

УДК 628.259

doi: doi:10.23968/2305-3488.2017.19.1.31-43

Ю. В. Столбихин, С. В. Федоров

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРЕПАДНОЙ ШАХТЫ  
НА КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ**

UDC 628.259

doi:10.23968/2305-3488.2017.19.1.31-43

**Stolbikhin Iu. V., Fedorov S. V.****THE SIMULATION OF AN OPERATING OF THE DROP SHAFT  
AT THE SEWERAGE NETWORK****Аннотация**

**Введение:** за рубежом проблема снижения интенсивности микробиологической коррозии сооружений канализационных сетей отчасти решается применением стояков с винтообразным движением потока. Однако использование подобных конструкций в канализации г. Санкт-Петербурга исключается в силу конструктивных недостатков, которые могут привести к закупоркам стояка и авариям на сети. В России применяется конструкция стояка из чугунных труб в бетонном футляре, который является очагом для начала процесса разрушения. Перспективным способом для решения этой проблемы может оказаться использование в качестве стояков перепадов полиэтиленовых труб. Для обоснования возможности их применения на столь ответственных сооружениях необходима оценка прочностных характеристик полиэтиленовых трубопроводов в зависимости от расхода жидкости. **Цель исследования:** разработка мультидисциплинарной модели функционирования реального стояка перепада, позволяющей рассчитать гидродинамический режим и произвести оценку воз-

**Abstract**

**Introduction:** Abroad the problem of reduction of the intensity of microbiological corrosion of the sewage networks is partly solved by the use of stand pipes with vortex flow. However, the use of such structures in the sewerage system of St. Petersburg is impossible due to design disadvantages, which can lead to plugging of the stand pipe and accidents on the network. In Russia the construction of the stand pipe made of cast iron and enclosed in concrete case is often used, and this stand pipe is the center of the deterioration process. The use of polyethylene pipes as drop stand pipes can be a perspective way for solution of the problem. To substantiate the possibility of their use in such crucial facilities, it is necessary to evaluate the strength characteristics of polyethylene pipelines, depending on the flow rate of the liquid. **Purpose:** Development of a multidisciplinary model of functioning of a real drop stand pipe that allows to calculate the hydrodynamic regime and to assess the effect of loads from the falling stream. **Results:** As the result of simulation the dependences of the flow velocity at the outlet of the stand pipe and the pressure at the inlet funnel and at the



действия нагрузок от падающего потока.

**Результаты:** в результате моделирования получены зависимости скорости потока на выходе из стояка, а также давления во входной воронке и в водобойном колодце от расхода воды. Для оценки прочностных характеристик стояка получены зависимости эквивалентных напряжений от расхода жидкости. Показан факт подверженности полиэтиленовой трубы деформациям в результате движения потока. Произведено сравнение величины эквивалентных напряжений с допустимыми напряжениями для полиэтиленовых труб, и подтверждена возможность применения полиэтиленовых трубопроводов с определенной толщиной стенки для условий самотечного свободно-падающего потока. **Практическая значимость:** использование труб из полиэтилена позволяет исключить возможность разрушения стояка и замедлить процесс коррозии перепадной шахты.

**Ключевые слова:** шахта, стояк, перепад, перепадная шахта, трубчатый перепад, моделирование канализационных сооружений, гидродинамическое воздействие.

#### Наши авторы

##### **Столбихин Юрий Вячеславович**

Канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры водопользования и экологии Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4  
Тел.: +7-952-214-51-12

Эл. почта: Stolbikhin@bk.ru

##### **Федоров Святослав Викторович**

Канд. техн. наук, доцент, кафедра водопользования и экологии Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Тел.: +7-963-318-27-41

Эл. почта: Svyatoslavfedorov@mail.ru

stilling basin on the water flow rate are given. To assess the strength characteristics of the stand pipe the dependences of the equivalent stress on the sewage flow rate are obtained. The fact of polyethylene stand pipe exposure to deformation resulting from the movement of the stream is proved. A comparison of the values of the equivalent stresses with allowable stresses for polyethylene pipes is carried out. The possibility of using polyethylene pipes with specified wall thickness as the stand pipes in drop shafts is vindicated. **Practical relevance:** The use of polyethylene pipes allows to exclude the possibility of destruction of the stand pipe and to slow the corrosion process in the drop shaft.

