

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

На правах рукописи

Столбихин Юрий Вячеславович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОРРОЗИИ
КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАМЕР ГАШЕНИЯ НАПОРА**

Специальность 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы
охраны водных ресурсов

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Васильев В.М.

Санкт-Петербург – 2016 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1 РАЗРУШЕНИЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И СООРУЖЕНИЙ НА НИХ	19
1.1 Причины разрушения канализационных коллекторов и сооружений на них...	19
1.2 Теория микробиологической коррозии.....	25
1.3 Исследование факторов, влияющих на процесс микробиологической коррозии в условиях действующих сооружений.....	33
1.3.1 Программа проведения экспериментальных исследований	33
1.3.2 Методика проведения экспериментальных исследований	36
1.3.2.1 Общие указания по проведению работ в опасных условиях подземных сооружений канализации.....	36
1.3.2.2 Проведение визуального осмотра состояния строительных конструкций	38
1.3.2.3 Анализ газовой среды	40
1.3.2.4 Проведение химического анализа сточной жидкости.....	44
1.3.2.5 Анализ температуры и влажности.....	45
1.3.2.6 Микробиологический анализ.....	45
1.3.3 Результаты комплексных экспериментальных исследований	46
1.3.3.1 Шахта №10.....	46
1.3.3.2 Шахта №8.....	51
1.3.3.3 Шахта №7.....	55
1.3.3.4 Шахта №1	57
1.3.3.5 Шахта №123	59
1.3.3.6 Шахта №122Б.....	63
1.3.3.7 Шахта №122А	68
1.3.3.8 Участок тоннеля между Ш. №123 – Ш.№122Б.....	71

1.3.3.9 Систематизация результатов исследования	72
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	77
ГЛАВА 2 МЕТОДЫ БОРЬБЫ С МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИЕЙ.....	79
2.1 Обзор известных и возможных методов борьбы с коррозией.....	79
2.2 Методы пассивной защиты. Исследование стойкости покрытий в условиях камеры гашения напора	84
2.2.1 Методика проведения исследования по методам пассивной защиты.....	85
2.2.2 Результаты исследования стойкости защитных покрытий и добавок в бетон	86
2.2.3 Применение конструкции из композитных материалов	89
2.3 Насыщение сточных вод кислородом воздуха	91
2.3.1 Методика расчета камеры гашения напора по насыщению сточной жидкости кислородом воздуха	92
2.3.2 Обоснование эффективности организации эжектирования воздуха в камере гашения напора	97
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	101
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАМЕР ГАШЕНИЯ НАПОРА	102
3.1 Существующие конструкции камер гашения напора и их анализ	102
3.1.1 Общая классификация приемно-разгрузочных камер	102
3.1.2 Конструкции камер гашения напора на канализационных сетях.....	109
3.2 Эффективные конструкции камер гашения напора на канализационных сетях	113
3.3 Физическое моделирование камеры гашения напора	117
3.4 Математическое моделирование камеры гашения напора	124
3.4.1 Разработка математических моделей камеры гашения напора в программном комплексе ANSYS CFX	124
3.4.2 Верификация разработанных математических моделей	127
3.4.3 Результаты математического моделирования конструкций камеры гашения напора	131

3.5 Методика расчета геометрических параметров камеры гашения напора.....	147
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	154
ГЛАВА 4 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ВЫБОРЕ МЕТОДА ЗАЩИТЫ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ	155
4.1 Комплекс «Камера гашения напора – газоочистная установка».....	155
4.2 Сравнение способов защиты канализационного коллектора от коррозии ..	157
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4	169
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	170
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	172
ПРИЛОЖЕНИЕ А	189
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	212
ПРИЛОЖЕНИЕ В	213
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	216
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	218
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	221
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	224
ПРИЛОЖЕНИЕ З.....	227

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- P – давление, при котором происходит массообменный процесс [мм.рт.ст.];
- B – ширина резервуара-гасителя [мм];
- b – ширина водосливного отверстия [м];
- $C_{\text{эж}}(\text{O}_2)$ – концентрация кислорода в атмосферном воздухе [мг/л];
- $C_{\text{вод}}(\text{O}_2)$ – концентрация кислорода в стоке на входе в КГН [мг/л];
- $C_{\text{вод}}(\text{H}_2\text{S})$ – концентрация сероводорода в стоке на входе в КГН [мг/л];
- $C_{\text{вод}2}(\text{O}_2)$; концентрация кислорода в сточной жидкости на выходе из КГН [мг/л];
- $C_{\text{вод}2}(\text{H}_2\text{S})$ – концентрация сероводорода в стоке на выходе из КГН [мг/л];
- d_0 – диаметр подводящего трубопровода [мм];
- d_1 – диаметр отводящего коллектора [мм];
- $d_{\text{эж}}$ – диаметр трубопровода-эжектора [мм];
- $D_{\text{г}}$ – коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воздухе при известных температуре и давлении [$\text{м}^2/\text{с}$];
- $D_{\text{ж}}$ – коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воде при известных температуре и давлении [$\text{м}^2/\text{с}$];
- E – коэффициент Генри для кислорода [мм.рт.ст.];
- F – площадь поверхности контакта фаз [м^2];
- $G_{\text{вод}}$ – массовый расход воды [кг/с];
- $G_{\text{эж}}$ – массовый расход воздуха [кг/с];
- H_0 – скоростной напор на водосливе [м];
- $H_{\text{в}}$ – напор на водосливе [м];
- h_0 – высота слоя неаэрируемой жидкости в резервуаре-гасителе, м;
- $h_{\text{г.ж}}$ – высота газожидкостного слоя в резервуаре-гасителе, м,
- K_y – коэффициент массопередачи при абсорбции кислорода в резервуаре-гасителе камеры гашения напора [$\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$];
- L – длина резервуара-гасителя [мм];
- l – длина лотка-гасителя [мм];

$l_{от}$ – дальность отлета струи [м];

$L_{ст}$ – длина стояка [мм];

M – количество кислорода, перенесенного из газовой фазы в жидкую, кг/с

m – удельный расход поглотителя при абсорбции (отношение массовых расходов);

m_0 – коэффициент расхода водослива;

$M_{ж}$ – молекулярная масса воды;

M_k – молекулярная масса кислорода;

P_V – вакуум в отводе [Па];

$P_{атм}$ – атмосферное давление [Па];

Q_B – расход воды через водослив, м³/с;

$Q_{вод}$ – расход воды, поступающий в камеру гашения напора, м³/с;

$R_{вх}$ – радиус входа в стояк [м];

S – толщина водосливной стенки [мм];

T – глубина воды в резервуаре-гасителе [мм];

T_2 – температура воздуха [К];

T_S – высота водосливной стенки [мм];

t – температура воды [°С];

U – плотность распределения жидкости, м³/м²с

x – концентрация растворенного кислорода в жидкой фазе [кг/м³];

\bar{X} – концентрация кислорода в жидкой фазе в начале массопереноса [кгО₂/кг воды];

\bar{X}_1 – концентрация кислорода в жидкой фазе в конце массопереноса [кгО₂/кг воды];

y – концентрация кислорода в воздухе [% (по массе)];

\bar{Y}_1 – концентрация кислорода в газовой фазе в начале массопереноса, [кгО₂/кг воздуха];

\bar{Y}_2 – концентрация кислорода в газовой фазе в конце массопереноса соответственно [кгО₂/кг воздуха];

\bar{Y}_x^* – равновесная концентрация кислорода в воздушной фазе в начальной точке соприкосновения фаз, равновесная известной концентрации кислорода в сточной жидкости [кмоль O_2 /кмоль воздуха];

\bar{Y}_{x1}^* – равновесная концентрация кислорода в воздушной фазе в конечной точке соприкосновения фаз, равновесная искомой концентрации кислорода в сточной жидкости [кмоль O_2 /кмоль воздуха];

z_1 – отметка уровня воды в резервуаре-гасителе

z_2 – отметка уровня воды в лотке-гасителе

α – угол подсоединения трубопровода-эжектора к отводу [град];

β_Γ – коэффициент массоотдачи в газовой фазе, выраженный в массовых единицах [кг/м²·с];

$\beta_{ж}$ – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в массовых единицах [кг/м²·с];

β_x – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе [м/с];

β_y – Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы [м/с];

ω_Γ – скорость газа в воздушной фазе [м/с];

Δ – заглубление стояка относительно водосливной стенки [мм].

$\Delta\bar{Y}_H$ – движущая сила процесса абсорбции в начале массопереноса;

$\Delta\bar{Y}_K$ – движущая сила процесса абсорбции в конце массопереноса;

ε – газонасыщение барботажного слоя резервуара-гасителя [доли ед.];

ε_6 – коэффициент бокового сжатия [доли ед.];

μ_Γ – динамическая вязкость газа [Па·с];

$\mu_{ж}$ – динамическая вязкость жидкости [Па·с];

ρ_Γ – плотность воздуха, кг/м³.

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости [кг/м³];

σ_Π – коэффициент подтопления водослива;

АСОМ – ацидофильные сероокисляющие микроорганизмы

НСОМ – нейтрофильные сероокисляющие микроорганизмы

КГН – камера гашения напора

СОБ – сероокисляющие бактерии

СРБ – сульфатредуцирующие бактерии

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность избранной темы. Аварии на канализационных коллекторах, происходящие по причине микробиологической (газовой) коррозии, представляют собой большую опасность как для народонаселения, так и для окружающей среды. Ущерб от разрушения железобетонных канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие коррозии в целом по миру исчисляется миллиардами евро в год. Проблемой коррозии железобетонных конструкций в сооружениях, транспортирующих сточные воды, ученые по всему миру занимаются, начиная с 40-х годов XX века. За это время шло формирование представления о процессе коррозии, предлагались и внедрялись на практике различные способы защиты. Несмотря на то, что общие положения теории микробиологической (газовой коррозии) могут считаться определенными, исследование факторов, ускоряющих или замедляющих процесс, по-прежнему остается более чем актуальной задачей. Каждое исследование, проведенное на действующем сооружении, приближает возможность точно прогнозировать и предотвращать обрушения канализационных сооружений.

Камеры гашения напора являются одними из эпицентров разрушения на канализационных сетях за счет сопряжения напорного и безнапорного потоков сточных вод. При этом они практически не рассмотрены в технической литературе. В настоящем диссертационном исследовании ставится задача создания камеры гашения напора, которая позволит не просто снижать негативный эффект от коррозии, но и бороться с ней и в конечном счете защитить коллектора и шахты на них от разрушения.

