

УДК 628

DOI: 10.35108/isvp20203(33)5-9

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДНО-ВОЗДУШНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ САМОТЕЧНЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

В. А. Орлов, С. П. Зоткин

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Проведена оценка возможностей водоканалов по моделированию технологических процессов и автоматизированному поиску оптимальных режимов работы самотечных канализационных сетей в условиях их эксплуатации и реконструкции. Обоснована актуальность задачи управления водно-воздушным режимом работы самотечных трубопроводов для удаления из них дурнопахнущих и вредных для здоровья людей газов. Сформулированы задачи нейтрализации дурнопахнущих веществ до их предельно допустимых значений в атмосфере городов. Приведены общие сведения об алгоритме и автоматизированной программе расчета гидравлических и аэродинамических параметрах работы трубопровода. Представлен сравнительный анализ результатов расчета технических показателей работы канализационной сети до и после реконструкции по удалению дурнопахнущих газов (на примере сероводорода) и влаги из подводящего пространства трубопроводов.

Ключевые слова: канализационная сеть, безнапорный трубопровод, водно-воздушный режим, нейтрализация запахов, предельно допустимая концентрация.

MODELING PARAMETERS OF WATER-AIR MODE OF GRAVITY SEWER NETWORKS OPERATION UNDER RECONSTRUCTION

V. A. Orlov, S. P. Zotkin

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

An assessment of the capabilities of water supplying utilities for modeling technological processes and automated search for optimal operating modes of gravity sewer networks on terms of their operation and reconstruction was carried out. The urgency of controlling the water-air mode of operating gravity pipelines to remove from them foul-smelling gases harmful to human health has been substantiated. The tasks of neutralizing foul-smelling substances to their maximum permissible values in the atmosphere of cities are formulated. General details of the algorithm and the automated program for calculating the hydraulic and aerodynamic parameters of the pipeline operation have been provided. The paper includes a comparative analysis of the results of calculating the technical indicators of the sewer network before and after the reconstruction to remove foul-smelling gases (for example, hydrogen sulfide) and moisture from inner space of pipelines.

Keywords: sewer network, free-flow pipeline, water-air mode, neutralization of odors, maximum permissible concentration.

Введение

В настоящее время водоканалами РФ используются различные электронные базы данных (ЭБД), в частности, по паспортизации и эксплуатации безнапорных канализационных трубопроводов [1]. К ним можно отнести, например, ЭБД «Паспорт канализационной сети» и ЭБД «Засоры», которые успешно применяются в практике АО «Мосводоканал». Также нашли применение следующие программные модули: «Выбор приоритетного объекта реновации на безнапорной канализационной сети» и «Выбор оптимального метода реновации или перекладки на канализационной сети», «Оценка надежности и планирования восстановления водопроводных и водоотводящих сетей» [2], «Устройство для анализа надежности трубопроводов городской водоотводящей сети» [3], «Программа расчета гидравлических параметров безнапорных труб и защитных покрытий» [4] и ряд других.

Мировой опыт показывает, что использование ЭБД и программных модулей на предприятиях и объектах эксплуатации систем водоснабжения и канализации направлено,

прежде всего, на совершенствование эксплуатации безнапорных сетей и сооружений, а также на поиск путей оптимизации технических и технологических решений, связанных с бестраншейной реконструкцией трубопроводов и модернизацией отдельных сооружений по очистке сточных вод [5–7].

В рамках сотрудничества НИУ МГСУ и подразделений АО «Мосводоканал» разрабатывается модуль сопровождения научных исследований «Выбор вентиляционного оборудования для удаления дурнопахнущих запахов из канализационных сетей», который имеет перспективу использования в структуре общей электронной базы АО «Мосводоканал». Основу модуля составляет автоматизированная программа «Моделирование водно-воздушного режима работы безнапорных водоотводящих сетей» [8]. Сущность работы программного комплекса заключается в решении одной из частных задач адаптации получаемых результатов для определения проектных параметров эффективной нейтрализации выделяемых в подводящее пространство трубопроводов водяных паров и дурно-

пахнущих газов до предельно допустимых концентраций в атмосфере городов.