**Keywords:** Shaft, Stand Pipe, Drop, Drop Shaft, Drop Pipe, Simulation of Sewerage Facilities, Hydrodynamic Impact.

#### Authors

##### **Stolbikhin Iurii Vyacheslavovich**

PhD, Tech., Senior Lecturer, Department of Water use and Ecology, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4, Saint- Petersburg, 190005, Russian Federation  
Tel.: +7-952-214-51-12  
E-mail: Stolbikhin@bk.ru

##### **Fedorov Sviatoslav Viktorovich**

PhD, Tech., Associate Professor, Department of Water use and Ecology, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4, Saint- Petersburg, 190005, Russian Federation  
Tel.: +7-963-318-27-41

E-mail: Svyatoslavfedorov@mail.ru

## Введение

Проблема разрушения канализационных перепадных шахт и сетей, актуальна для всех крупных городов мира, и особенно для Санкт-Петербурга, который обладает системой глубоко заложенных тоннельных коллекторов с диаметром от 2 до 5 м [1]. К основным факторам, вызывающим разрушение, можно отнести процессы микробиологической (газовой) коррозии, которые интенсифицируются в результате активного массообмена на стояках перепадов, а также процессы динамического воздействия падающего потока с большой высоты и переменным расходом [2]. На стояках перепадах, в результате падения сточной воды, активно протекает процесс газообразования, который в свою очередь приводит к интенсификации коррозии железобетонных конструкций.

В зарубежной и отечественной практике существует множество методик оценки развития процесса коррозии, в том числе для условий функционирования стояка [3 – 5]. Для борьбы с распространением вредных газов за счет снижения дегазации за рубежом предлагается применение стояков с винтообразным движением потока [6]. Данная конструкция включает в себя закручивающий аппарат (верхняя вихреобразующая конструкция), к которому подводится самотечный поток в верхнем бьефе, и вертикальный стояк, состоящий из двух труб, располагающихся одна в другой. Стояк обеспечивает спуск жидкости и отвод выделившихся газов в результате массообменного процесса «жидкость-газ». Также в конструкцию включен затопленный водобойный колодец, который позволяет свести к минимуму механическое воздействие падающей жидкости на лоток нижнего бьефа. Преимуществом данного решения является обеспечение циркуляции выделяющихся из потока газов в конструкции стояка. Однако данная конструкция имеет ряд недостатков, главным из которых является возможность закупорки межстоякового пространства крупным мусором. Другим недостатком конструкции выступает возможность заиливания затопленного водобойного колодца и сложность его очистки. Все это не позволяет применять данную конструкцию для канализационных шахт в г. Санкт-Петербурге.

В отечественной практике наиболее часто встречается конструкция вертикального стояка из чугунных труб в бетонном футляре. Это простая конструкция, лишенная вышеуказанных недостатков зарубежного аналога. Однако в результате функционирования подобная конструкция в первую очередь подвергается заселению микробиологической средой и в ходе последующего разрушения становится очагом для развития процесса коррозии на всех конструкциях шахты (стены, перекрытия). Поэтому в соответствии с визуальной оценкой состояния шахт наблюдается интенсивное разрушение. На основании анализа научной, технической и нормативной литературы можно заключить, что вопрос применения на перепадных шахтах полиэтиленовых трубопроводов освещен не достаточно. Для обоснования возможности применения полимерных труб на столь ответственных сооружениях необходима оценка их прочностных характеристик трубопроводов в зависимости от расхода жидкости.

Поэтому перспективным представляется использование стояков из полимерных материалов, которые являются химически стойкими и прочными. Для того



чтобы применять их на практике, необходимо определять уязвимые места, что позволит в дальнейшем предусмотреть в случае необходимости на трубной конструкции местное усиление (ребра жесткости), а также определять требуемую в том или ином случае толщину стенки трубы. Для решения этой задачи необходимо разрабатывать комплексные модели, позволяющие учесть геометрические формы транспортирующего трубопровода и смоделировать гидравлический режим в заданных граничных условиях. Использование рассматриваемой модели также позволит спрогнозировать режимы на уже существующих сооружениях и предупредить возможные процессы разрушения, тем самым сэкономят бюджетные средства на ремонт дорогостоящих конструкций.

### **Компьютерное моделирование деформации канализационного стояка**

На кафедре водопользования и экологии Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, было осуществлено исследование функционирования канализационной Шахты №123, путем визуального обследования конструкций сооружения и измерения концентрации сероводорода в период функционирования (Рис. 1). Результаты исследования показали, что шахта подвержена интенсивному разрушению [7]. При падении жидкости в области водобойного колодца шахты происходит процесс интенсивной дегазации. За счет дробления потока воздушно-жидкостное пространство шахты сильно увлажняется, и создается питательная среда для дальнейшего развития процессов микробиологической коррозии. Кроме негативного воздействия на конструкции сооружения, подобные процессы ухудшают условия эксплуатации сооружения человеком.

В процессе обследования данной шахты были выявлены основные параметры, определяющие ее работу: диаметр стояка, высота перепада, ориентировочный расход сточных вод. В дальнейшем, все геометрические особенности шахты были учтены при построении модели.