Использование предлагаемого комплекса «Камера гашения напора — газоочистная установка», размещаемого на конце подводящего напорного трубопровода может выступать в качестве альтернативного метода защиты коллекторов по отношению к традиционным — футеровка стеклопластиковыми трубопроводами или применение специальных составов или покрытий.

Настоящая диссертация является продолжением научной работы, посвященной канализационным тоннельным коллекторам и связанными с их работой сооружениям, начатой в ЛИСИ (ныне — СПбГАСУ) Н.Ф. Федоровым и Ю.Д. Шутовым.

Степень разработанности темы исследования. Процесс микробиологической (газовой) коррозии канализационных сооружений в отечественной науке широко рассматривается в трудах В.М. Васильева, Н.К. Розенталя, В.М. Латыпова. При этом д.т.н., проф. В.М. Васильев активно работает в г. Санкт-Петербурге и является инициатором внедрения многих конструктивных и технологических решений на канализационных коллекторах. Д.т.н., проф. Н.К. Розенталь заведует Сектором коррозии бетона в НИИЖБ в г. Москве. Д.т.н., проф. В.М. Латыпов работает в г. Уфе и занимается вопросами долговечности различных строительных конструкций, в том числе железобетонных. Вопросами защиты и оптимизации работы сетей водоотведения занимаются многие российские авторы, среди которых В.А. Орлов, Чупин В.Р., Чупин Р.В. и другие.

В Украине проблемой коррозии занимались Г.Я. Дрозд, А.И. Абрамович, Э.А. Ситницкая, В.А. Юрченко и др. авторы.

Основными учеными, представляющими другие страны, рассматривавшими в своих работах процесс коррозии являются: R. Pomeroy, J. Parkhurst, T. Mori, T. Nonaka, P.A. Wells, R. Melchers, A.H. Nielsen, J. Vollertsen, T. Hvitved-Jacobsen, L. Zhang, P. De Schryver, N. Boon, A.K. Parande, E. Hewayde, M. Nehdi, J. Monteny, E. Vincke и многие другие. Указанными авторами проводилось изучение процесса коррозии на основе полевых экспериментов, предлагались математические модели для прогнозирования скорости коррозии, рассматривались методы противодействия этому процессу.

Насыщение кислородом воздуха сточных вод как способ борьбы с коррозией рассматривался в работах В.М. Васильева, N. Tanaka.

Вопросы эжекции кислорода воздуха в стояках рассматривались В.М. Васильевым, М.И. Алексеевым, Д.С. Циклаури, Б.Г. Мишуковым, Е.М. Протасовским.

Приемно-разгрузочные камеры, в том числе и камеры гашения напора не были рассмотрены в научных работах, и представлены лишь в нескольких альбомах типовых проектов, упомянуты в учебной литературе.

Проведенный литературный обзор отражает недостаточную изученность факторов процесса коррозии, а также отсутствие научных работ в области конструкций приемно-разгрузочных камер, в том числе и камер гашения напора. В качестве рабочей гипотезы выдвигается получение эффекта снижения агрессивности среды, в которой функционирует камера гашения напора и коллектор после нее, за счет внесения изменений в конструкцию камеры.

Цель исследования заключается в разработке нового способа защиты канализационных коллекторов и сооружений на них от коррозии на основе изменений в конструкциях камер гашения напора.

Задачи исследования:

- создать комплексное описание процесса микробиологической (газовой) коррозии в соответствии с последними представлениями науки в данной области;
- провести полевые эксперименты на действующих сооружениях канализации и выявить основные закономерности в интенсивности процесса коррозии в зависимости от условий функционирования сооружения, а также подтвердить положения теории натурными наблюдениями. Уточнить методику определения аварийности канализационных сооружений;
- выполнить обзор методов борьбы с микробиологической коррозией, провести исследование наиболее часто используемых средств защиты от разрушения;
- произвести моделирование работы камеры гашения напора и выявить наиболее оптимальное сочетание гидравлических элементов в конструкции;
- предложить эффективную конструкцию камеры гашения напора и создать методику расчета ее основных параметров;
- экономически обосновать эффективность применения новых конструкций камер, сравнив с другими способами защиты от коррозии.

Объект исследования — процесс микробиологической (газовой) коррозии в канализационных коллекторах и сооружениях на них.

Предмет исследования — железобетонные канализационные коллекторы, шахты и камеры гашения напора.

Научная новизна исследования заключается в достижении следующих конкретных результатов:

1. Разработана и экспериментально обоснована новая схема процесса микробиологической коррозии с учетом особой роли грибов-микроспоров в отношении интенсификации этого процесса;

2. На основе натуральных экспериментов разработано дополнение к методике определения аварийности канализационных шахт на коллекторах в виде таблицы, позволяющей предсказать уровень коррозии в шахте на стадии ее проектирования за счет оценки ее конструктивных и технологических особенностей;

3. Доказана эффективность использования полимерсиликатного состава («Конусит КК-10») по сравнению с другими методами пассивной защиты от коррозии на основе эксперимента по контролю над разрушением образцов бетона, размещенных в условиях камеры гашения напора;

4. Предложен и обоснован новый способ борьбы с микробиологической коррозией – аэрация сточной жидкости за счет естественной эжекции воздуха в напорный трубопровод в камере гашения напора, и составлена методика расчета концентрации кислорода в сточной жидкости на выходе из камеры гашения напора;

5. Составлена классификация приемно-разгрузочных камер на основе способов подведения сточной жидкости и ее истечения в лоток-гаситель, включающая как существующие, так и разработанные новые конструкции камер;

6. Разработана новая конструкция камеры гашения напора, которая при использовании в комплексе с газоочистной станцией выступает новым альтернативным методом борьбы с коррозией, и установлены основные зависимости расхода эжектируемого воздуха от расхода поступающей жидкости при различных геометрических параметрах камеры;

7. Разработана методика расчета камеры гашения напора для инженеров, позволяющая осуществлять подбор ее геометрических параметров, обеспечивающих наилучшие условия с точки зрения борьбы с коррозией;

8. Обоснована экономическая эффективность использования комплекса «Камера гашения напора — газоочистная установка» на канализационных сетях по сравнению с другими методами предотвращения коррозии.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в составлении наиболее полного представления о механизме процесса коррозии и выделении конструктивных факторов, влияющих на этот процесс на основе натуральных экспериментов, в полученных зависимостях различных гидравлических параметров, описывающих функционирование камеры гашения напора на основе математического и физического моделирования.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в возможности использования разработанного экономически эффективного способа защиты канализационного коллектора на действующих и проектируемых канализационных сетях, основанного на совершенствовании конструкции камеры гашения напора. Полученные в работе результаты и рекомендации могут быть использованы при проектировании, строительстве (в т.ч. реконструкции) и эксплуатации камер гашения напора на канализационных коллекторах.

Методология и методы исследования. В работе использовался анализ литературных источников по микробиологической (газовой) коррозии канализационных коллекторов и сооружений на них, основные положения нормативной документации по защите железобетонных конструкций от коррозии, метод проведения экспериментов по замеру концентраций газов во времени в действующих сооружениях канализации, метод физического моделирования при помощи лабораторной установки, метод математического моделирования конструкций камер гашения напора при совместном движении воды и воздуха в программном комплексе ANSYS, оценка влияния конструкции камеры гашения напора на процесс насыщения кислородом воздуха сточной жидкости, метод

расчета капитальных и эксплуатационных затрат, определяющих конечную стоимость способов защиты от коррозии за различные периоды времени.

Положения, выносимые на защиту:

- новая схема процесса микробиологической коррозии с учетом особой роли грибов-микроспоров в отношении интенсификации этого процесса;
- дополнение к методике определения аварийности канализационных шахт на коллекторах в виде таблицы, позволяющей предсказать уровень коррозии в шахте на стадии ее проектирования за счет оценки ее конструктивных и технологических особенностей;
- эффективность использования полимерсиликатного состава («Конусит КК-10») по сравнению с другими методами пассивной защиты от коррозии на основе эксперимента по контролю над разрушением образцов бетона, размещенных в условиях камеры гашения напора;
- новый способ борьбы с микробиологической коррозией – аэрация сточной жидкости за счет естественной эжекции воздуха в напорный трубопровод в камере гашения напора, и составлена методика расчета концентрации кислорода в сточной жидкости на выходе из камеры гашения напора;
- составлена классификация приемно-разгрузочных камер на основе способов подведения сточной жидкости и ее истечения в лоток-гаситель, включающая как существующие, так и разработанные новые конструкции камер;
- разработана новая конструкция камеры гашения напора, которая при использовании в комплексе с газоочистной станцией выступает новым альтернативным методом борьбы с коррозией, и установлены основные зависимости расхода эжектируемого воздуха от расхода поступающей жидкости при различных геометрических параметрах камеры;
- разработана методика расчета камеры гашения напора для инженеров, позволяющая осуществлять подбор ее геометрических параметров, обеспечивающих наилучшие условия с точки зрения борьбы с коррозией;

— обоснована экономическая эффективность использования комплекса «Камера гашения напора — газоочистная установка» на канализационных сетях по сравнению с другими методами предотвращения коррозии.

— экономическое сравнение методов борьбы с коррозией и обоснование экономической эффективности использования комплекса «Камера гашения напора — газоочистная установка» на канализационных сетях.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов, а именно п.1 «Создание научных основ и математическое моделирование систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов, промышленных предприятий, объектов энергетики и сельского хозяйства с разработкой и реализацией методов оптимизации систем по экономическим, технологическим и экологическим критериям оптимальности», п. 17 «Предотвращение отложений, биологических обрастаний, коррозия трубопроводов и конструкционных материалов в системах водного хозяйства».

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов обеспечивается использованием современными средствами научных исследований, в т.ч. использованием высокоточного оборудования при проведении полевых и лабораторных экспериментов, применением передовых средств компьютерного математического моделирования (ANSYS 14.5), хорошей сходимостью результатов математического моделирования с результатами физических опытов на гидравлической установке и данными других авторов (при моделировании работы стояков перепадов).