В богатой практике борьбы с дурнопахнущими газами известно множество способов нейтрализации вредных газообразных выделений в канализационных сетях. Специалистами выявлено, что быстрому загниванию воды и появлению вредных запахов способствует отложения налета на стенках труб и прохождение анаэробных процессов окисления разложения органических веществ [9]. Удалить источник неприятного запаха из безнапорных трубопроводов также можно путем проведения промывки (прочистки) канализационных сетей следующими методами: водовоздушным; гидродинамическим с использованием струй воды под высоким давлением; гидрокавитационным; электрогидроимпульсным и другими [10]. Если причина образования запаха кроется в снижении водопотребления, то для решения данной проблемы может оказаться достаточным уменьшение диаметра труб посредством использования бесшланговых технологий протаскивания в действующий трубопровод новых полимерных труб меньшего диаметра или вентиляции подсводного пространства трубопровода [11]. Удаление запахов возможно использованием вентиляции подсводного пространства канализационных сетей [12].

Ниже рассмотрены задачи вентиляции как одного из оперативных и интенсивных методов борьбы с запахами, образующимися в безнапорной трубопроводной сети.

Материалы и методы

Объектом (материалом) исследований являются безнапорные трубопроводы, в которых организуется интенсивная вентиляция по выносу в атмосферу вредных газов, а также испаряющейся с поверхности сточной воды влаги. Сущностью интенсивной вентиляции трубопроводов является многократное разбавление концентрации газообразных примесей в подсводном пространстве трубопроводов атмосферным воздухом до их предельно допустимых значений с последующим выпуском в окружающую среду [13]. К наиболее вредным газообразным веществам относят сероводород, метан, аммиак, меркаптаны, формальдегиды и т. д. [14].

Объективная оценка функционирования трубопроводов безнапорной системы водоотведения невозможна без составления ее физической модели, включающей описание гидродинамических и аэродинамических показателей [15]. Модель должна учитывать такие сложные явления, как интенсивное выделение в подсводное пространство самотечных сетей дурнопахнущих токсичных га-

зов, а также содействовать возможности детального анализа тепломассообмена между жидкостью и воздухом в свободном воздушном пространстве трубопровода [16].

Как правило, физическая модель является базой для создания математической модели, а в последующем автоматизированной программы расчета параметров водно-воздушного режима работы канализационной сети [17].

В качестве образца объекта моделирования представлен виртуальный участок водоотводящей сети, где наиболее остро стоят вопросы локализации газообразования, провоцируемого наличием в водоотводящей сети дурнопахнущих и вредных для здоровья людей веществ.

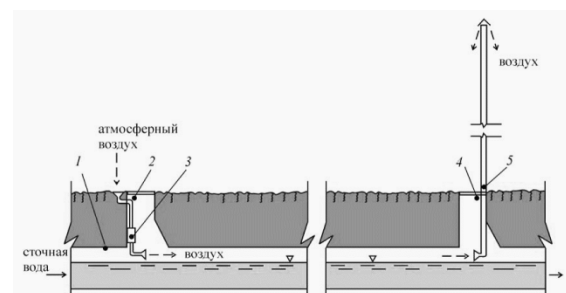


Рис. 1. Иллюстрация водно-воздушного режима работы водоотводящей сети:

1 – самотечный трубопровод, проложенный с соответствующим уклоном; 2 – начальный канализационный колодец; 3 – автономный вентиляционный агрегат с диффузором в сторону течения воды; 4 – конечный канализационный колодец; 5 – вентиляционный стояк

Для решения задачи физического моделирования водно-воздушного режима работы самотечной трубопроводной сети помимо исследования гидравлических и аэродинамических показателей работы системы учитывались явления массопередачи (газожидкостные реакции). Основу алгоритма при решении задачи составляла величина воздухообмена для удаления дурнопахнущих запахов, а также избыточной влаги, поступающей в подсводное пространство трубопровода в результате испарения сточных вод. Исключение этих негативных явлений является одной из востребованных задач в области транспорта сточных вод по самотечным сетям, т. к. поступающие через люки смотровых колодцев дурнопахнущие газы снижают комфортность проживания людей и вредят их здоровью, а влага на внутренней поверхности трубопроводов вкупе с газовыми выделениями содействует биологической коррозии стенок труб [18].