Модель перепадной шахты создана в среде программного комплекса Ansys и является мультимедицинарной, т. е. состоящей из двух отдельных моделей, направленных соответственно на изучение гидравлического режима (модуль CFX) и прочностного режима (модуль Static Structural). При этом данные моделирования гидравлического режима (поле давлений) в дальнейшем переносятся в качестве нагрузки на модель оболочки стояка, что позволяет рассчитать возможные деформации оболочки. Эффективность такой методики ранее была подтверждена авторами в процессе лабораторных опытов на похожих гидравлических моделях [8, 9].

*На первом этапе* работы в приложении Ansys Design Modeller была создана геометрическая модель стояка (рис. 2, а). Для этого была создана геометрическая модель пространства в виде тела с формой параллелепипеда. Далее в этом теле было вырезано пространство под конструкцию стояка таким образом, что стенки стояка моделировались пустотными областями. Для улучшения сходимости расчета были приняты размеры расчетной области (домена), исключая возможность попадания завихрений потока на грань домена, где задается граничное условие входа или выхода, в соответствии с рекомендациями [10].

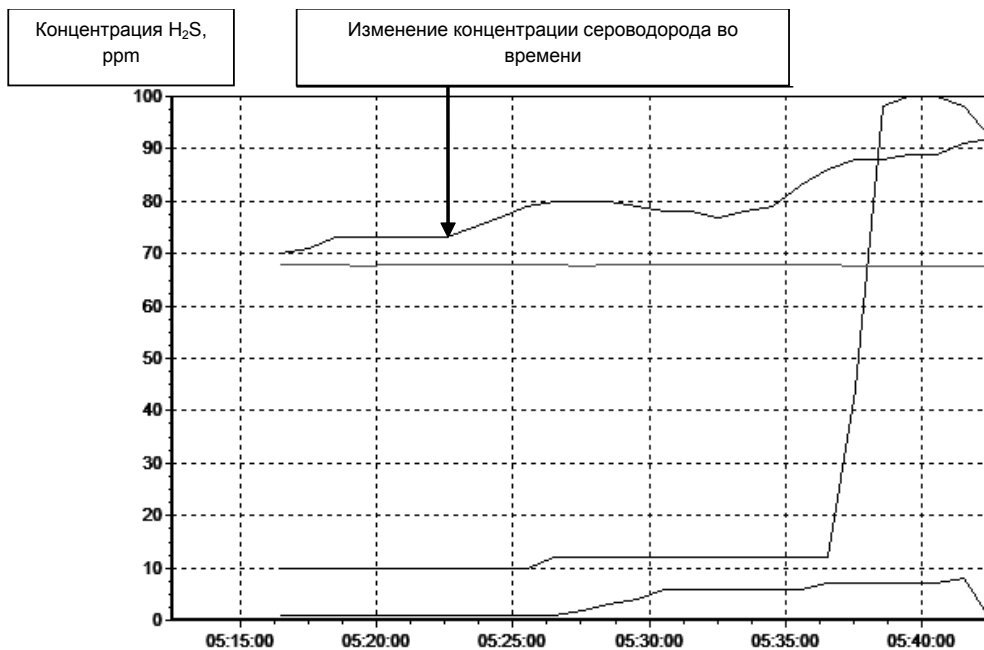
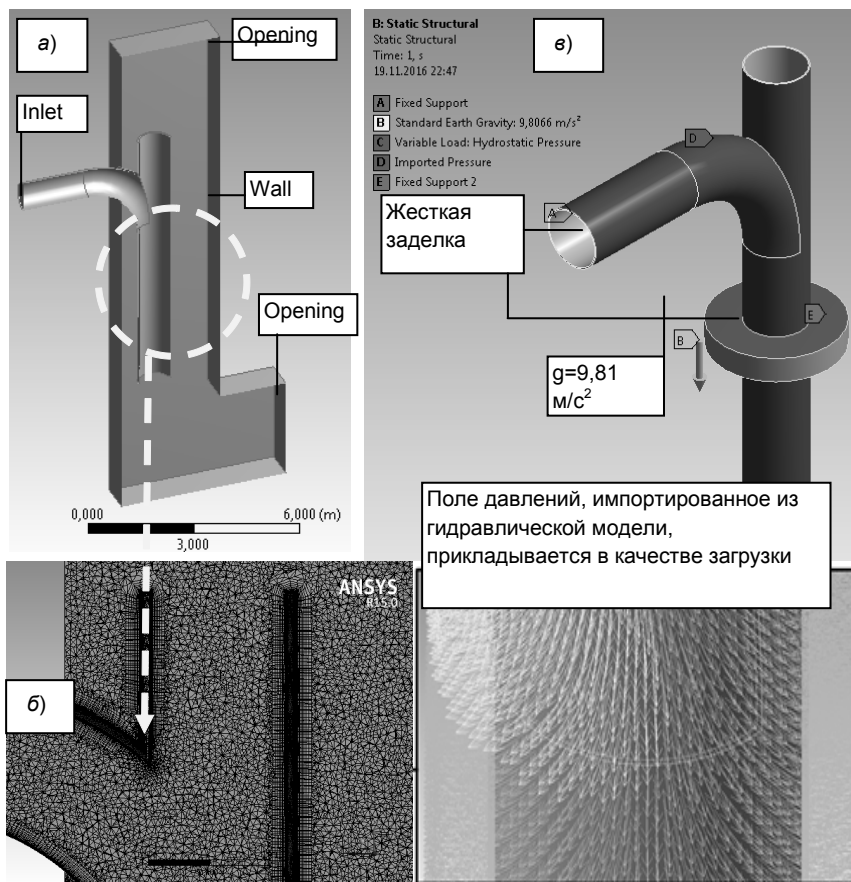