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях: на 64-й Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современного строительства» (г. Санкт-Петербург, 6—7 апреля 2011), I международном конгрессе молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов «Актуальные проблемы современного строительства» (г. Санкт-Петербург, 10—12 апреля 2012 г.), Всероссийской научной конференции «Молодые исследователи – регионам» (г. Вологда, 18—23

апреля 2012), Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в современном строительстве — 2012» (г. Санкт-Петербург, 10—12 октября 2012), Международной научной конференции «Молодые исследователи — регионам», 2013 (г. Вологда, 10—19 апреля 2013), Международная научная конференция «Молодые исследователи – регионам» 2014 (г. Вологда, 21—25 апреля), 70-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов Университета (СПбГАСУ) (г. Санкт-Петербург, 7—9 октября 2014 г.), 3-й конференции «Ремонт и восстановление бетонных конструкций на сооружениях сточных вод» г. Сочи, 2014 г. (г. Сочи, 22—23 октября 2014 г.).

Научная работа по разработке эффективной конструкции камеры гашения напора для защиты канализационных сетей от микробиологической (газовой) коррозии была подана на соискание грантов 2014 года для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, и была удостоена Премии Правительства Санкт-Петербурга (диплом: ПСП №14491)

Результаты работы представлены в отчете о выполнении научных проектов по конкурсу грантов 2014 года для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга. Результаты работы были использованы в научно-исследовательской работе «Мониторинг-исследование технического состояния канализационного объекта Выборгского тоннельного канализационного коллектора в интервале от шахты №123 до шахты №122Б», выполненной ООО «ПИ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ». Результаты работы были представлены в НИР кафедры Водопользования и экологии ФГБОУ ВПО «СПбГАСУ»: «Повышение эффективности водоснабжения и водоотведения населенных пунктов с обеспечением нормативного состояния водных объектов» (№46ТП-13); «Совершенствование технологических процессов водопользования с учетом экологической безопасности окружающей среды» (№20ТП-14);

«Повышение эффективности технологий, систем и разработка новых сооружений водохозяйственной отрасли» (№20ТП-14(2)).

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 18 печатных работах, общим 6,3 п.л., в том числе:

2 работы опубликованы в изданиях, входящих в базу Scopus;

4 работы опубликованы в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденный ВАК РФ.

Получено 3 патента на полезную модель.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация содержит 171 страницу машинописного текста, 41 таблиц, 82 рисунка, 39 формул, 8 приложений и список использованной литературы из 124 наименования работ.

Диссертация состоит из введения, списка используемых обозначений и сокращений, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения. При этом каждая глава является самостоятельной работой и включает в себя литературный обзор существующих подходов, методов и решений, и собственный вклад, выражающийся в конкретных результатах и рекомендациях. Все главы связаны

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы. Определены цель и задачи работы, указана методологическая основа исследования и научная новизна.

В первой главе теоретически изучен и натурно исследован процесс микробиологической (газовой) коррозии, составлена методика определения аварийности канализационных шахт на коллекторах.

Во второй главе проанализированы методы борьбы с коррозией, исследованы существующие защитные покрытия и предложен новый способ – аэрация сточной жидкости в камере гашения напора.

В третьей главе изучены существующие конструкции камер гашения напора, предложены и промоделированы новые конструктивные решения, позволяющие реализовать аэрацию.

В четвертой главе была оценена экономическая эффективность предлагаемого способа в сравнении с другими методами защиты канализационных коллекторов от коррозии

В заключении изложены основные итоги выполненного исследования, сделаны предложения о возможных направлениях продолжения исследования.

Научная работа выполнена на кафедре Водопользования и экологии Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ). Автор выражает искреннюю признательность и благодарность д.т.н., профессору Васильеву Виктору Михайловичу за научное руководство, постоянное внимание к выполняемой работе, организацию полевых исследований и решение многих иных вопросов. Значительную помощь автору оказала к.б.н., доцент Дмитриева Елена Юрьевна в вопросах микробиологии. Автор выражает благодарность за помощь с математической обработкой результатов моделирования к.т.н. Семенову Алексею Александровичу, и за содействие в экономических расчетах – Чинарову Александру Александровичу.

Отдельно автор благодарит за всестороннюю помощь и поддержку на протяжении всех лет написания работы к.т.н. Федорова Святослава Викторовича.

ГЛАВА 1 РАЗРУШЕНИЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И СООРУЖЕНИЙ НА НИХ

1.1 Причины разрушения канализационных коллекторов и сооружений на них

Аварии на канализационных коллекторах, особенно сопровождающиеся разрушением строительных конструкций, являются серьезнейшей проблемой не только для водохозяйственной отрасли, но и для народонаселения в целом. В результате внезапных обрушений образуются провалы грунта, увлекающие в себя автомобили, здания и, в первую очередь, людей. В результате прорыва коллекторов может происходить излив сточных вод на поверхность, которые отравляют землю, а, попадая в водный объект, наносят и ему огромный экологический ущерб. Кроме того, на время ликвидации аварийных и предаварийных ситуаций коммунальным службам нередко приходится отключать подачу воды населению в целях уменьшения объемов сбросов, как, например, во время аварии в Новгороде в 2014 г [21], что парализует работу городских общественных учреждений и промышленных предприятий.

В мировой истории происходило множество значительных аварий на канализационных сетях. В 1923 году в г. Филадельфия, США, после интенсивного дождя произошло обрушение старого кирпичного коллектора диаметром более 4 метров. В результате попадания значительной части грунта из-под покрытия дороги в тоннель на улице открылась огромная воронка, края которой оказались практически на одной линии со стенами домов по обе стороны дороги (рис. 1.1.1 А) [118].



Рисунок 1.1.1 – Разрушения, вызванные прорывом канализационных коллекторов
 А) г. Филадельфия, США, 1923; Б) г. Тусон, США, 2002; В) г. Гватемала-Сити, Гватемала, 2007

В 1975 г. Крупная авария произошла в г. Ленинграде. В ночное время обрушился тоннельный коллектор диаметром 2,6 м, что привело к выносу большого объема грунта и образованию воронки диаметром 40 м на пр. Огородникова (ныне – Рижский пр.). В результате этого было повреждено три жилых дома, один из которых был впоследствии снесен. Причиной аварии стала неравномерная осадка шахт и тоннеля, что привело к образованию крупных трещин, в которые и попал окружающий трассу коллектора грунт. Восстановительные работы заняли 10 месяцев, и за это время сточные воды направлялись в водные протоки [60].

В 2002 г. В г. Тусон, штат Аризона, США, произошел прорыв коллектора диаметром 1000 мм, транспортирующего более 120000 кубометров стоков в сутки. В результате аварии на коллекторе образовалось две большие воронки на главной улице города (рис. 1.1.1 Б) [117]. Одной из причин трагедии в Гватемале в 2007 г., приведших к образованию огромного отверстия в грунте глубиной более 100 м и гибели трех человек стал прорыв канализационного коллектора. В результате происшествия были разрушены близлежащие дома (рис. 1.1.1 В) [120].

Информационные сводки на территории постсоветского пространства нередко содержат в себе сообщения о случаях прорыва коллектора. Такие аварии происходят с высокой регулярностью в последние годы. Из-за обрушения самотечного канализационного коллектора в г. Рязань в сентябре 2007 года сброс сточных вод осуществлялся в водные объекты, связанные с рекой Трубеж. В итоге экологический ущерб был оценен более чем в 22 миллиарда рублей [66].

В январе 2012 г. Россию потрясло сообщение о гибели ребенка в г. Брянске, провалившегося вместе с матерью в воронку, внезапно образовавшуюся на пешеходной зоне в месте прохождения канализационного коллектора, на котором случилась авария [92].

В августе 2012 г. в Святошинском районе г. Киев, Украина, на проезжей части произошел провал в связи с повреждением канализационного коллектора глубокого заложения диаметром 1000 мм. Размер провала составил 10 м в диаметре и 7 м в глубину. Свод коллектора был полностью разрушен вследствие микробиологической (газовой) коррозии (рис. 1.1.2 А) [73]. Коррозия также стала причиной обрушения коллектора в г. Днепропетровск, Украина, в марте 2013 года. Диаметр образовавшегося во дворе дома провала составил 12 м (рис. 1.1.2 Б) [50]. Также в марте 2013 года из-за обрушения свода коллектора в г. Уральск, Казахстан, образовался провал на проезжей части (рис. 1.1.2 В) [76].

В марте 2013 года в г. Воронеж автобус провалился в яму, образовавшуюся в результате обрушения коллектора. Коллектор был построен в 1970 году. Затраты на реконструкцию аварийного участка длиной 1,85 км были оценены в 320 млн. рублей (рис. 1.1.2 Г) [98]. А в октябре 2014 г. также в Воронеже провал образовался прямо на детской площадке – обрушился коллектор диаметром 2000 мм. По счастливой случайности никто не пострадал [6].

В июне 2013 года в Перми произошло обрушение свода железобетонного коллектора диаметром 1200 мм. Причиной аварии стала микробиологическая (газовая) коррозия. В результате аварии полностью была перекрыта ул. Пушкина (рис. 1.1.2 Д) [51]. В сентябре 2013 г. Железобетонный коллектор диаметром 400 мм в г. Мелитополе (Украина) обрушился вследствие микробиологической коррозии свода [48]. В декабре 2013 года СМИ сообщили об обрушении свода коллектора в г. Белгород (рис. 1.1.2 Е) [87].



Рисунок 1.1.2 – Фотографии разрушений, вызванных обрушением канализационных коллекторов на территории бывшего СССР в последние годы
 А) г. Киев, Украина, 2012; Б) г. Днепропетровск, Украина, 2013; В) г. Уральск, Казахстан, 2013; Г) г. Воронеж, Россия, 2013; Д) г. Пермь, Россия, 2013; Е) г. Белгород, Россия, 2013.

В связи с изложенным, необходимо сделать вывод о том, что аварии на коллекторах происходят повсеместно в различных городах России и ближнего зарубежья и наносят значительный урон благосостоянию общества. В последнее время особенную роль стали играть аварии, вызванные разрушением свода коллектора в результате микробиологической (газовой) коррозии.

Аварийные и предаварийные ситуации, иные нарушения в работе тоннельных коллекторов глубокого заложения могут быть вызваны различными факторами или совокупностью этих факторов. На основании нормативных документов [29], [82], а также [19], с учетом проведенных ранее исследований, описанных в [17], была составлена сводная блок-схема, демонстрирующая нарушения в работе тоннелей глубокого заложения и причины их возникновения (рис. 1.1.3). К первой группе, естественных причин, могут быть отнесены факторы, возникающие естественным образом, устранить которые не представляется возможным. Во вторую и третью группы выделены факторы,

которые возникают при осуществлении тех или иных технологических мероприятий.

