 1 — изменение уровня воды в начале коллектора; 2 — то же в конце; 3 — изменение объема воды в коллекторе; 4 — изменение подачи ГНС; 5 — изменение суммарного притока; 6 — результаты оценки суммарного притока сточных вод

в напорных режимах работы коллекторов они не работают;

– с известным методом расчета притока на канализационные насосные станции [2], который не учитывает объемы сточных вод, накапливающихся в коллекторе при их работе в напорных режимах и, следовательно, определяет приток с погрешностью в сторону занижения.

Заключение

1. На основании исследования объемно-уровневых характеристик главных канализационных коллекторов установлено, что при их переходе в напорный режим уровень воды в нем начинает расти быстрее, чем в безнапорном режиме. При этом рост уровня начинает замедляться при наполнении трубопроводов примыкающих веток.

2. Разработана и апробирована на практике методика экспресс-оценки притока сточных вод в канализационные коллекторы, позволяющая в режиме реального времени с приемлемой погрешностью (до 10 %) определять сумму транзитных и попутных расходов.

3. Применение разработанной методики позволит автоматизировать процесс принятия решений по пускам и остановкам насосных агрегатов на главных насосных станциях и уменьшить вероятность подтопления территорий в бассейнах водоотведения в результате выхода воды на поверхность при работе коллекторов в напорных режимах.

Литература

1. Игнатчик, В. С., Саркисов, С. В. и Обвинцев, В. А. (2017). Исследование коэффициентов часовой неравномерности водопотребления. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 2, сс. 27–39. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.20.2.27–39.
2. Игнатчик, В. С., Седых, Н. А. и Гринева А. П. (2017). Экспериментальное исследование неравномерности притока сточных вод. *Военный инженер*, № 4 (6), сс. 22–28.
3. Кармазинов, Ф. В., Игнатчик, С. Ю., Кузнецова, Н. В., Кузнецов, П. Н. и Феськова, А. Я. (2018). Методы оценки расходов поверхностного стока. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 2, сс. 17–24. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.20.2.17–24.
4. Кармазинов, Ф. В., Кинебас, А. К., Мельник, Е. А., Пробицкий, М. Д., Ильин, Ю. А., Игнатчик, В. С. и Игнатчик, С. Ю. Система диагностики притока воды. Патент № 2596029.
5. Chen, J.-L. (2017). Frequency characteristics of a vortex flowmeter in various inlet velocity profiles. *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 9, Issue 3, 168781401769050. DOI: 10.1177/1687814017690507.
6. Comes, M., Drumea, P., Blejan, M., Dutu, I. and Vasile, A. (2006). Ultrasonic flowmeter. In: 29th International Spring Seminar on Electronics Technology: Nano Technologies for Electronics Packaging, May 10–14, 2006. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 386–389.
7. Digiaco, R. W. (2010). Understanding electromagnetic flowmeters. *Chemical Engineering Progress*, Vol. 106, Issue 5, pp. 42–47.
8. Eren, H. and Webster, J. G. (2017). Measurement, instrumentation, and sensors handbook: spatial, mechanical, thermal, and radiation measurement. London: CRC Press, 1640 p.
9. Hollmach, M., Höcker, R. and von Wolfersdorf, J. (2008). Vortex shedding in a rectangular channel with high blockage and disturbed inflow at high Reynolds number - Application to vortex flowmeter. In: 14th International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics, 07–10 July, 2008. Berlin: Heidelberg, 567 p.
10. Jeanbourquin, D., Sage, D., Nguyen, L. S., Schaeli, B., Kayal, S., Barry, D. A. and Rossi, L. (2011). Flow measurements in sewer systems based on image analysis: automatic flow velocity algorithm. *Water Science & Technology*, Vol. 64, Issue 5, pp. 1108–1114. DOI: 10.2166/wst.2011.176.
11. Khorchani, M. and Blanpain, O. (2004). Free surface measurement of flow over side weirs using the video monitoring concept. *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 15, Issue 2, pp. 111–117. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2003.09.003.
12. Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M. and Koivusalo, H. (2014). Large-scale urban hydrological modelling at high spatial resolution: requirements and applications. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 191, pp. 1593–1602. DOI: 10.2495/SC141352.
13. Krebs, G., Kokkonen T., Valtanen M., Setälä H. and Koivusalo, H. (2014). Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, Vol. 512, pp. 482–497. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.013
14. Kuebler, J. (2009). Failure analysis on a flowmeter. *Key Engineering Materials*, Vol. 409, pp. 65–71. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.409.65.
15. Larrarte, F. (2006). Velocity fields within sewers: an experimental study. *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 17, Issue 5, pp. 282–290. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2006.08.001.
16. Nitsche, W. and Dobriloff, C. (eds.) (2009). Imaging measurement methods for flow analysis. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 318 p.
17. Nguyen, L. S., Schaeli, B., Sage, D., Kayal, S., Jeanbourquin, D., Barry, D. A. and Rossi, L. (2009). Vision-based system for the control and measurement of wastewater flow rate in sewer systems. *Water Science and Technology*, Vol. 60, Issue 9, pp. 2281–2289. DOI: 10.2166/wst.2009.659.
18. Palti, Y. (2014). Doppler based flow measurements. Patent No. EP2424439A1.
19. Rathnayake, U. S. and Tanyimboh, T. T. (2015). Evolutionary multi-objective optimal control of combined sewer overflows. *Water Resources Management*, Vol. 29, Issue 8, pp. 2715–2731.
20. Shestakov, A., Lapin, A. and Alsheva, K. (2018). Algorithmic method for vortex flowmeters measurement accuracy improvement. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1065, 092013. DOI: 10.1088/1742-6596/1065/9/092013.
21. Sun, B. J. and Wang, K. (2013). Ultrasonic flowmeter based on FPGA. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 291–294, pp. 2566–2569. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.291-294.2566.

