УДК 628.31

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-6-160-163

© М. И. Алексеев, д-р техн. наук, профессор
© В. П. Верхотуров, канд. техн. наук, доцент
© А. В. Кудрявцев, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: water@spbgasu.ru

© M. I. Alekseev, Dr. Sci. Tech., Professor
© V. P. Verkhoturov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© A. V. Kudryavtsev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: water@spbgasu.ru

ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

ESTIMATION OF THE VOLUME OF INFILTRATION WATER ENTERING CENTRALIZED SEWERAGE SYSTEMS

Освещены вопросы определения объемов инфильтрационных вод, поступающих в централизованные системы водоотведения. Приведен анализ существующих методик расчета и основных факторов, влияющих на формирование объемов инфильтрационных вод. Предложены новые подходы и расчетные зависимости, позволяющие учитывать степень износа и материал трубопроводов при определении объемов поступающих инфильтрационных вод с площадей, где участки самотечных коллекторов временно или постоянно располагаются ниже горизонта грунтовых вод.

Ключевые слова: системы водоотведения, инфильтрационные воды, самотечные коллекторы, дополнительный приток инфильтрационных вод, грунтовые воды.

The article is devoted to determination of the infiltration water volume entering centralized water disposal systems. The analysis of the currently used calculation methods and the main factors influencing the formation of infiltration water volumes is given. New approaches and calculated dependences are proposed that allow taking into account the degree of wear and material of pipelines when determining the volume of incoming infiltration water from areas, where sections of gravity pipelines are temporarily or permanently located below the ground water horizon.

Keywords: sewerage systems, infiltration water, gravity pipelines, additional inflow of infiltration water, ground water.

Поступление неучтенных расходов грунтовых (инфильтрационных) вод в централизованные системы водоотведения неизбежно влечет увеличение нагрузки на всю водоотводящую систему, осложняя ее работу, что приводит к значительному увеличению эксплуатационных затрат, а иногда и к снижению качества очистки сточных вод, отводимых с городских территорий.

Проникновение инфильтрационных вод в водоотводящие сети в большинстве случаев происходит за счет просачивания грунтовых вод через

неплотности стыковых соединений, трещины и повреждения труб и колодцев, зазоры, образующиеся в результате перекоса горловин колодцев. Во многих случаях такое положение обусловлено значительным износом водоотводящих сетей и сооружений на них, давно требующих замены или реновации.

В настоящее время при отсутствии фактических данных о поступлении дренажных и инфильтрационных вод или достоверных исходных данных для расчета их расходов и объемов

(в соответствии с требованиями¹), определяется общий (суммарный) средний объем грунтовых (инфильтрационно-дренажных) вод, поступающих в системы водоотведения:

$$W_{\text{инф.др}}^{\Gamma} = W_{\text{др}}^{\Gamma} + W_{\text{инф}}^{\Gamma}, \quad (1)$$

где $W_{\text{др}}^{\Gamma}$ — объем дренажного стока (м^3); $W_{\text{инф}}^{\Gamma}$ — объем инфильтрационного стока (м^3).

Соответственно, средний (годовой) объем инфильтрационного стока для расчетной территории (площади) предлагается определять из уравнения баланса по зависимости

$$W_{\text{инф}}^{\Gamma} = W_{\text{ос}}^{\Gamma} - W_{\text{отв}}^{\Gamma} - W_{\text{исп}}^{\Gamma}, \quad (2)$$

где $W_{\text{ос}}^{\Gamma}$ — годовой объем атмосферных осадков, выпадающий на расчетную площадь; $W_{\text{отв}}^{\Gamma}$ — годовой объем дождевого и талого стока, отводимого централизованной системой водоотведения с расчетной площади (с учетом вывозимого снега); $W_{\text{исп}}^{\Gamma}$ — годовой объем атмосферных осадков на испарение (физическое испарение и транспирацию).