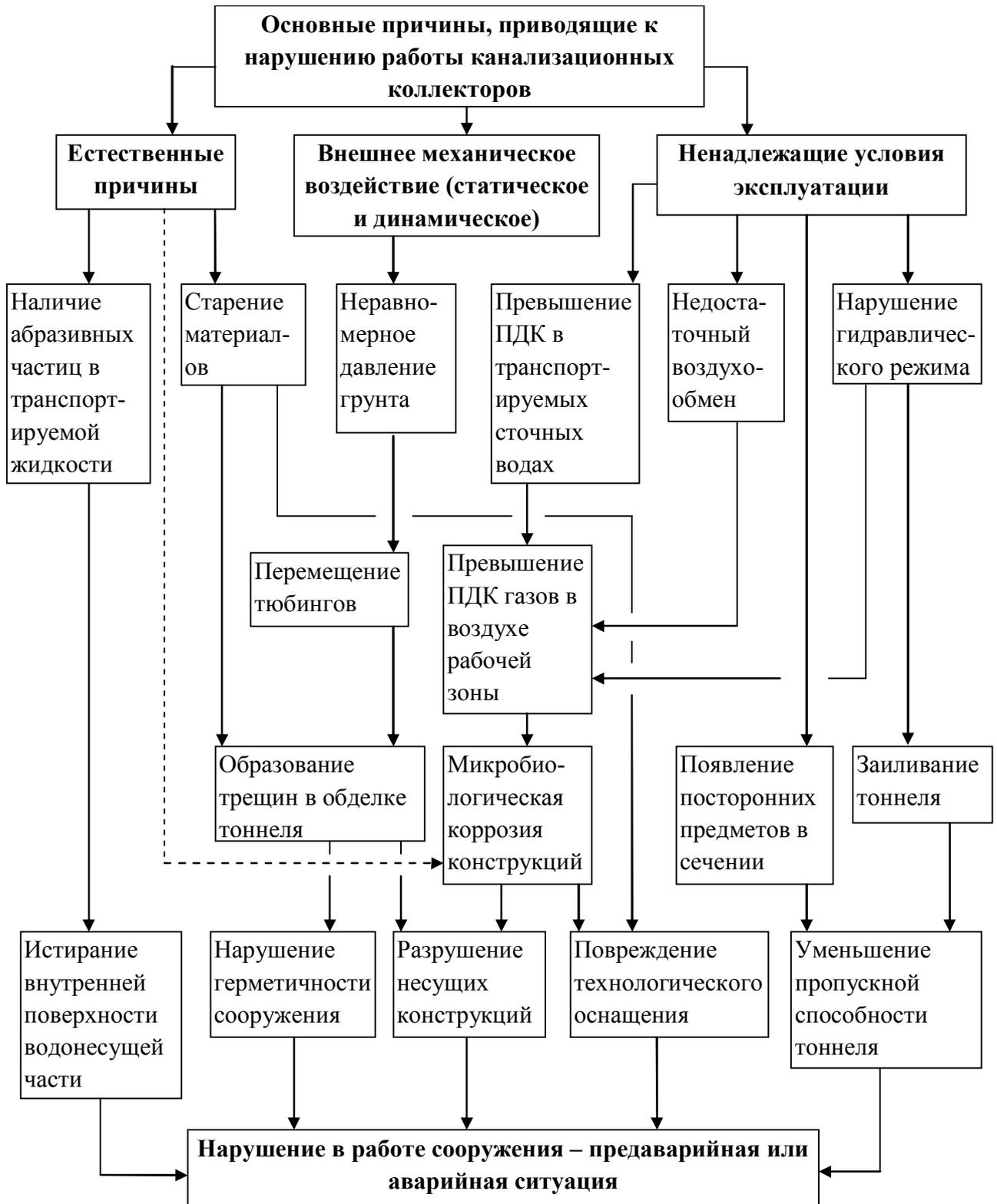


Рисунок 1.1.3 – Нарушения работы канализационных коллекторов и причины их возникновения.

Особое место в этой схеме занимает микробиологическая (газовая) коррозия железобетонных и металлических конструкций. С одной стороны, коррозия является процессом, происходящим естественным образом при движении сточных вод, даже полностью соответствующих требованиям федерального нормативного документа [68] по приему стоков в сети централизованной общесплавной или бытовой канализации ($X_{ПК} \leq 500$ мг/л, $B_{ПК5} \leq 300$ мг/л, сульфаты $SO_4 \leq 300$ мг/л, сульфиды S, H_2S , S_2 , температура сточных вод $\leq 40^\circ C$). И в тоже время коррозия значительно интенсифицируется при нарушении условий эксплуатации, в частности, при сбросе высококонцентрированных сточных вод.

В.М. Васильев в [16] приводит статистику, из которой следует, что 24% всех аварий на канализационных коллекторах СССР происходили по причине микробиологической (газовой) коррозии свода. В [3] Р.Р. Ахмадуллин приводит сведения о том, что коррозия является причиной разрушения коллекторов в 70% случаях. Г.Я. Дрозд сообщает о том, что порядка 80% от всех разрушенных на Украине участков канализационной сети составляют уничтоженные вследствие микробиологической (газовой) коррозии [5]. При этом регистрируется крайне высокая скорость коррозии, достигающая значений 5 – 40 мм/год [1, 54, 56, 124]. В [3] Р.Р. Ахмадуллиным объединена статистика, собранная Г.Я. Дроздом (приведена в [33] с собственными исследованиями и показано, что из 73 рассмотренных коллекторов 22 проработали менее 10 лет, при этом скорость коррозии составляла от 9 до 26 мм/год.

Ввиду катастрофически высокой скорости коррозии, средний срок службы коллекторов составляет порядка 10,5 лет [56] и редко превышает 15-18 лет (в России, [31]), в то время как при нормальной эксплуатации срок службы подобных сооружений должен быть не меньше 35-40 лет [31]. Из опыта эксплуатации средний срок службы канализационных тоннелей глубокого заложения в Санкт-Петербурге составляет порядка 40 лет и не превышает 50-70 лет. Вместе с тем, подобные сооружения должны служить не менее 100 лет [19]. В связи с вышесказанным, на борьбу с коррозией направляются значительные

материальные ресурсы, что делает микробиологическую коррозию железобетонных коллекторов одной из наиболее серьезных и дорогостоящих проблем, на сегодняшний день затрагивающих канализационную инфраструктуру мира. В глобальном отношении, затраты, связанные с коррозионным разрушением канализационных трубопроводов, исчисляются миллиардами евро в год [106, 114]. Во Фламандском регионе в Бельгии биологическая коррозия канализационных коллекторов составляет приблизительно 10% от всех затрат на очистку сточных вод [124]. Восстановление всех повреждений коллекторов в Германии исчисляется примерно 100 миллиардов евро в год [110].

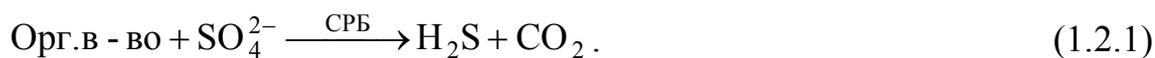
Среди иных причин разрушения коллекторов выделяют истирание лотка коллектора, физико-механические повреждения конструкции коллектора, вызванные внешними факторами, в том числе повреждения из-за воздействия корневой системы деревьев [59, 97]. Однако именно процесс коррозии в настоящее время является наиболее существенным при рассмотрении коррозии коллекторов [86].

1.2 Теория микробиологической коррозии

Согласно современной литературе, индуцируют коррозию бетона различные группы микроорганизмов, последовательно сменяющие друг друга. Вследствие ведущей роли именно биологического фактора в этом процессе, данную коррозию чаще называют микробиологической, нежели газовой (понятие, широко используемое в отечественной литературе), хотя, безусловно, концентрации агрессивных ядовитых газов в подводящем пространстве коллектора – первый индикатор наличия проблемы. Ниже представлен подробный механизм коррозии на примере разрушения канализационного коллектора (для сооружения на канализационной сети данный процесс происходит аналогичным образом) [15, 17, 121].

1) Первая стадия развития микробиологической коррозии. Абиотическая нейтрализация поверхности бетона

Значение pH на поверхности бетона нового коллектора, как правило, составляет 11-13. [18, 123] Под водой на стенках коллектора происходит образование биопленки, толщина которой различна; авторами в [12, 111, 115] отмечается, что при нормальных условиях толщина биопленки составляет около 1 мм. При высокой скорости течения толщина этой пленки уменьшается до 0,3 мм, а при малых скоростях течения она составляет примерно 3 мм. В биопленке активны колонии анаэробных сульфатредуцирующих бактерий (СРБ). СРБ в результате сульфатного дыхания и за счет окисления органических субстратов образуют сероводород и углекислый газ в соответствии с уравнением (1.2.1) [32, 105, 123].



Образующийся в результате этого процесса сероводород переходит в сточную воду, где находится в молекулярной форме, а также в виде своих диссоциированных ионов – H^+ и HS^- [123, 124]. При нормальном значении pH для бытовых сточных вод (6,5 – 8,0) 25-35% растворенных сульфидов существуют в виде молекулярного H_2S [123]. Процесс развития коррозии на первой стадии схематично представлен на рис. 1.2.1. Через поверхность раздела фаз жидкость-газ H_2S и CO_2 испаряются в подсводное пространство коллектора. Эти газы распространяются в атмосфере подсводного пространства и растворяются в конденсационной пленке, которая образуется на стенках и шельге коллектора. Вернувшись в жидкую фазу, H_2S повторно диссоциирует на ионы HS^- и H^+ , и поверхность бетона насыщается продуктами окисления сероводорода кислородом воздуха – серой, тиосульфатом, полиитионатами [18, 123]. CO_2 , в свою очередь, растворяется с созданием угольной кислоты в ее различных формах (H_2CO_3 , H^+ + HCO_3^- , 2H^+ + CO_3^{2-}). Слабые кислоты, образующиеся в конденсационном слое,

вступают в реакцию со щелочами в бетоне, такими как гидроксид кальция, снижая рН поверхности бетона с течением времени (до значения $\text{pH} = \sim 9$) [123].