Как указывалось выше основу модуля «Водно-воздушный режим работы канализационной сети» составляет автоматизированная программа. В качестве исходной информации в программу вводятся следующие показате-

тели: диаметр трубопровода, его протяженность, уклон и наполнение, материал изготовления. Также вносятся сведения о нормативных показателях (например, предельно допустимых концентрациях вредных газообразных веществ в атмосфере города) и полученных с помощью натуральных измерений показателей (например, температуры атмосферного воздуха, его коэффициентов кинематической вязкости и плотности). В обработку также поступают сведения о концентрации исследуемого на предмет удаления конкретного газа (в данном случае сероводорода).

Опуская детальное описание алгоритма операций по расчету гидравлических и гидродинамических показателей работы трубопровода, необходимо отметить, что конечной целью исследований является сопоставление величин времени нейтрализации дурнопахнущих газов и времени нейтрализации влаги принудительной конвекцией. В качестве гидравлических показателей анализу подлежат: скорость течения воды и воздуха в подсводном пространстве, расход воды, объем воздуха в подсводном пространстве трубопровода, количество газообразного вещества, нейтрализуемого до предельно допустимого значения при подаче воздуха за единицу времени и т. д.

Ниже представлены результаты автоматизированного расчета образцового примера водно-воздушного режима работы старого керамического трубопровода и нового полиэтиленового, которым был заменен старый после бестраншейной реконструкции. Реконструкция осуществлялась методом разрушения старого трубопровода пневмопробойни-

ком и протягивания в освободившееся пространство новой полимерной трубы [19].

Результаты и дискуссии

В автоматизированную программу вводилась следующая исходная информация по объекту моделирования: протяженность участка сети 500 м, диаметр трубопровода 0,4 м, уклон трассы 0,0025, назначаемый воздухообмен в трубопроводной системе 0,04 м³/с, концентрация вредных газообразных веществ (на примере сероводорода) соответственно в подсводном пространстве 4,2 мг/м³ (по данным замеров приборами) и предельно допустимая в атмосфере города 0,008 мг/м³ [20].

Расчеты проведены отдельно для ветхого керамического трубопровода, имеющего значительную шероховатость внутренней поверхности и полиэтиленового, коэффициент шероховатости которого меньше, чем у керамического на 38 %. С учетом неравномерности водопотребления в течение суток моделирование осуществлялось для трех случаев наполнения воды в трубопроводе: 0,3 (минимальное), 0,5 (расчетное) и 0,7 (максимальное) [21].

В таблице 1 представлены некоторые результаты автоматизированного расчета для керамического трубопровода. По полученным данным проверялась достаточность принятого воздухообмена для удаления из подсводного пространства трубопровода вредных для здоровья газов и выноса избыточной влаги [22]. Расчет произведен с учетом нейтрализации выделяемого сероводорода в количестве 32·10⁻⁵ мг/с до его предельно допустимого значения в атмосферном воздухе 0,008 мг/м³ и воздухообменом 0,04 м³/с.