Как видно из представленных зависимостей, данный подход учитывает только влияние количества выпадающих осадков и фактически никак не учитывает реальное состояние водоотводящих сетей [1] и степень их износа, гидрогеологические факторы, связанные с положением горизонта грунтовых вод по отношению к проложенным водоотводящим сетям или изменение его уровня при подъеме уровней воды в водных объектах (наводнениях), вблизи которых могут быть расположены централизованные системы водоотведения.

Кроме того, на объемы поступающего инфильтрационного стока влияют утечки из трубопроводов водо- и теплоснабжения, аварийные сбросы и пролив из водовмещающих сооружений (резервуаров, накопителей, декоративных водоемов и пр.), а также часть поливомоечных вод, которые не попали в дождевые и общесплавные сети [2, 3].

Как показывают данные мониторинга наблюдений и проведенные расчеты [3, 4, 5], объемы инфильтрационного стока, поступающего в централизованные системы водоотведения, во многих случаях превышают расчетные показатели,

полученные с учетом существующих методик и рекомендаций^{1,2,3}.

Поскольку большинство магистральных коллекторов прокладывается по пониженным отметкам местности и во многих случаях ниже горизонта грунтовых вод, поступление инфильтрационного стока для них не будет определяться притоком только дождевых вод, поступающих в грунт [6]. При расположении самотечных трубопроводов ниже уровня грунтовых вод приток инфильтрационных вод может быть учтен аналогично поступлению воды в дренажную сеть и будет зависеть от грунтовых условий, напора грунтовых вод над трубопроводом, степени износа и целостности самотечных трубопроводов и сооружений на них.

Величину дополнительного притока инфильтрационных вод за выбранный промежуток времени в часах для самотечных трубопроводов, располагаемых ниже уровня горизонта грунтовых вод, на глубине до трех метров от верха трубы можно определять по зависимости

$$W_{\text{инф}}^{\text{доп}} = (W_{\text{инф}}^{\text{тр}} + W_{\text{инф}}^{\text{кол}}) k_{\text{изн}}, \quad (3)$$

где $W_{\text{инф}}^{\text{тр}}$ — объем инфильтрационных вод, проходящий через стенки и неплотности соединений стыков трубопровода; $W_{\text{инф}}^{\text{кол}}$ — объем инфильтрационных вод, поступающих через стенки и неплотности соединений сооружений (колодцы, камеры и т. п.), расположенных на водоотводящих сетях; $k_{\text{изн}}$ — коэффициент, учитывающий износ водоотводящих сетей при эксплуатации без капитального ремонта более 10 лет, принимается по графику (рисунок) или по зависимости

$$k_{\text{изн}} = 1,1455 \ln(P) - 1,6356, \quad (4)$$

где P — период эксплуатации трубопровода, принимаемый в интервале от 10 до 25 лет.

Объем инфильтрационных вод (м^3), проходящих через стенки и неплотности соединений стыков трубопроводов, может быть найден по уравнению

$$W_{\text{инф}}^{\text{тр}} = \sum_{i=1}^n (q_{\text{уд.тр}}^{\text{инф}} L_i) t, \quad (5)$$

где $q_{\text{уд.тр}}^{\text{инф}}$ — удельный объем инфильтрационных вод ($\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 км длины) трубопровода, опреде-

² Методика расчета объемов организованного и неорганизованного дождевого, талого и дренажного стока в системы коммунальной канализации. СПб.: Экология и право, 2000. 52 с.

³ Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М.: НИИ ВОДГЕО, 2015.

¹ Приказ Минстроя России от 17.10.2014 № 639/пр. «Об утверждении Методических указаний по расчету объема принятых (отведенных) поверхностных сточных вод». Зарегистрировано в Минюсте России 24.02.2015 № 36194. 12 с.

График зависимости $k_{изн}$ от периода эксплуатации водоотводящей сети

ляемый в зависимости от материала и диаметра трубопровода; L_i — длина участка трубопровода, км; t — период времени, в течение которого участок трубопровода находится ниже горизонта грунтовых вод, ч.