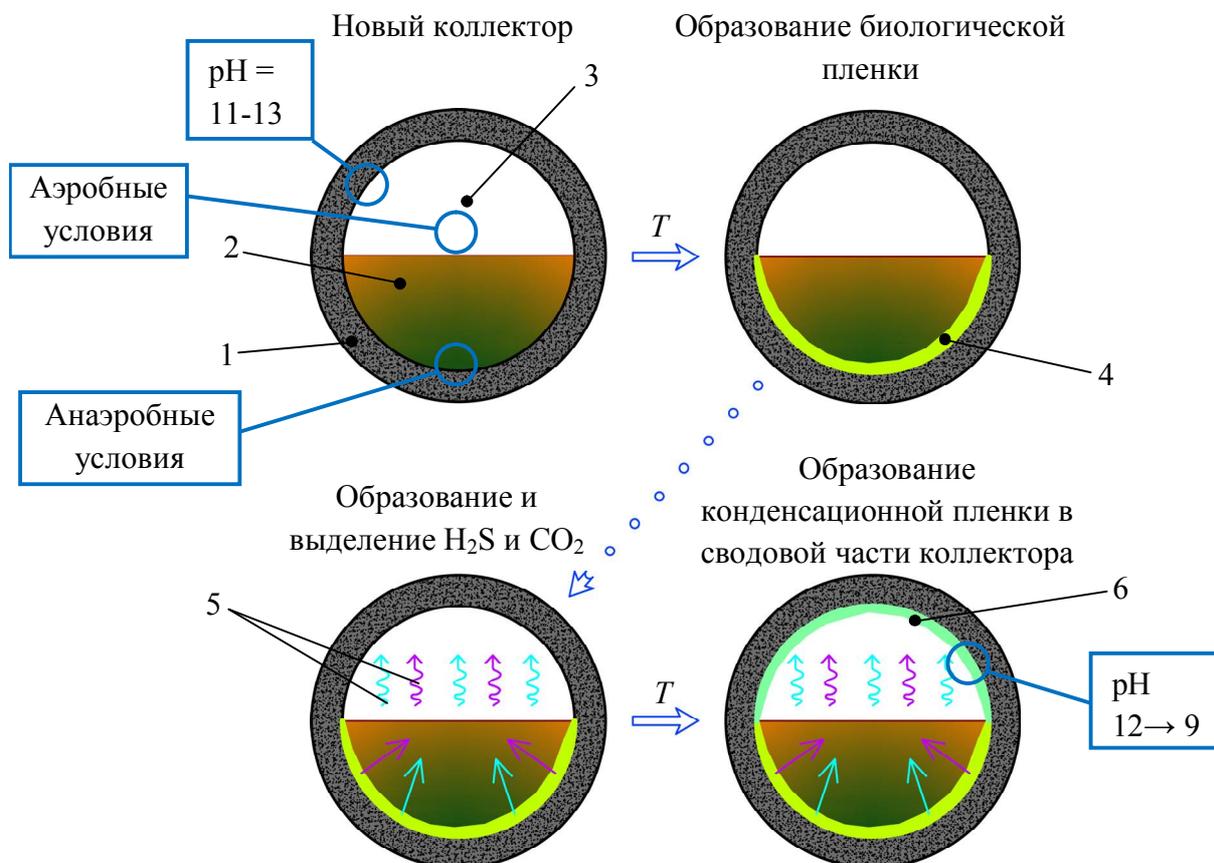


Рисунок 1.2.1 – Первая стадия развития микробиологической коррозии

1 – тело коллектора; 2 – сточная жидкость; 3 – подсводное пространство (газовая сфера коллектора); 4 – биопленка; 5 – выделяющиеся газы; 6 – конденсационная пленка; T – продолжительность во времени.

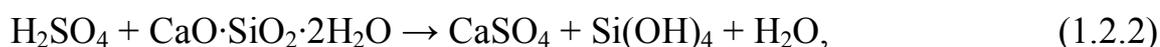
Длительность первой стадии зависит от большого количества различных факторов, потому не имеет точного значения. Исследования, проведенные в Австралии, показали, что первая стадия коррозии может протекать в течение 3 – 6 месяцев [99].

2) Вторая стадия развития микробиологической коррозии. Заселение нейтрофильными бактериями

При достаточном количестве кислорода, питательных веществ и влажности нейтрофильные сероокисляющие микроорганизмы (НСОМ) начинают заселять

поверхность бетона в момент, когда значение рН снижается до ~9 [18, 99, 123]. Было установлено, что к таким микроорганизмам следует отнести следующие роды бактерий: *Thiobacillus*, *Thiomonas*, *Hallothiobacillus*, *Starkeya*, *Thiospira* и *Paracoccus* [32]. В течение второй стадии коррозионного процесса эти бактерии образуют H_2SO_4 путем окисления H_2S , диффундирующего в конденсационную пленку [99, 123, 124].

Согласно [123], образованная серная кислота реагирует с силикатными и карбонатными соединениями в цементной составляющей бетона, формируя механически непрочный гипс путем следующих реакций:



Образование гипса приводит к увеличению объема (твердой фазы) примерно на 124% [105], что ослабляет цементную структуру.

Углекислота, выделяющаяся с поверхности сточной воды и конденсирующаяся на своде коллектора, вступает реакцию с образованием бикарбоната кальция:



Образовавшийся бикарбонат кальция является хорошо растворимым, способствует увеличению пористости бетона и его разрушению.

Развитие коррозии на второй стадии схематично представлено на рис. 1.2.2.

На протяжении всей второй стадии рН поверхности бетона непрерывно снижается [123]. Начиная со значения рН, равного 7, бетон постепенно заселяется грибами-микросциетами, которые своими тончайшими нитевидными клетками протискиваются в трещинки поверхностного слоя, разрушая их. Пористость бетона увеличивается. Проникновение в бетон мицелия грибов способствует прикреплению других микроорганизмов и проникновению вглубь бетона продуктов их жизнедеятельности. На этой стадии бетон еще сохраняет

механическую прочность [18]. Согласно исследованиям [99], длительность второй стадии коррозии может составлять 13 – 24 месяца.

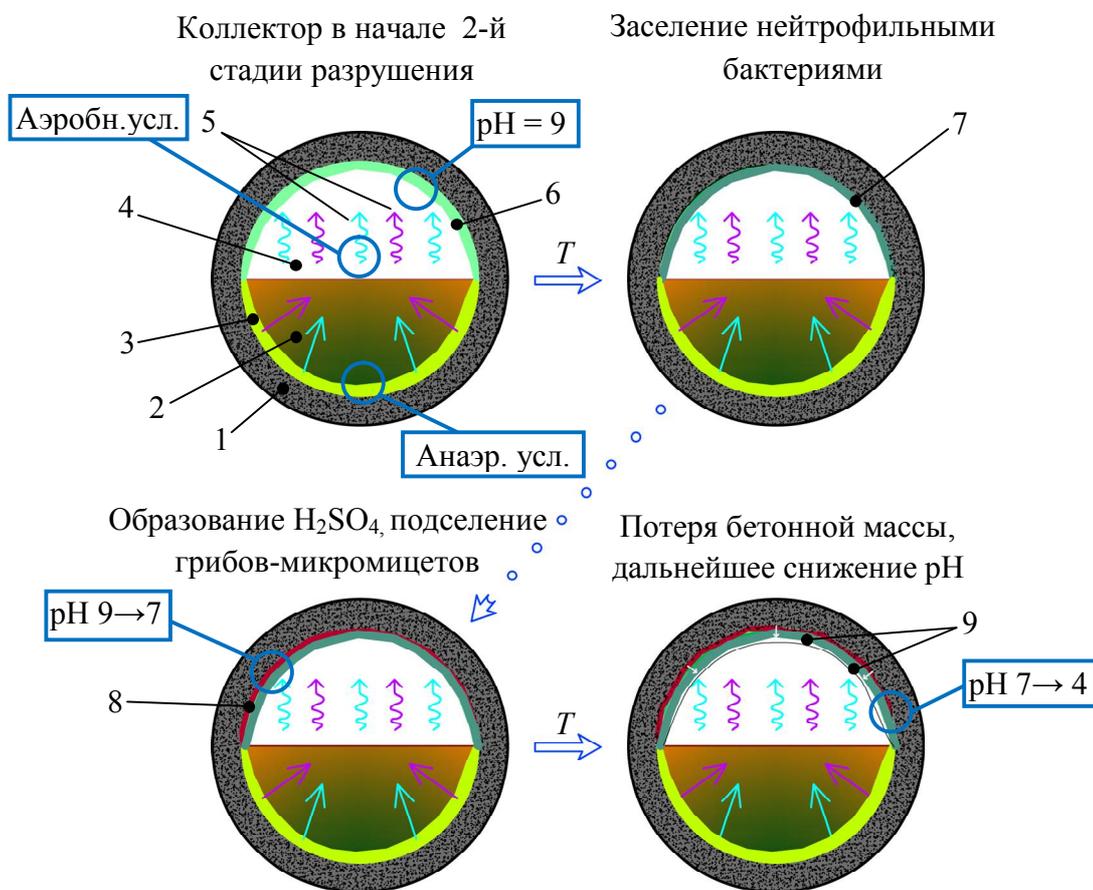


Рисунок 1.2.2 – Вторая стадия развития микробиологической коррозии

1 – тело коллектора; 2 – сточная жидкость; 3 – биопленка; 4 – подводное пространство (газовая сфера коллектора); 5 – выделяющиеся газы; 6 – конденсационная пленка; 7 – колонии нейтрофильных бактерий; 8 – серная кислота; 9 – слой продукта коррозии; T – продолжительность во времени.

Согласно [75, 123] на скорость процесса разрушения оказывает непосредственное влияние пористость бетона. Бетон по своей природе является капиллярно пористым материалом [119], характеризующимся широким диапазоном хаотически соединенных между собой капилляров (величина условного радиуса капилляров – десятые долей миллиметра), перекрываемых на отдельных участках продуктами новообразований. Условно, как капилляры, можно рассматривать и образовавшиеся в теле бетона усадочные, температурные и силовые трещины. Проницаемость бетона в значительной степени зависит от состава бетонной смеси, качества уплотнения, ухода за бетоном, степени

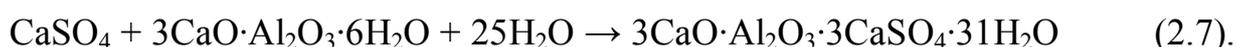
гидратации цемента и условий эксплуатации конструкций. Очевидно, что чем ниже марка бетона, тем больше размер его пор, и тем интенсивнее происходит заселение этих пор микроорганизмами.