Таблица 1

Результаты автоматизированного расчета при различных наполнениях h/d для керамического трубопровода

Наименование расчетного показателя	h/d = 0,3	h/d = 0,5	h/d = 0,7
Скорость течения сточной воды в трубопроводе, м/с	0,678	0,786	0,8496
Скорость воздуха в подсводном пространстве трубопровода в условиях стоячей воды, м/с	0,436	0,629	1,1273
Суммарная депрессия воздушной среды с учетом преодоления атмосферного давления, МПа, (м вод ст)	0,1008 (10,287)	0,1017 (10,378)	0,1069 (10,903)
Скорость воздуха в подсводном пространстве трубопровода с учетом увлечения его течением воды, м/с	0,807	1,007	1,412
Объем воздуха в подсводном пространстве трубы, м ³	45,82	31,78	17,74
Общая масса поступивших в подсводное пространство трубопровода газообразных веществ с зеркала воды, мг	192,45	133,48	74,52
Продолжительность удаления газообразных веществ из подсводного пространства трубопровода при принятом воздухообмене в условиях стоячей воды, с (ч)	1145,5 (0,3)	794,5 (0,2)	443,5 (0,1)
Реальное время удаления влаги при изменении скорости воздушного потока с учетом увлечения его течением воды, с (ч)	619,86 (0,1722)	496,57 (0,1379)	354,22 (0,0984)

Интерпретация представленных в таблице 1 расчетных данных при различных значениях наполнений (от 0,3 до 0,7) может быть сведена к следующему:

- росту скорости воздуха в подсводном пространстве с учетом увлечения его течением воды на 42,1 %;
- уменьшению объема подсводного пространства в трубопроводе на 61,2 %;

- снижению времени удаления сероводорода из подсводного пространства трубопровода путем его вентилирования на 66,6 %;
- уменьшению времени удаления влаги на 42,1 %.

Результаты автоматизированного расчета при моделировании работы полиэтиленового трубопровода по сравнению с керамическим отличаются лишь по трем показателям, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты автоматизированного расчета при различных наполнениях h/d для полиэтиленового трубопровода

Наименование расчетного показателя	$h/d = 0,3$	$h/d = 0,5$	$h/d = 0,7$
Скорость течения сточной воды в трубопроводе, м/с	1,085	1,256	1,359
Скорость воздуха в подсводном пространстве трубопровода с учетом увлечения его течением воды, м/с	1,17	1,406	1,766
Реальное время удаления влаги при изменении скорости воздушного потока с учетом увлечения его течением воды, с, (ч)	427,41 (0,1187)	355,54 (0,0928)	283,14 (0,0787)

Анализируя представленные в таблице 2 расчетные данные при различных значениях наполнений (от 0,3 до 0,7), можно констатировать следующее: увеличение наполнения приводит к росту скорости воздуха в подсводном пространстве трубопровода с учетом увлечения его течением воды на 50,9 % и уменьшению времени удаления влаги на 33,7 %.

Сопоставляя результаты расчетных значений скоростей воздуха в подсводном пространстве таблиц 1 и 2, можно отметить их рост при использовании полимерного трубопровода в среднем на 39,6 %. При этом время удаления влаги снижается с 42,1 до 37,7 %, а продолжительность удаления сероводорода из подсводного пространства трубопровода при принятом воздухообмене не изменяется.

Эти обстоятельства свидетельствуют о том, что при некотором значении наполнения можно добиться оптимальной работы вентиляционной системы, т. е. практического равенства (близости значений) времен для удаления влаги и сероводорода.

На рисунке 2 представлены графические зависимости, подтверждающие высказанное положение.

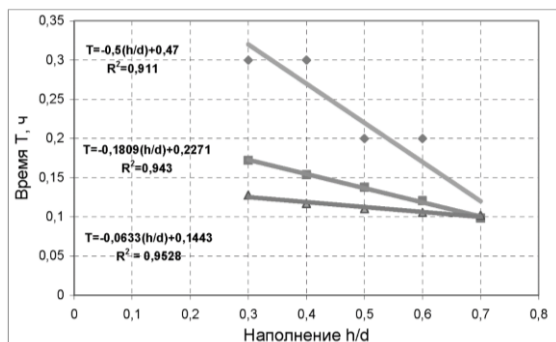


Рис. 2. Графики зависимости времени удаления сероводорода для керамического и полиэтиленового трубопроводов (верхняя кривая) и влаги при принятом воздухообмене для керамического (средняя кривая) и полиэтиленового (нижняя кривая) трубопроводов

На основе анализа графических зависимостей можно констатировать, что при величинах наполнения $h/d = 0,7$ для полиэтиленового и керамического трубопроводов значения времен для удаления влаги практически совпадают. При этом расчетные значения по предложенным формулам показывают, что одновременное удаление сероводорода и влаги для полиэтиленового и керамического трубопроводов произойдет при наполнении $h/d \approx 0,8$.