Рис. 1. График изменения концентрации сероводорода в пространстве Шахты №123

Fig. 1. The graph of the change in the concentration of hydrogen sulphide in the space of the Shaft No. 123

Размеры расчетной области приняты следующими. В соответствии с конструкцией существующей шахты был принят диаметр стояка 900 мм, высота стояка перепада – 6,5 м, высота от обреза стояка до низа водобойного колодца (высота свободного падения жидкости) – 5 м, общий размер домена: высота - 15 м, длина - 3 м, ширина - 2 м.

Далее расчетная область с помощью пакета Meshing разбивалась тетраэдрической сеткой (рис. 2, б). Размер ячейки сетки составил 50 мм. Для моделирования приграничного слоя (между жидкостью и стенкой стояка) использовалась опция Inflation, которая улучшает сетку для выбранной поверхности. Кроме приграничного слоя, поток слонится в воздушной среде на выходе из трубы в водобойный колодец в виде кольца с небольшой толщиной слоя, поэтому в месте непосредственного выхода до дна колодца необходимо уточнить сетку, размер ячейки которой необходимо задать сопоставимым с физическими наблюдениями. В нашем случае это значение принято равным 0,01 м. Уточнение данного места в расчетной области было выполнено путем устройства дополнительного тела, разбитого сеткой при помощи функции body size в соответствии с рекомендациями [11].



**Рис. 2.** Мультидисциплинарная модель Шахта №123: а) — расчетная область модели Ansys CFX, б) — генерация сетки в расчетной области, в) — модель в Ansys Static structural

**Fig. 2.** The multidisciplinary model of the Shaft No 123: a) —domain of the model in Ansys CFX, b) —generated mesh for the domain, c) — the model in Ansys Static structural

В качестве граничных условий были приняты следующие параметры: - нормальная средняя скорость входящего потока на входе в домен (сечение Inlet) – 3,0 м/с. Условие по выходу потока из домена задавалось с помощью параметра Opening, в котором задавалось атмосферное давление (100 000 Па). Кроме этого, условие Opening использовалось для верхней поверхности домена для беспрепятственного входа и выхода воздуха из системы.

Далее была произведена настройка решателя модуля CFX, в котором был назначен стационарный тип задачи. Количество итераций для расчета было выбрано 500. Это количество обеспечивает сходимость решения [10].

Одним из условий, определяющих корректность полученных результатов, является оценка количества поступающей и выходящей жидкости из расчетной области, что и было достигнуто.

На втором этапе работы заново создается геометрическая модель стояка шахты в инструменте Ansys Design Modeller. Главным условием при этом является пространственное и геометрическое совпадение выреза стояка CFX и сплошного тела в Static Structural. Пространство шахты, окружающее стояк, в данном случае не должно воссоздаваться.

Всеим элементам модели назначается определенный материал (сталь, чугун, полиэтилен и т. д., параметры которого могут быть заданы вручную, или выбраны из существующей библиотеки программного пакета.

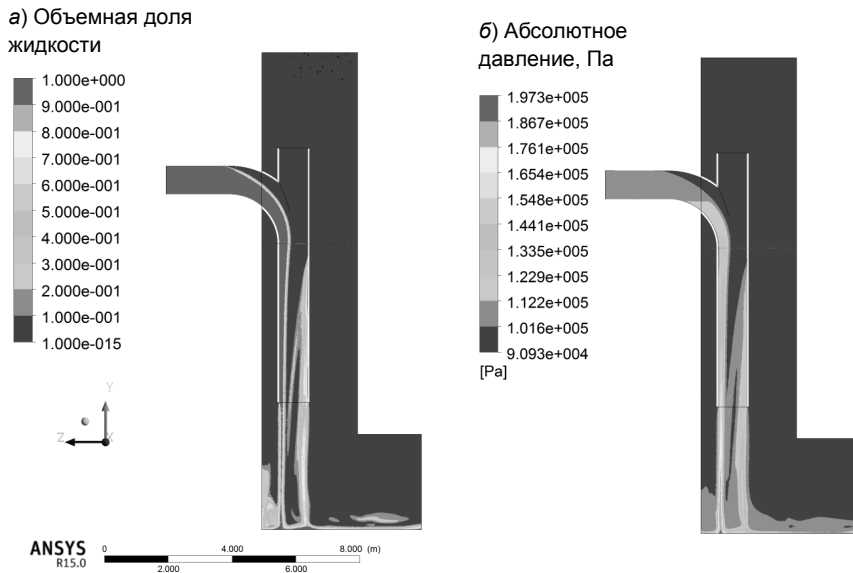
В качестве материала стояка был принят полиэтилен низкого давления, толщина стенки стояка была принята 20 мм. В геометрическую модель также включено перекрытие, к которому жестко закрепляется стояк. Оно задано в виде железобетонного кольца, внутренний диаметр которого соответствует наружному диаметру стояка. Далее расчетная область разбивается тетраэдрической сеткой при помощи инструмента Meshing.