3) Третья стадия развития микробиологической коррозии. Заселение
ацидофильными бактериями, основная потеря бетонной массы

Когда значение рН на поверхности бетона падает до ~ 4 , наступает переломный момент в процессе биодеструкции сооружения [32]. Начинается заселение ацидофильными сероокисляющими микроорганизмами (АСОМ) [18, 99, 123]. Ацидофильные тионовые бациллы, в первую очередь, *Acidithiobacillus thiooxidans*, являются наиболее значимыми продуцентами серной кислоты [32]. Согласно [123], они также окисляют тиосульфаты, полиотионовые кислоты [32] и элементарную серу, которая откладывается на сводовой части коллектора в результате окисления сероводорода кислородом подсводного пространства. Жизнедеятельность ацидофильных бактерий ведет к дальнейшему снижению рН до значений $\sim 1 - 2$.

Согласно современным представлениям о микроорганизмах-биодеструкторах [32], некоторые нейтрофильные тиобациллы способны сохранять жизнеспособность и размножаться при $\text{pH} = 2$, потому предполагается, что ацидофилы и нейтрофилы на данной стадии присутствуют в бетоне одновременно и сконцентрированы послойно.

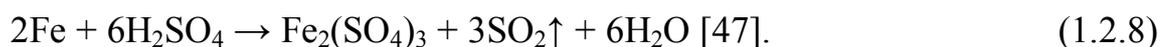
Третья стадия микробиологической коррозии характеризуется резким возрастанием скорости разрушения материала [123]. Под действием серной кислоты гидрат окиси кальция превращается в гипс согласно реакциям (1.2.2), (1.2.3), (1.2.4). Однако более разрушительной является последующая реакция (1.2.7) между гипсом и трикальцием-алюминатом внутри цементной матрицы на границе разрушающегося и еще не затронутого коррозией бетона, с образованием минерала этtringита [18, 123].



Формирование этtringита приводит к значительно большему увеличению объема материала, варьируясь от 227% до 700% [104, 105]. Образование этtringита, имеющего в своей структуре большое количество молекул кристаллизационной воды, ведет к внутреннему растрескиванию и образованию пор в бетоне, что в свою очередь увеличивает поверхность реакции и способствует более легкому проникновению влаги, кислоты и микроорганизмов в тело бетона [123]. Таким образом, глубина размягчения бетона увеличивается нарастающими темпами [18].

На протяжении всего процесса коррозии мягкий белый слой коррозионного продукта (в первую очередь гипса) образуется на поверхности бетона и постепенно утолщается с течением времени. Этtringит наиболее часто наблюдаем в трещинах, пронизывающих бетон до неповрежденного слоя [109, 112] Ниже на рис. 1.2.3 представлена схема процесса коррозии на третьей стадии.

Разрушение защитного слоя бетона приводит к оголению арматуры. Ее поверхность заселяется агрессивными тионовыми бациллами *Acidobacillus ferrooxidans*. Они получают энергию для своей жизнедеятельности, окисляя двухвалентное железо до трехвалентного, и окисляя соединения серы с образованием серной кислоты [32, 105]. Серная кислота реагирует с железом, приводя к его разрушению:



Металлические элементы технологического оснащения в канализационных шахтах, камерах и подобных сооружениях разрушаются как в силу действия вышеуказанных бактерий, так и за счет присутствия сероводорода в газовой среде. Сероводород вступает в активные реакции как с железом, так и составляющими металла по следующим уравнениям [52]:



Сульфат железа активно окисляется в присутствии паров воды, образуя при этом закись-окись железа (магнезиальный железняк) – см. формулу (1.2.12).

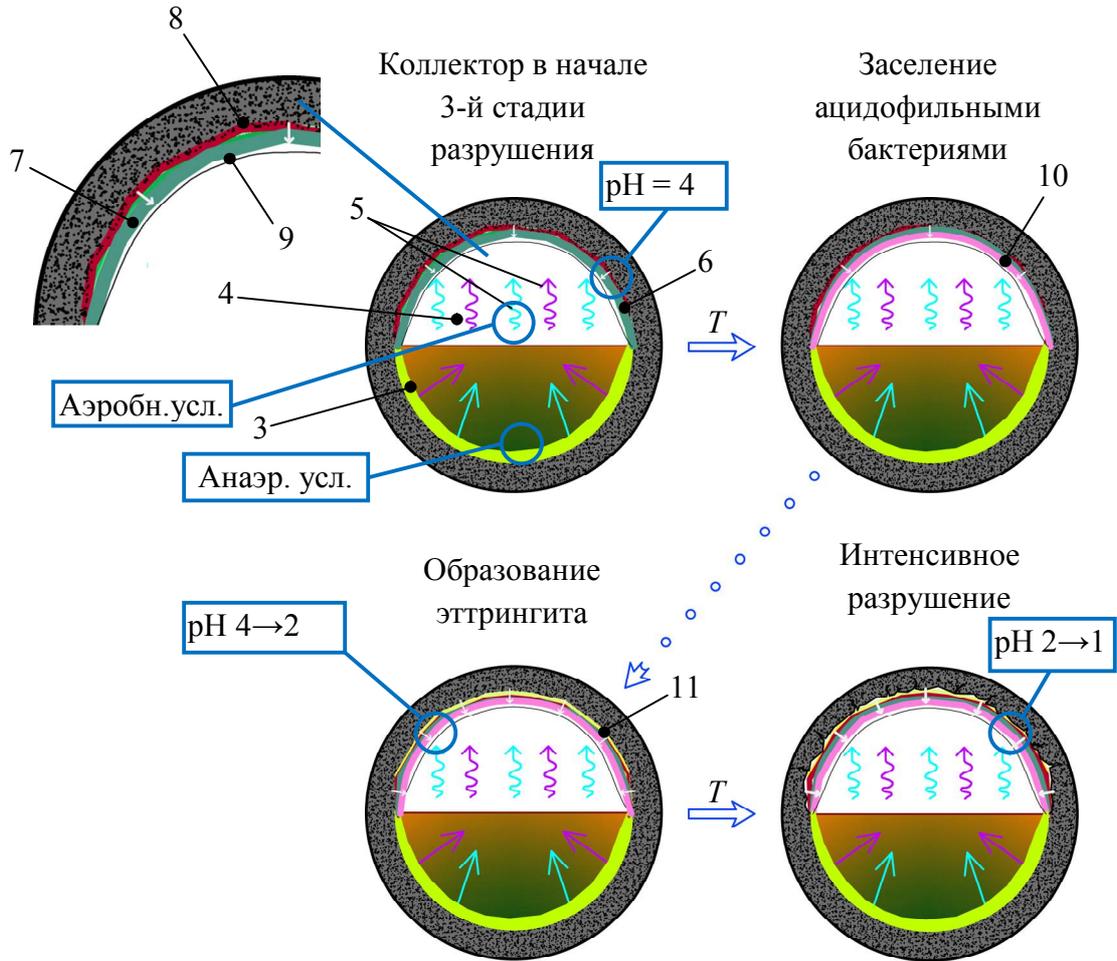


Рисунок 1.2.3 – Третья стадия развития микробиологической коррозии

1 – тело коллектора; 2 – сточная жидкость; 3 – биопленка; 4 – подводное пространство (газовая сфера коллектора); 5 – выделяющиеся газы; 6 – конденсационная пленка; 7 – колонии нейтрофильных бактерий; 8 – серная кислота; 9 – слой продукта коррозии; 10 – колонии; 11 – этtringит; T – продолжительность во времени.



Газовая среда канализационного коллектора и сооружений на сети состоит из большого количества газов. Она представлена кислородом, сероводородом, углекислым газом, метаном и аммиаком. В случае поступления в сеть производственных стоков могут также присутствовать пары бензина, эфира, толуола, индола, а также скатол, индол, метилмеркаптан и окислы азота [16].

Особое внимание следует уделять концентрациям основных газов (H_2S , O_2 , CO_2 , NH_3), при этом, как видно из представленных выше реакций, основным агентом коррозии является сероводород, и его концентрация может характеризовать условия эксплуатации канализационного сооружения.

1.3 Исследование факторов, влияющих на процесс микробиологической коррозии в условиях действующих сооружений

1.3.1 Программа проведения экспериментальных исследований

Основной задачей проводимых исследований было изучение технического состояния канализационных коллекторов и шахт на них и выявление зависимости степени разрушения от условий функционирования данных сооружений. Для анализа были выбраны два коллектора в г. Санкт-Петербурге: «Дублер канализационного коллектора в районе площади Мужества» (рис. 1.3.1.1 А) и «Выборгский тоннельный канализационный коллектор в интервале шахт Ш.№123 – Ш.№122А» (рис. 1.3.1.1 Б).