Выводы

1. При проектировании, строительстве и реконструкции самотечных трубопроводов в условиях интенсивного выделения дурнопахнущих газов особое внимание должно придаваться совершенствованию (оптимизации) водно-воздушного режима канализационных сетей.

2. Перспективным и оперативным решением задачи по эффективной нейтрализации вредных газов с доведением их концентраций до предельно допустимых значений, а также избыточной влаги в подсводном пространстве трубопроводов является интенсивная вентиляция трубопроводов.

3. Базовыми параметрами при моделировании водно-воздушного режима работы безнапорного трубопровода из различных материалов принимаются значения воздухообмена, а также продолжительность удаления дурнопахнущих веществ и влаги из подсводного пространства трубопроводных сетей.

4. Использование автоматизированного комплекса при проектировании систем вентиляции позволяет оперативно корректировать величины воздухообмена в зависимости от технических обстоятельств, материалов изготовления трубопроводных сетей и способов их реновации.

Список литературы

1. Храменков С.В., Время управлять водой. //М.: Московское издательство учебников и картолитогрфии, (2012), 280 с.

2. Примин О.Г., Зоткин С.П., Орлов В.А. Оценка надежности и планирования восстановления водопроводных и водоотводящих трубопроводов. // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ РФ № 2018617532 (2018).
3. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. Устройство для анализа надежности трубопроводов городской водоотводящей сети. // Патент на полезную модель РФ № 31137 (2008).
4. Хургин Р.Е., Орлов В.А., Зоткин С.П. Программа расчета гидравлических параметров безнапорных труб и защитных покрытий. // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ РФ № 2013615381 (2013).
5. Kuliczkowski A., Kuliczowska E., Zwierzchowska A. Technologie beswykopowe w inzynierii srodowiska //Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. (2010), 735 p.
6. Ariaratnam S.T., Sihaluddin S. Comparison of Emitted Emissions between Trenchless Pipe Replacement and Open Cut Utility Construction. //Journal of Green Building, (2009), Vol. 4, No.2, College Publishing, pp. 126-140.
7. Rabmer-Koller U. No-dig technologies – innovative solution for efficient and fast pipe rehabilitation. // 29 NO-DIG International Conference and Exhibition, NO-DIG Berlin (2011), Paper 2C-1, pp. 1-10.
8. Орлов В.А., Зоткин С.П., Сторожев А.П., Герасимов В.А., Мельник О.В. Моделирование водно-воздушного режима работы безнапорных водоотводящих сетей. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614973. (2020).
9. Kyoohong P. Mitigation strategies of hydrogen sulphide emission in sewer networks: a review // International Biodeterioration & Biodegradation. (2014). Vol. 95. pp. 251-261.
10. Kuliczkowski A. Rury kanalizacyjne. //Wydawnictwo Politechniki Swietokrzyskiej, (2004). p. 507.
11. Vasiliev V.M., Malkov A.V. Mesta obrazovaniya agressivnykh gazov v kanalizatsionnoy seti (Places of formation of aggressive gases in the sewer network) // Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika (Water supply and sanitary equipment). (2017). No1. p. 66-74.
12. Vasilyev V., Stolbikhin Y. Inspecting and monitoring the technical condition of sewage collectors // Trans Tech Publications, Switzerland, Applied Mechanics and Materials. (2015). Vols. 725-726. p. 1319-1324.
13. Малков А.В. Расчет требуемой кратности газообмена в подводящем пространстве канализационной сети // Вестник гражданских инженеров. (2017). № 2 (61). с. 140-144.
14. Kofman V.YA. Serovodorod i metan v kanalizatsionnykh setyakh (Hydrogen sulfide and methane in sewer networks) //Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika (Water supply and sanitary equipment). (2012). № 11. p. 72-78.
15. Примин О.Г., Пупырев Е.И. Методы повышения экологической безопасности трубопроводов канализационных сетей // Экология и промышленность в России. (2013). №3. с.13-17.
16. Parker W.J., Ryan H.A. Tracer Study of Headspace Ventilation in a Collector Sewer // Journal of the Air & Waste Management Association.(2011). № 12.p. 581-592.
17. Федоров С.В., Васильев В.М., Телятников А.М. Разработка принципиальной модели канализационной сети //Журнал Вестник гражданских инженеров. (2018). № 2 (67). с. 168-174.
18. Васильев В.М., Панкова Г.А., Столбихин Ю.В. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии // Водоснабжение и санитарная техника. (2013). №9. с. 55 – 61.
19. Харькин В.А. Замена трубопроводов из традиционных материалов на пластмассовые. Технологические схемы и структура процесса. // Журнал РОБТ.(2002). № 1.с. 20-23.
20. ГОСТ 32673-2014. Правила установления нормативов и контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу.
21. Joyce J. Hunniford Ch., Plummer A. Implementing Vapor Phase Odor Control on Large Diameter Interceptor Systems // Biosolids and Odor and Corrosion, Conference & Expo. (2013). pp. 1-31.
22. Юшин В.В., Попов В.М., Кукин П.П. // Техника и технология защиты воздушной среды. // М.: Высшая школа, (2005).391 с.