После этого функциональная зависимость давления на стенку стояка переносится в пакет Static Structural, где прикладывается к механической модели стояка (рис. 2, в) по его внутренней поверхности. При задании нагрузки на тело стояка, помимо поля давления, задаются условия по закреплению стояка. В данном случае они принимаются из реальной конструкции в местах, где стояк прикреплен к перекрытиям и стенкам шахты. После этого производится расчет.

### **Анализ результатов моделирования**

На рис. 3 показаны результаты расчета по объемной доле жидкости (а) и распределение давления по высоте стояка (б). В данном случае в домен поступает расход жидкости 1,9 м<sup>3</sup>/с. В поперечном сечении стояка наблюдается кольцевое движение воды практически при всех задаваемых расходах, которая слоится по стенке трубы с винтообразной траекторией частиц жидкости. В области водобойного колодца наблюдается дробление потока. При падении жидкости в стояке наблюдается увлечение воздушных масс в полость стояка и дальнейшее перемешивание вплоть до водобойного колодца. Полученный характер движения воды и воздуха соответствует ожиданиям, которые наблюдались на экспериментальных установках [7, 12, 13]. Максимальное давление наблюдается в водобойном колодце (под воздействием падающей жидкости). Минимальное значение давления установилось в области приемной воронки, что объясняется закономерностью работы водосливов, и вызвано образованием области пониженного давления в месте отрыва струи на повороте у входной воронки.

На рис. 4, а представлена зависимость скорости воды на выходе из стояка от поступающего в него расхода. С увеличением расхода скорость воды на выходе неизменно возрастает, что отражает фундаментальный смысл – при постоянстве площади живого сечения стояка при увеличении расхода возрастает скорость. По-



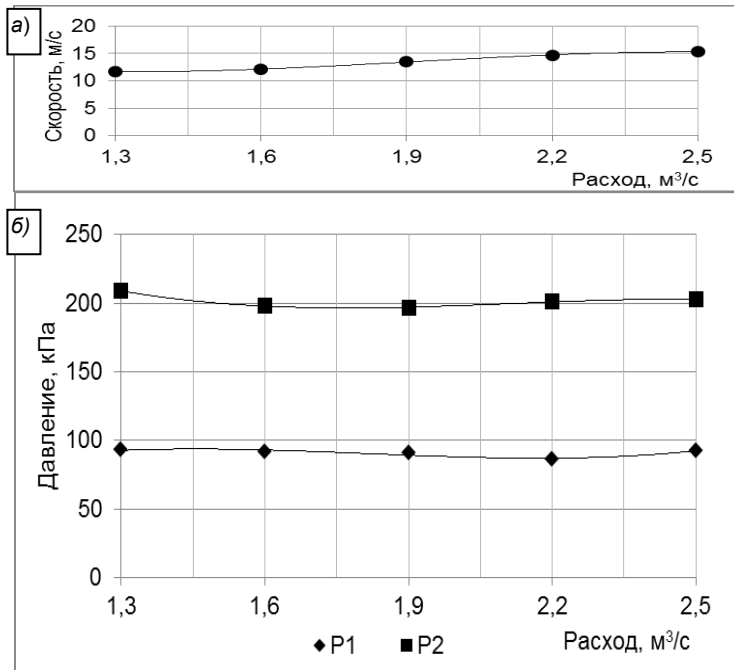
**Рис. 3.** Визуализация результатов моделирования: а) — объемная доля воды и воздуха в стояке; б) — распределение давления по внутренней поверхности стояке

**Fig. 3.** The visualization of the modeling results: а) — the water and air volume fraction at the stand pipe; б) — the total pressure distribution at the inner surface of the stand pipe

добный результат соответствует ожиданиям.

На рис. 4, б представлены зависимости абсолютного давления от расхода воды: изменение давления во входной воронке ( $P1$ ), и максимальное давление в системе – в точке падения жидкости и ее соударения в водобойном колодце ( $P2$ ).