References

1. Ignatchik, V. S., Sarkisov, S. V. and Obvintsev, V. A. (2017). Research of water consumption hour inequality coefficients. *Water and Ecology*, No. 2, pp. 27–39. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.20.2.27–39.
2. Ignatchik, V. S., Sedih, N. A. and Grinev A. P. (2017). Experimental study of imperfect periodicity of sewage water. *Military Engineer* No. 4 (6), pp. 22–28.
3. Karmazinov, F. V., Ignatchik, S. Yu., Kuznecova, N. V., Kuznecov, P. N. and Fes'kova, A. Ya. (2018). Methods for calculating the surface run-off. *Water and Ecology*, No. 2, pp. 17–24. DOI: 10.23968/2305–3488.2018.20.2.17–24.
4. Karmazinov, F. V., Kinebas, A. K., Melnik, Ye. A., Probirsky, M. D., Ilyin, Yu. A., Ignatchik, V. S. and Ignatchik, S. Yu. (2018). Water inflow diagnostic system. Patent No. 2596029.
5. Chen, J.-L. (2017). Frequency characteristics of a vortex flowmeter in various inlet velocity profiles. *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 9, Issue 3, 168781401769050. DOI: 10.1177/1687814017690507.
6. Comes, M., Drumea, P., Blejan, M., Dutu, I. and Vasile, A. (2006). Ultrasonic flowmeter. In: 29th International Spring Seminar on Electronics Technology: Nano Technologies for Electronics Packaging, May 10–14, 2006. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 386–389.
7. Digiaco, R. W. (2010). Understanding electromagnetic flowmeters. *Chemical Engineering Progress*, Vol. 106, Issue 5, pp. 42–47.
8. Eren, H. and Webster, J. G. (eds.) (2017). Measurement, instrumentation, and sensors handbook: spatial, mechanical, thermal, and radiation measurement. 2nd edition. London: CRC Press, 1640 p.