Базовые значения удельных объемов поступления инфильтрационных вод могут быть найдены исходя из анализа данных удельного притока воды в безнапорные трубопроводы при их испытании⁴.

Расчетные значения удельного объема поступления инфильтрационных вод ($\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 км длины) для трубопроводов, выполненных из различных материалов, могут быть найдены по данным таблицы или с допустимой для практических расчетов точностью по следующим зависимостям:

- для бетонных и железобетонных труб условным диаметром 150–200 мм:

$$q_{уд.трi}^{инф} = 11,2D_y - 1,4; \quad (6)$$

- для бетонных и железобетонных труб условным диаметром 250 мм и более:

$$q_{уд.трi}^{инф} = 1,6907D_y + 0,6263; \quad (7)$$

- для керамических труб условным диаметром 150–300 мм:

$$q_{уд.трi}^{инф} = 2,88D_y - 0,128; \quad (8)$$

- для керамических труб условным диаметром более 300 мм:

$$q_{уд.трi}^{инф} = 0,8D_y + 0,52; \quad (9)$$

- для асбестоцементных труб условным диаметром 150–400 мм:

$$q_{уд.трi}^{инф} = (0,2783 - 0,04 / D_y)^{0,5}; \quad (10)$$

- для стеклокомпозитных трубопроводов диаметром до 2000 мм:

$$q_{уд.трi}^{инф} = D_y, \quad (11)$$

где D_y — условный диаметр трубопровода в метрах.

Для железобетонных трубопроводов со стыковыми соединениями на резиновых уплотнителях значения $q_{уд.трi}^{инф}$, полученные расчетным путем, должны приниматься с коэффициентом 0,7.

Объем инфильтрационных вод (м^3), поступающих через стенки и неплотности соединений колодцев и камер, расположенных на водоотводящих сетях, может быть найден по зависимости

$$W_{инф}^{кол} = \sum_{i=1}^n \left(H_i \frac{q_{уд.колi}^{инф}}{1000} \right) t, \quad (12)$$

где $q_{уд.колi}^{инф}$ — удельный объем инфильтрационных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$, на 1 км глубины колодца (камеры), т. е. камеры, находящейся ниже уровня грунтовых вод, определяется для сборных железобетонных элементов в зависимости от диаметра колец по уравнению (7) или данным табл. 1; H_i — глубина части колодца (камеры), в метрах, расположенной ниже уровня грунтовых вод; t — период времени (часы), в течение которого элементы колодца находятся ниже уровня горизонта грунтовых вод; n — число колодцев на рассматриваемом участке.

Для камер из сборных железобетонных элементов удельный объем притока инфильтрационных вод может быть определен по уравнению (7) или данным таблицы как для железобетонной трубы, диаметр которой равновелик по площади поперечного сечения рассчитываемой камеры.

Заключение

Поступление инфильтрационного стока в централизованные системы водоотведения является многофакторным и сложно прогнозируемым процессом. Существующие на сегодняшний день методики расчета не в полной мере учитывают даже основные факторы и, как правило, дают заниженные результаты.

Действующие на данный момент методические указания по расчету объемов принятых (отведенных) поверхностных сточных вод¹ позволяют только компенсировать часть финансовых затрат предприятий ВКХ, при этом никак не стимулируют абонентов (владельцев водоотводящих сетей) к реновации или замене участков водоотводящих сетей и сооружений, располо-

⁴ СП 129.13330.2019. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации. Актуализированная редакция СНиП 3.05.04–85.

Удельный объем поступления инфильтрационных вод

Условный диаметр трубопровода	Удельный объем инфильтрационных вод на 1 км длины трубопровода, м³/ч		
D_y , мм	железобетонного и бетонного	керамического	асбестоцементного
150	0,28	0,28	0,10
200	0,84	0,48	0,28
250	1,00	0,60	—
300	1,08	0,72	0,36
350	1,24	0,80	—
400	1,34	0,84	0,44
450	—	0,88	—
500	1,50	0,92	—
550	—	0,96	—
600	1,66	1,00	—
800	1,99	—	—
1000	2,32	—	—
1200	2,66	—	—
1400	2,99	—	—
1500	3,15	—	—

женных в зоне их ответственности, поскольку никак не учитывают изменение объемов отводимого стока от износа и текущее состояние водоотводящих трубопроводов.