Из графика на рис. 4, б видно, что с увеличением расхода воды до некоторого предельного расхода ( $Q = 2,2 \text{ м}^3/\text{с}$ ) происходит увеличение значения вакуума во входной воронке, что повышает способность стояка захватывать воздух. После наступления предельного расхода происходит переполнение поперечного сечения стояка водной массой, что ограничивает доступ воздушной массы в стояк и создает избыточное давление, которое в свою очередь, подавляет зону пониженного давления. Оценивая физическую правоту картины, можно отметить, что при дальнейшем увеличении расхода стояк начнет подтапливаться, и при переходе его работы в напорный режим, возможность подсоса воздуха будет исключена. Для сравнительно малого расхода воды ( $Q = 1,3 \text{ м}^3/\text{с}$ ) наблюдалось свободное падение жидкости без контакта потока со стенкой стояка (отсутствовало спиралевидное движение). Из-за иного характера движения жидкости значение давления ( $209\,000 \text{ Па}$ ) получилось выбивающимся из общей тенденции постепенного увеличения давления при увеличении расхода поступающей жидкости.



**Рис. 4.** Графики зависимостей следующих параметров работы стояка от расхода поступающей сточной жидкости  $Q$ : а) — скорость воды на выходе из стояка  $v$ , б) — давление во входной воронке ( $P1$ ) и давление в водобойном колодце ( $P2$ )

**Fig. 4.** Graphs of dependencies of the following stand pipe operation parameters on the flow rate of the incoming sewage  $Q$ : а) — water velocity at the outlet of the stand pipe, б) — pressure at the inlet funnel ( $P1$ ) and pressure at the energy dissipation basin ( $P2$ )

Для оценки процесса влияния потока жидкости на оболочку стояка в модели Static structural были получены поля распределения эквивалентных напряжений по конструкции стояка. С увеличением расхода наблюдается рост эквивалентных напряжений до момента снижения пропускной способности стояка.

На рис. 5 представлено три графика для разных толщин стенок полиэтиленовой трубы — 10 мм, 53,3 мм, 108,9 мм. Допускаемое напряжение для напорного полиэтилена данного типа (материал ПЭ100) 8 МПа. Как видно из графиков, лишь при значительной толщине стенки эквивалентные напряжения не превышают допустимых значений, что гарантирует механическую прочность трубы.

Анализируя в целом эти результаты, можно заметить, что центром максимальных деформаций является входная воронка, где возникает наибольшая величина вакуума. Сравнивая графики давления во входной воронке ( $P1$ ) на рис. 4, б и графики на рис. 5, показывающие величину эквивалентных напряжений, можно



отметить, что максимальное напряжение соответствует максимальной величине вакуума при величине расхода сточной жидкости  $2,2 \text{ м}^3/\text{с}$ , что соответствует физическому смыслу наблюдаемого процесса.

Значения деформации для толщины стенки  $108,9 \text{ мм}$  были зафиксированы в диапазоне значений  $2 - 3 \text{ мм}$ , что является незначительным. При меньшем значении толщины стенки величина деформации значительно увеличивается. При толщине стенки  $53,3 \text{ мм}$  деформация составляет уже  $11 - 12 \text{ мм}$ , а при толщине стенки  $10 \text{ мм}$  – максимальная деформация составляет  $120 - 130 \text{ мм}$ .

В соответствии с этим можно сделать вывод, что применение полиэтиленовых труб в подобных условиях возможно при проведении структурного анализа и подбора толщины стенки. В то же время авторы не видят препятствия в использовании подобных труб на столь ответственных сооружениях г. Санкт-Петербурга,