9. Hollmach, M., Höcker, R. and von Wolfersdorf, J. (2008). Vortex shedding in a rectangular channel with high blockage and disturbed inflow at high Reynolds number - Application to vortex flowmeter. In: 14th International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics, 07–10 July, 2008. Berlin: Heidelberg, 567 p.
10. Jeanbourquin, D., Sage, D., Nguyen, L. S., Schaeli, B., Kayal, S., Barry, D. A. and Rossi, L. (2011). Flow measurements in sewer systems based on image analysis: automatic flow velocity algorithm. *Water Science & Technology*, Vol. 64, Issue 5, pp. 1108–1114. DOI: 10.2166/wst.2011.176.
11. Khorchani, M. and Blanpain, O. (2004). Free surface measurement of flow over side weirs using the video monitoring concept. *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 15, Issue 2, pp. 111–117. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2003.09.003.
12. Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Koivusalo, H. (2014). Large-scale urban hydrological modelling at high spatial resolution: requirements and applications. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 191, pp. 1593–1602. DOI: 10.2495/SC141352.
13. Krebs, G., Kokkonen T., Valtanen M., Setälä H. and Koivusalo, H. (2014). Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, Vol. 512, pp. 482–497. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.013.
14. Kuebler, J. (2009). Failure analysis on a flowmeter. *Key Engineering Materials*, Vol. 409, pp. 65–71. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.409.65.
15. Larrarte, F. (2006). Velocity fields within sewers: an experimental study. *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 17, Issue 5, pp. 282–290. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2006.08.001.
16. Nitsche, W. and Dobriloff, C. (2009). *Imaging Measurement Methods for Flow Analysis*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 318 p.
17. Nguyen, L. S., Schaeli, B., Sage, D., Kayal, S., Jeanbourquin, D., Barry, D. A. and Rossi, L. (2009). Vision-based system for the control and measurement of wastewater flow rate in sewer systems. *Water Science and Technology*, Vol. 60, Issue 9, pp. 2281–2289. DOI: 10.2166/wst.2009.659.
18. Palti, Y. (2014). Doppler based flow measurements. Patent No. EP2424439A1.
19. Rathnayake, U. S. and Tanyimboh, T. T. (2015). Evolutionary multi-objective optimal control of combined sewer overflows. *Water Resources Management*, Vol. 29, Issue 8, pp. 2715–2731. DOI: 10.1007/s11269-015-0965-3.
20. Shestakov, A., Lapin, A. and Alsheva, K. (2018). Algorithmic method for vortex flowmeters measurement accuracy improvement. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1065, 092013. DOI: 10.1088/1742-6596/1065/9/092013.
21. Sun, B. J. and Wang, K. (2013). Ultrasonic flowmeter based on FPGA. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 291–294, pp. 2566–2569. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.291-294.2566.

Авторы

Игнатчик Светлана Юрьевна, д-р техн. наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ignatchik_CY@yandex.ru

Кузнецова Наталья Викторовна, канд. техн. наук
ООО «АВив», Санкт-Петербург, Россия
E-mail: natalyakuznetsova.aviv@yandex.ru

Феськова Алина Яновна

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университета, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: alinafeskova@gmail.com

Сенюкович Михаил Александрович

Военный институт (инженерно-технический), Санкт-Петербург, Россия
E-mail: senyukovich19@gmail.com

Authors

Ignatchik Svetlana Yurievna, Dr. of Engineering,
Associate Professor
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia
E-mail: ignatchik_CY@yandex.ru

Kuznetsova Natalya Victorovna, PhD in Engineering
Ltd. AW&W, St. Petersburg, Russia
E-mail: natalyakuznetsova.aviv@yandex.ru

Fes'kova Alina Yanovna

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia
E-mail: alinafeskova@gmail.com

Senyukovich Mikhail Aleksandrovich

Military institute of engineering, St. Petersburg, Russia
E-mail: senyukovich19@gmail.com