Предлагаемые новые подходы и расчетные зависимости для определения объемов инфильтрационных вод, поступающих от участков самотечных коллекторов, постоянно или временно расположенных ниже горизонта грунтовых вод, позволяют более гибко учитывать изменение объемов стока отводимых с площадей водосбора.

Библиографический список

1. Хворостинская К. А., Верхотуров В. П. Учет инфильтрационного стока в системах канализации. Инженерные системы и городское хозяйство: сб. науч. тр. Серия «Инженерные системы и городское хозяйство». СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 121–128.
2. Алексеев М. И., Курганов А. М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий. М.: АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2000. 352 с.
3. Данилович Д. А., Максимова А. А., Пупырев Е. И. Оценка объемов неорганизованного дополнительного притока сточных вод в систему канализации. Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 10. С. 31–38.

4. Шаталова О. К., Акименко Н. Ю. Мониторинг неучтенных расходов сточных вод в системе коммунального водоотведения. Новые идеи нового века: материалы Междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. 2019. Т. 3. С. 382–386.

5. Отчет по НИР № 303. Рук. В. П. Верхотуров; исполн. А. В. Кудрявцев. СПбГАСУ. 2018.

6. Куранов Н. П., Коринченко И. В. Рекомендации по оценке величины дополнительного инфильтрационного питания грунтовых вод при техногенном подтоплении территорий промышленной и селитебной застройки. М.: НИИ ВОДГЕО, 2008. 68 с.

References

1. Khvorostinskaya K. A., Verkhotur V. P. *Uchet infil'tratsionnogo stoka v sistemakh kanalizatsii* [Accounting of infiltration runoff in sewage systems]. Sb. nauch. tr. Ser. «Inzhenernye sistemy i gorodskoe khozyaystvo» [In: Coll. sci. articles. Ser. "Engineering systems and urban economy"]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2020, pp. 121–128.
2. Alekseev M. I., Kurganov A. M. *Organizatsiya otvedeniya poverkhnostnogo (dozhdevogo i talogo) stoka s urbanizirovannykh territoriy* [Organization of drainage of surface runoff (rain and snowmelt) from urbanized areas]. Moscow, ASV Publ.; St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2000, 352 p.
3. Danilovich D. A., Maksimova A. A., Pupyrev E. I. *Otsenka ob'edov neorganizovannogo dopolnitel'nogo pritoka stochnykh vod v sistemu kanalizatsii* [Estimation of volumes of unorganized additional inflow of wastewater into the sewerage system]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary equipment*, 2008, no. 10, pp. 31–38.
4. Shatalova O. K., Akimenko N. Yu. *Monitoring neuchtennykh raskhodov stochnykh vod v sisteme kommunal'nogo vodootvedeniya* [Monitoring of unaccounted waste water costs in the municipal water disposal system]. *Trudy Mezhdunar. nauch. konf. «Novye idei novogo veka»* [Proceedings of the international scientific conf. "New ideas of the new century"]. FAD TOGU Publ., 2019, vol. 3, pp. 382–386.
5. Kudryavtsev A. V. *Otchet po NIR no. 303. Ruk. Verkhotur V. P.* [Research report no. 303, supervised by Verkhotur V. P.]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2018.
6. Kuranov N. P., Korinchenko I. V. *Rekomendatsii po otsenke velichiny dopolnitel'nogo infil'tratsionnogo pitaniya gruntovykh vod pri tekhnogenom podtoplenii territoriy promyshlennoy i selitebnoy zastroyki* [Recommendations for assessing the volume of additional infiltration supply of ground water in technogenic flooding in industrial and residential areas]. Moscow, NII VODGEO Publ., 2008, 68 p.