© В. А. Орлов, С. П. Зоткин

Ссылка для цитирования:

В. А. Орлов, С. П. Зоткин. Моделирование параметров водно-воздушного режима работы самотечных канализационных сетей в условиях их реконструкции // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАOU АО ВО «АГАСУ», 2020. № 3 (33). С. 5–9.

УДК 614.7: 546.13.001.6

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ОРОСИТЕЛЬНО-ОБВОДНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

А. В. Лещенко, А. В. Федорян, О. В. Сорокина, Е. В. Комлев

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова Донской ГАУ, г. Новочеркасск, Россия

Проблема воды, как возобновляемого природного ресурса, в системном рассмотрении определяется, с одной стороны, процессами глобального влагооборота в пространстве и времени биосферы Земли, а с другой – технологиями её использования в различных отраслях хозяйственной деятельности, в том числе в сельскохозяйственном производстве на оросительно-обводнительных системах. Использование водных ресурсов относится к особому виду хозяйственной деятельности и определяется жизненной необходимостью в существовании человека, в растительном и животном мире и практически во всех технологических процессах сельскохозяйственного и промышленного производства. Сельскохозяйственное производство на оросительно-обводнительных системах является одним из наиболее крупных водопотребителей, что существенно обуславливает необходимость совершенствования применяемых в настоящее время технологий использования водных ресурсов на действующих и создаваемых новых оросительно-обводнительных систем. Исходя из существующих на современном этапе развития «Общества» трех наиболее важных глобальных проблем – **энергии, воды, пищи**, определяющих собой обобщенную **«главенствующую проблему»**, без решения которой невозможно решить ни одной из семи важных проблем глобального характера. Системная роль **«главенствующей проблемы»** в технологии использования водных ресурсов на оросительно-обводнительных системах определяется процессами взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения проблем **энергии, воды, пищи** между собой в использовании внутрибассейнового водного ресурсного потенциала, который формируется потоками солнечной энергии, поступающими из космоса. Поэтому в создании методологии совершенствования применяемых и создаваемых новых технологий использования водных ресурсов на оросительно-обводнительных системах необходимо исходить из имеющегося внутрисистемного природно-технологического ресурсного потенциала, который определяется обобщенной **«главенствующей проблемой»** – **энергии, воды, пищи**. На основе