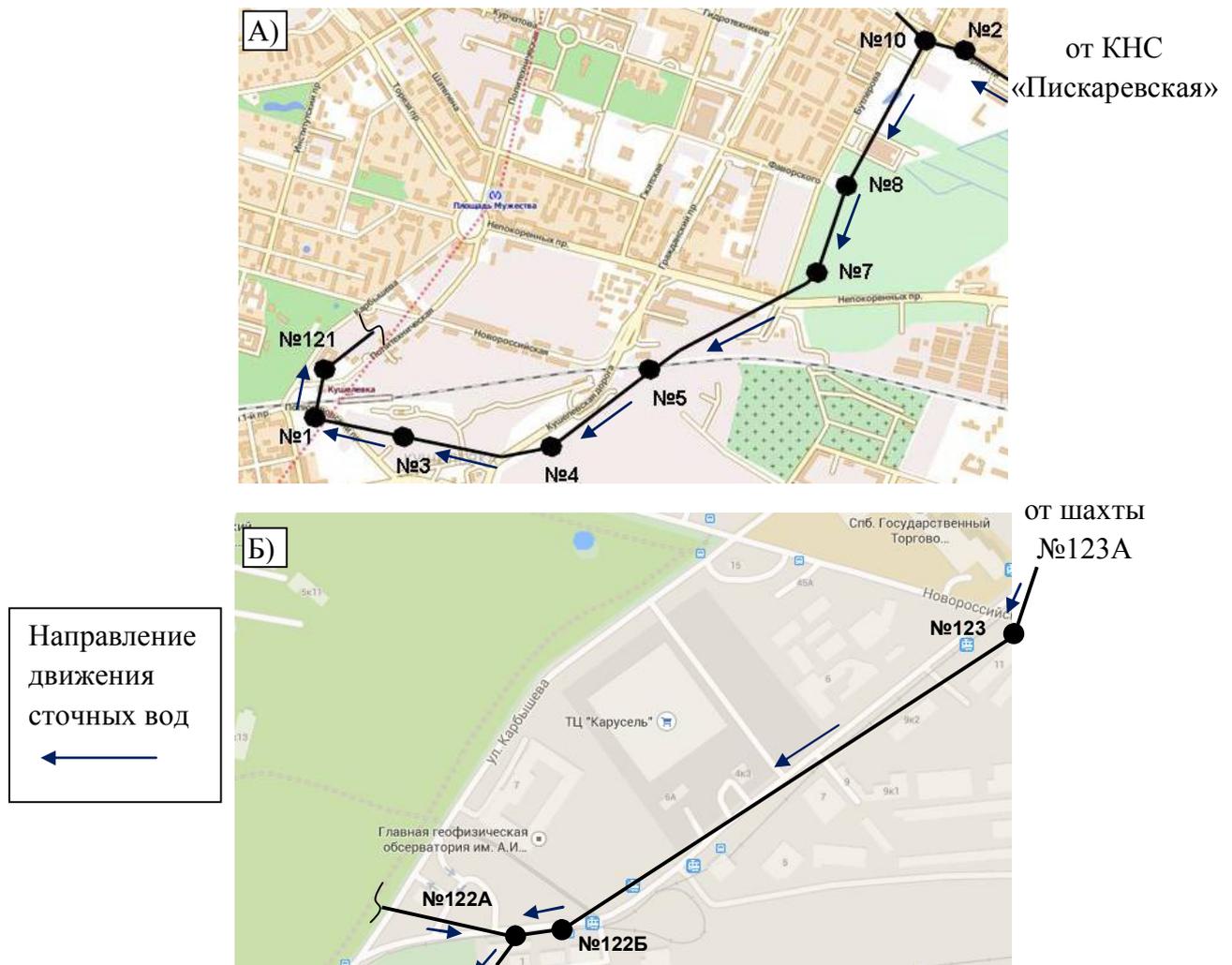


Рисунок 1.3.1.1 – План трассы обследуемых коллекторов

Данные канализационные объекты являются достаточно крупными и составляют часть системы Санкт-петербургских тоннельных коллекторов глубокого заложения, принимающих сточные воды от сетей мелкого заложения и транспортирующих их на очистные сооружения. Строительство в г. Санкт-Петербурге большого количества тоннелей глубокого заложения обусловлено плоским рельефом территории, сопряженным с необходимостью транспортировки значительных объемов стоков (суммарный суточный расход сточных вод, отводимый на очистку в Санкт-Петербурге, составляет более 2200 тыс.м³/сут [61]), а также сложными гидрогеологическими условиями. Эти тоннельные коллекторы устраиваются на глубинах 8 – 80 м, и имеют диаметры более 1500 мм. Конструктивно тоннели состоят из чугунных или железобетонных тубингов и железобетонной рубашки [19, 60].

Сточные воды от сетей мелкого заложения попадают в тоннельные коллекторы глубокого заложения посредством перепадов, устраиваемых в специальных шахтах. Канализационные шахты представляют собой сложные инженерные сооружения многоцелевого назначения, обеспечивающие транспортирование стоков и гашение энергии падающего потока в нижнем бьефе, а также спуск обслуживающего персонала в целях выполнения работ по осмотру, промывке, ремонту и ликвидации неполадок в работе тоннеля и самих шахт [19]. Сооружение стволов шахт обычно выполняется из тубингов тоннелей метрополитена. Внутренний диаметр шахтного ствола составляет 5,1 м или 7,8 м. В стволе сооружается внутренняя железобетонная рубашка толщиной 15 – 20 см. Перекрытия устраиваются через 3 – 4 м; как правило, они также выполняются из железобетона. Ограждения и лестницы на большинстве шахт – стальные [60].

Особый интерес выбранные объекты представляют в связи с тем, что требования к надежности работы таких сооружений крайне высоки, но не менее высок и риск их коррозионного разрушения.

Тоннельный коллектор «Дублер канализационного коллектора в районе площади Мужества» в Санкт-Петербурге был введен в эксплуатацию лишь в 2007 году, но уже характеризуется активным разрушением его шахт. Канализационный

коллектор транспортирует хозяйственно-бытовые, производственные и дождевые сточные воды, в том числе и часть, поступающую от КНС «Пискаревская» по напорным водоводам длиной 7,5 км. Протяженность коллектора составляет 4,34 км, внутренний диаметр составляет 2000 – 2400 мм; на коллекторе устроено 7 шахт глубиной 10 – 20 м различного функционального назначения. Коллектор проложен методом щитовой проходки, 3,75 км его длины защищены полиэтиленовой обделкой.

Исследованный Участок Выборгского тоннельного канализационного коллектора имеет в своем составе 3 шахты глубиной 16 – 18,5 м. Коллектор был построен в 1985 году, а в 2007 году был реконструирован по методу «труба в трубе» с протаскиванием внутрь сечения труб «Нобас» диаметром 1800 мм на всю длину интервала – 0,62 км.

Работы на коллекторе «Дублер канализационного коллектора в районе площади Мужества» выполнялись автором под руководством В.М. Васильева с привлечением специалистов Малкова А.В. (инженер) и Дмитриевой Е.Ю (к.б.н., микробиолог). Работы по обследованию и мониторингу технического состояния коллектора «Выборгский тоннельный канализационный коллектор в интервале шахт Ш.№123 – Ш.№122А» были выполнены под научным руководством В.М. Васильева лично автором. Полные результаты работ были представлены в научно-технических отчетах [35, 49]

В таблице 1.3.1.1 представлена программа комплексных экспериментальных исследований с учетом корректировок, возникавших в процессе ее выполнения.

Таблица 1.3.1.1 – Программа комплексных экспериментальных исследований

п/п	Вид работ	Время выполнения
I. Дублер канализационного коллектора в районе площади Мужества»		
1	Проведение визуального обследования и анализа газовой среды Ш. №10	Май 2011
2	Проведение визуального обследования и анализа газовой среды Ш. №8	Май 2011

3	Проведение визуального обследования и анализа газовой среды Ш. №7	Июнь 2011
4	Проведение визуального обследования и анализа газовой среды Ш. №1	Июнь 2011
5	Анализ газовой среды в колодце перед КНС «Пискаревская»	Июль 2011
6	Повторный анализ газовой среды Ш. №10 с замером температуры и влажности	Июль 2011
7	Проведение микробиологических анализов в Ш. №10, Ш.№8	Август 2011
II. «Выборгский тоннельный канализационный коллектор в интервале шахт Ш.№123 – Ш.№122А»		
1	Проведение визуального обследования Ш. №123 и коллектора	Февраль 2014
2	Проведение визуального обследования Ш. №122Б и анализ химического состава сточной жидкости	Февраль 2014
3	Проведение анализа газовой среды Ш. №123	Март 2014
4	Регулярные проходы по коллектору, осмотры его конструкций	Март 2014 – Август 2014
5	Проведение повторного анализа газовой среды Ш. №123	Июнь 2014
6	Проведение визуального обследования строительных конструкций Ш. №122А	Июнь 2014
7	Проведение анализа газовой среды шахты №122Б (над металлическим перекрытием)	Июль 2014

1.3.2 Методика проведения экспериментальных исследований

1.3.2.1 Общие указания по проведению работ в опасных условиях подземных сооружений канализации

Все работы в шахтах и коллекторе, спуски и перемещения по тоннелю осуществлялись в полном соответствии с [69], под контролем Службы эксплуатации канализационных тоннелей ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Перед началом работ, бригада по обслуживанию тоннельных коллекторов глубокого заложения производит проветривание участка канализационной сети путем открытия людских лазах в ближайших шахтах проветриваемого участка. После проветривания шахты (снижения концентраций агрессивных газов ниже ПДК), и производства замера концентраций газов в стволе шахты производится спуск бригады рабочих и оборудования в количестве не менее двух человек. Спуск бригады и оборудования страхуется сверху (с дневной поверхности) страховочной веревкой. Каждый работник оснащен специальным костюмом и инвентарем (шлем, фонарь, перчатки, страховочный пояс и т.д.), а так же проинструктирован по технике безопасности.

Во время спуска и прохода по тоннелю также производится непрерывная страховка членов бригады при помощи фала, предохранительного пояса с карабином и страховочного троса.



Рисунок 1.3.2.1.1 – А) Спуск бригады рабочих вместе с автором в Шахту №10; Б) Автор в шахте №122Б; В) Автор с инженером С.В. Ивановым во время прохода по тоннелю между шахтами №123 и №122Б

1.3.2.2 Проведение визуального осмотра состояния строительных конструкций

1) Диагностика состояния железобетонных конструкций

Основной и наиболее надежный метод диагностики состояния бетона и стальной арматуры в конструкциях – непосредственный осмотр с замером остаточных сечений бетона и арматуры.

При наличии оборудования возможен дистанционный осмотр поверхности с помощью специальных средств, например, ультразвуковые приборы. Однако в условиях канализационной шахты и коллектора высока ошибка обнаружения дефектов.

Для канализационной шахты наиболее предпочтителен непосредственный осмотр. Этот способ дает наиболее достоверные результаты.

При непосредственном осмотре фиксируются:

- крупные дефекты и повреждения;
- наличие неуплотненных стыков и фильтрацию напорных вод из грунта;
- наличие на стенах шахт рыхлых кашеобразных обрастаний, которые легко отслаиваются от здорового бетона;
- глубина разрушения бетона и потеря сечения стальной арматуры и металлических лестниц и ограждений;
- наличие и характер обрастания микроорганизмами

Для измерения сечения бетона можно пользоваться измерительной линейкой, рейкой. Сравнение полученных данных с проектными позволяет судить о скорости коррозии.

В сборных железобетонных конструкциях толщина защитного слоя в большинстве случаев составляет 20 мм. Зная это, в зависимости от того, обнажена арматура, или нет, и на какую глубину произошло разрушение за зону расположения арматуры, можно примерно определить глубину разрушения бетона. Опыт обследования показывает, что даже при полном разрушении

защитного слоя и стальной арматуры остаются признаки, по которым удается определить примерное положение арматуры как точки для отсчета. Обычно остаются следы от арматуры в виде отпечатков на бетоне, следы ржавчины, к тому же сама арматура, даже полностью прокорродировавшая, нередко остается на месте в виде плотных конгломератов ржавчины с бетоном.