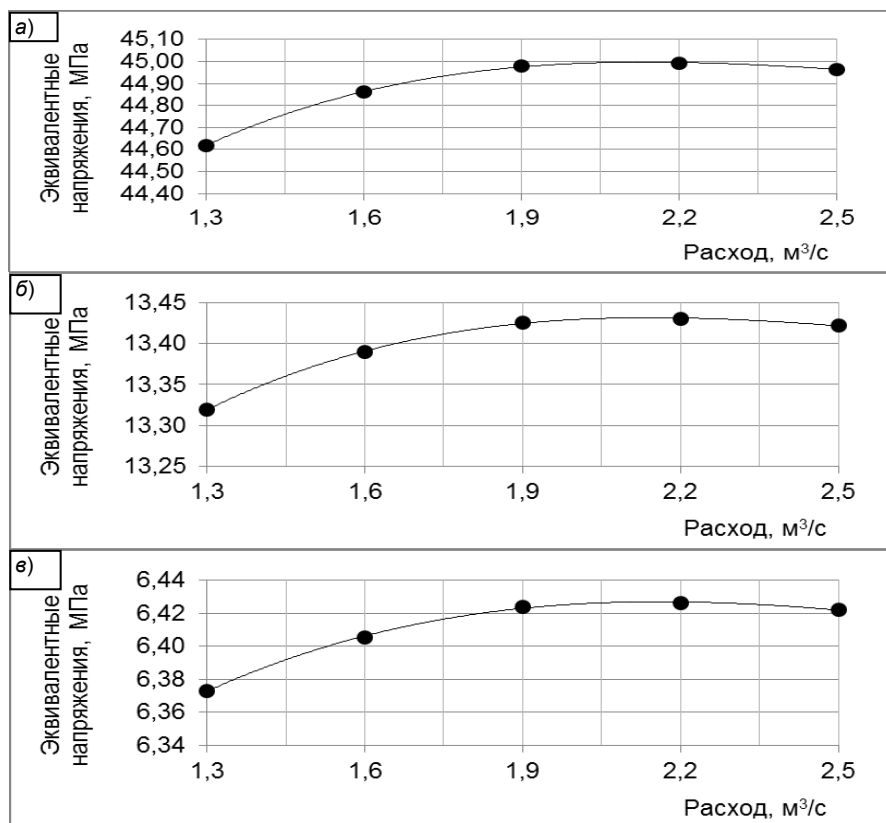


Рис. 5. Зависимость величины эквивалентных напряжений от расхода сточной жидкости при толщине стенки: а) 10 мм, б) 53,3 мм, в) 108,9 мм

Fig. 5. The dependence of equivalent stress on flow rate of the sewage when the wall thickness is: а) 10 mm, б) 53,3 mm, в) 108,9 mm

пропускающих большой расход воды в течение суток. Полиэтиленовые, в отличие от металлических труб, выигрывают в коррозионной стойкости, что является принципиально важным условием при присутствии агрессивных газов в составе атмосферы сооружений, а также высокой влажности.

Кроме того, результаты в тоже время показали присутствие смещения стояка. Если рассматривать задачу во времени, подобные смещения способствуют возникновению усилий в бетонном футляре, что приводит, в конечном счете к образованию микротрещин. Эти микротрещины заселяются микроорганизмами, создающими условия для протекания процесса коррозии. Их жизнедеятельность в дальнейшем приводит к интенсификации коррозии в шахте.

### **Заключение**

В результате проведенного исследования можно заключить, что применение полиэтиленовых труб для устройства стояков в крупных перепадных шахтах возможно, однако это требует проведения прочностного расчета конструкции, так как при определенных толщинах стенки эквивалентные напряжения в материале могут превышать допускаемые значения.

На основании анализа состояния конструкций шахт и проведенных модельных расчетов доказано, что в результате непрерывного функционирования стояка происходит смещение оболочки. Достаточная толщина стенки трубы исключает влияние на механическую прочность самой трубы, однако передаваемое усилие от падения жидкости оказывает воздействие на футляр и на места заделки. Первое время это не имеет визуального выражения, однако в дальнейшем образуются микротрещины в результате данного воздействия, которые становятся очагами микробиологической коррозии. Это приводит к интенсификации процессов разрушения как конструкций самой шахты, так и подсводного пространства подводящего и отводящего коллекторов.

Поэтому, на наш взгляд, эффективным будет применение и для подобных сооружений полиэтиленовых трубопроводов, которые обладают коррозионной стойкостью, и не уступают в механических характеристиках металлическим трубам, которые классически используются в подобных сооружениях.

Кроме этого, для исключения микротрещин в железобетонных конструкциях при эксплуатации стояка считаем целесообразным использование компенсационных элементов в местах жесткой заделки трубы, например гильз с резиновой прокладкой.

С целью местного усиления можно предложить использование в наиболее нагруженных местах конструкции труб с большей толщиной стенки, или приваривание ребер жесткости.

Все приведенные рекомендации применимы для стояка, работающего в безнапорном режиме. Варианты с режимами работы стояка, сопряженные с образованием воздушных пробок и поднятием уровня жидкости в стояке в результате противотока на данном участке канализационной сети (как следствие, возникновение избыточного давления в стояке) должны исследоваться отдельно.



## Литература

1. Айсаев, А. А. (1999), *Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга*. СПб.: Стройиздат СПб, 424 с
2. Розенталь, Н. К. (2011), «Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод», *Бетон и железобетон. Оборудование, материалы, технология*, № 1., С. 96–103.
3. Zhang, L. (2008), «Chemical and Biological Technologies for Hydrogen Sulphide Emission Control in Sewer Systems: A review», *Water Research*, no. 42, pp. 1–12.
4. Wells, P., Melchers, R. (2009), «Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers (Paper 54)», *Conference Proceedings: Corrosion and Prevention 2009: The Management of Infrastructure Deterioration*, pp. 15–18.
5. Hewayde, E., Nehdi, M. (2006), «Effect of Geopolymer Cement on Microstructure, Compressive Strength and Sulphuric Acid Resistance of Concrete», *Magazine of Concrete Research*, no 58 (5), pp. 321–331.
6. Weiss, G. (2010), «Hydraulic Model Tests on a Stormwater Vortex Drop Shaft: Verification of Special Conditions», *NOVATECH*, Session 2.5, pp. 1–8.
7. Столбихин, Ю. (2016), «Разработка методов предотвращения коррозии канализационных коллекторов и сооружений на основе совершенствования камер гашения напора», дис. канд. техн. наук, 05.23.04, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, РФ.
8. Столбихин, Ю. В. (2015), «Исследование процесса эжекции воздуха в камере гашения напора», *Вестник гражданских инженеров*, №3 (50), С. 202–210.
9. Лазев, А. В., Кудрявцев, А. В., Федоров, С. В. (2015). «Моделирование разделительной камеры с кольцевым водосливом». *Актуальные проблемы современного строительства. Материалы 68-й международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета*. СПб.: СПбГАСУ, 396 с.
10. (2009), ANSYS CFX - Solver Theory Guide [S.I.]: ANSYS, Inc., p. 261.
11. Хитрых, Д. П. (2014), «Рекомендации по использованию сеточного препроцессора ANSYS Meshing», *ANSYS Advantage. Русская редакция*, № 20., С. 34–43.
12. Васильев, В. (1996), «Повышение эффективности работы канализационных коллекторов и сооружений на них при совместном движении сточных вод и газов», дис. д-ра техн. наук, 05.23.04, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, РФ.
13. Алексеев, М. (1972), «Исследование перепадов на канализационной сети», дис. канд. техн. наук, 05.23.04, Ленинградский Ордена трудового Красного знамени инженерно-строительный институт, Ленинград, СССР.

## References

1. Aisaev, A. A. (1999), *Otvedenie i ochildka stochnykh vod Sankt-Peterburga* [Wastewater Disposal and Treatment in Saint Petersburg], Stroyizdat St. Petersburg. Saint Petersburg., p. 424 (in Russian).
2. Rozental, N. K. (2007), «Corrosion and Protection of Concrete and Reinforced Concrete Structures of Wastewater Treatment Plants», *Concrete and reinforced concrete*, no. 1, pp. 96–103 (in Russian).
3. Zhang, L. (2008), «Chemical and Biological Technologies for Hydrogen Sulphide Emission Control in Sewer Systems: A review», *Water Research*, no. 42, pp. 1–12.
4. Wells, P., Melchers, R. (2009), «Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers (Paper 54)», *Conference Proceedings: Corrosion and Prevention 2009: The Management of Infrastructure Deterioration*, pp. 15–18.
5. Hewayde, E., Nehdi, M. (2006), «Effect of Geopolymer Cement on Microstructure, Compressive Strength and Sulphuric Acid Resistance of Concrete», *Magazine of Concrete Research*, no 58 (5), pp. 321–331.
6. Weiss, G. (2010), «Hydraulic Model Tests on a Stormwater Vortex Drop Shaft: Verification of Special Conditions», *NOVATECH*, Session 2.5, pp. 1–8.
7. Stolbikhin, Iu. (2016), «Development of Methods for Preventing Corrosion of Sewerage Collectors and Structures on the Basis of Improving the Energy Dissipation Chambers», Abstract of PhD Thesis,

Water Supply, Sewerage, Construction Systems for Water Resources, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, RU.

8. Stolbikhin, Iu. V. (2015), «The Research of Ejection Process in Energy Dissipation Chamber», *Bulletin of Civil Engineers*, no 3 (50), pp. 202–210.
9. Lazev, A. V., Kudriavtsev, A. V., Fedorov, S. V. (2015). «Modelirovanie razdelitelnoi kamery s koltsevym vodoslivom» [Simulation of a Separation Chamber with a Ring Weir]. *Aktualnye problemy sovremennogo stroitelstva*. [Actual Problems of Modern Construction]. *Materialy 68-i mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov aspirantov i molodykh uchenykh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. [Materials of the 68th international scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering]. SPSUACE. St. Petersburg., p. 396 (in Russian).
10. (2009), ANSYS CFX - Solver Theory Guide [S.I.]: ANSYS, Inc., p. 261.
11. Khitrykh, D. P. (2014), «Recommendations on using Meshing Postprocessor «Ansys Meshing», *Ansys Advantage. Russian editorial office*, no 20, pp. 34–43.
12. Vasilev, V. (1996), «Increase of Efficiency of Sewerage Collectors and Structures on them in the Joint Movement of Waste Water and Gases», Abstract of D. Sc. Thesis, Water Supply, Sewerage, Construction Systems for Water Resources., Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE)., Saint-Petersburg, RU.
13. Alekseev, M. (1972), «Investigation of Differences on the Sewage Network», Abstract of PhD Thesis, Water Supply, Sewerage, Construction Systems for Water Resources., Leningrad Order of Labor Red Banner Engineering and Construction Institute., Leningrad, USSR.