Установить глубину коррозии бетона при малой степени разрушения нередко удается по высоте выступающих на поверхность зерен крупного заполнителя, когда растворная часть бетона разрушилась и выпала.

При определении глубины разрушения полностью разрушенный, наружный слой легко удаляется с поверхности металлическим инструментом. Толщина слоя, в котором в момент обследования развивается коррозионный процесс, но прочность еще не потеряна, как показывают исследования, составляет не более 1 – 2 см.

По результатам обследования в соответствии с [29] может быть оценена категория технического состояния строительных конструкций сооружения:

1) Работоспособное техническое состояние соответствует ситуации, когда, несмотря на имеющиеся нарушения требований и повреждения не нарушается работоспособность и обеспечивается необходимая несущая способность.

2) Ограниченно-работоспособное техническое состояние соответствует ситуации, когда несущая способность конструкций вследствие определенных причин снижена, но опасность внезапного разрушения отсутствует и эксплуатация сооружения возможна либо при мониторинге технического состояния, либо при проведении необходимых мероприятий по восстановлению или усилению конструкций

3) Аварийное состояние – категория технического состояния сооружения, характеризующаяся повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения

2) Диагностика состояния стеклопластиковых конструкций

В отличие от железобетонных и металлических конструкций, стеклопластик, как правило, устойчив к коррозионным процессам. Фактически никаких случаев коррозионного разрушения стеклопластиковых трубопроводов в Санкт-Петербурге зафиксировано не было. Случаи разрушения композитных конструкций из полтрузионного стеклопластика (лестниц, перекрытий и ограждений) происходили из-за несоответствия состава (марки) композита условиям среды, в которой материал существовал, а также за счет механических повреждений. Ввиду вышесказанного при осмотре стеклопластиковых трубопроводов в первую очередь необходимо фиксировать нарушения геометрических параметров сечения, появление трещин и сколов, потери герметичности заделки стыков труб, что может быть как следствием нарушения технологии строительных работ, так и внешним механическим воздействием.

1.3.2.3 Анализ газовой среды

Анализ газовой среды может осуществляться с использованием различного оборудования, и от этого во многом зависит полнота и достоверность полученных данных. Обычно для анализа газовой среды используют газоанализатор без функции записи измеряемых данных. Таким прибором возможно измерить концентрацию лишь в конкретный момент времени. При этом необходимо открывать крышку колодца или отодвигать плиту покрытия шахты, что позволяет осуществить ее проветривание и, как следствие, не позволит получить достоверные значения концентрации. В случае наличие концентраций в шахте или тоннеле выше предельно допустимых, нахождение в таких условиях человека возможно только при использовании защитных средств (противогаза), что в определенных случаях не позволяет произвести полноценное исследование. Наконец, отбор проб с определенным интервалом времени требует непосредственного нахождения на объекте, а также присутствует риск, что скачок

концентраций газов в результате сброса концентрированных стоков будет кратковременным и не будет зафиксирован.

В данном случае нами для проведения исследования был выбран прибор VM-25 фирмы «Oldham», самопишущий газоанализатор. Использование данного прибора предусмотрено запатентованным способом прогнозирования аварийного состояния трубопровода канализационной системы (патент РФ № 2508535) [24].

VM 25 – прибор французского производства, предназначен для одновременного измерения концентраций 5-и газов непрерывно в течение 40 – 120 часов (продолжительность измерений зависит от значения концентраций и интервала записи фиксируемых значений). Полученные значения автоматически записываются прибором и могут быть представлены в виде графиков концентрации с привязкой ко времени. Данная модель опционально настроена на измерение одновременно 4-х газов (метан CH_4 , кислород O_2 , сероводород H_2S , углекислый газ CO_2). Модель оснащена приборами звукового и светового оповещения о взрывоопасной обстановке. Имеет программное обеспечение для изменения параметров измерений (интервал времени между замерами, записываемый интервал концентраций газов, предел взрывоопасности метана, удаление показаний и так далее). Прибор абсолютно герметичен, может быть установлен в агрессивных средах и местах возможного подтопления. Вид прибора с расположением измерительных ячеек (датчиков) представлен на рис. 1.3.2.3.1.

Таким образом, имеется возможность вести измерения непрерывно в течение достаточно продолжительного промежутка времени, что позволяет сделать заключение о состоянии газовой среды и факторах, на нее влияющих [122].

Выбор места установки прибора определяется возможностью размещения и последующего извлечения, условиями возможного затопления шахты, а также особенностями движения воздушных масс в пределах шахты (т.е. в случае наличия глухого перекрытия в стволе шахты, газовый состав выше и ниже перекрытия будет абсолютно различен – поэтому и выделяемые этим

перекрытием зоны будут иметь различное состояние в отношении процессов разрушения).



Рисунок 1.3.2.3.1 – Самопишущий газоанализатор VM-25 и его измерительные ячейки

Расшифровка показаний прибора

По каждому измеряемому газу у прибора установлен свой предел измерений. При этом концентрация каждого газа измеряется в своих единицах.

1) Углекислый газ CO₂. Измеряется в процентах от объема воздуха. Предел измерения – 6,0% (предел отображения на графиках – 5,0%) Перевод из «%» в [мг/м³] осуществлялся через плотность воздуха. Например, при t = 25°C плотность воздуха составляет 1,185 кг/м³. При содержании углекислого газа в воздухе 5% его концентрация в мг/м³ составит 59250 мг/м³.

2) Сероводород H₂S. Измеряется в PPM. 1PPM (H₂S) = 1,42 мг/м³. Предел отображения – 100 PPM (142 мг/м³). Прибор фиксирует в памяти значения и выше предела измерения (120 PPM).

3) Кислород O₂. Измеряется в процентах от объема воздуха. Предел измерения – 30,0%.

4) Метан CH₄. Измеряется в PPM. 1PPM (CH₄) = 0,67 мг/м³. Предел измерения – 100 PPM (67 мг/м³).

Прибор представляет результаты замеренных данных в виде следующего графика (см. рис. 1.3.2.3.2).

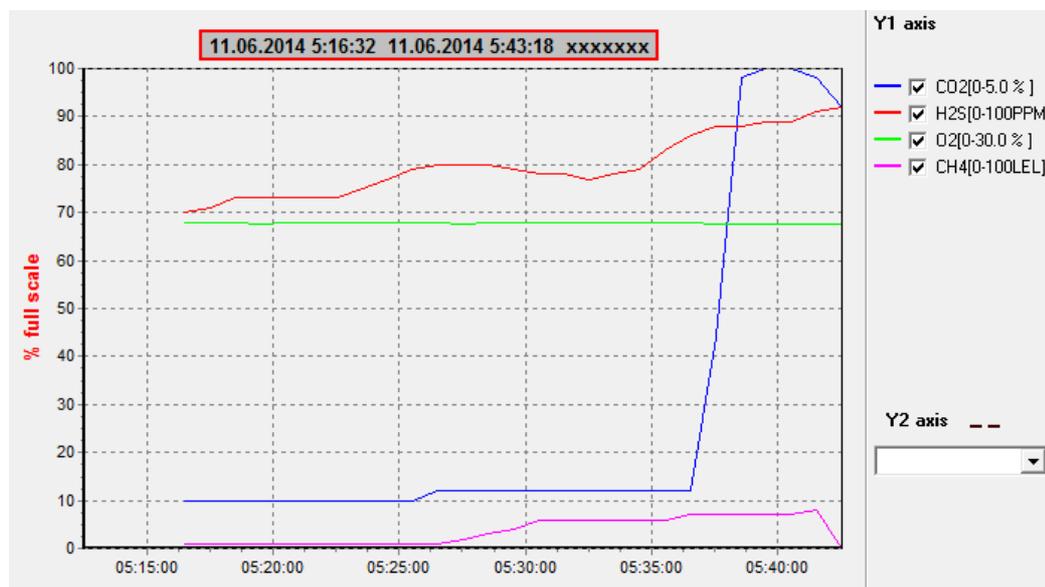


Рисунок 1.3.2.3.2 – Пример построения графика изменений концентраций газов прибором VM-25

Здесь по оси абсцисс откладывается время измерения, а по оси ординат – значение концентрации в процентах (full scale) от предела измерения. Т.е. в момент времени 05:25:00 значение концентрации кислорода – 68% от предела измерения (30%). Таким образом, концентрация кислорода составляет $68/100 \cdot 30 = 20,4\%$ от объема воздуха.

Предельно допустимые концентрации

Данные о предельно-допустимых концентрациях в воздухе рабочей зоны взяты из действующих нормативных документов [25, 40] и представлены в табл. 1.3.2.3.1

Таблица 1.3.2.3.2 – Предельно-допустимые концентрации газов в воздухе рабочей зоны

Наименование газов	ПДК, Запись в нормативе	Значение ПДК в единицах измерения, настроенных у VM-25 (при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)
Углекислый газ CO_2 .	Максимальная 27000 мг/м^3	2,3%
	Среднесменная 9000 мг/м^3	0,78%
Сероводород H_2S .	10 мг/м^3	7 PPM
Метан CH_4	7000 мг/м^3	Много выше предела измерения

1.3.2.4 Проведение химического анализа сточной жидкости

Химический анализ сточной жидкости в данном случае не имеет того значения, который имеет анализ газовой среды коллектора или шахты, т.к. именно концентрация газов является основным и самым главным показателем процесса коррозионного разрушения.

Тем не менее, показатели химического состава сточной жидкости, транспортируемой по рассматриваемому коллектору, можно сравнить с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) на сброс в городскую канализацию [68] и установить, в каких условиях эксплуатируется канализационная система. Как показала практика, сброс концентрированных стоков с концентрациями выше ПДК, приводит к большим значениям концентраций вредных газов в атмосфере коллектора и шахт на нем, и, соответственно, коррозия протекает ускоренными темпами. В тоже время установить абонентов, осуществляющих нерегламентный сброс стоков с помощью химического анализа сточных вод достаточно сложно.

Отбор проб осуществляется в течение определенного времени (8 часов) с интервалом в 1 час. Это позволяет выявить динамику изменения концентраций загрязняющих веществ в сточных водах и газах в течение наиболее активной деятельности промышленных предприятий.

Точка отбора проб выбирается в месте, где имеется возможность беспрепятственного забора воды в емкость без риска для жизни.

В данном случае был проведен отбор проб в шахте №122Б через имеющиеся в металлическом перекрытии люки. Отбор проб производился в шахте №122Б, так как она является целевым узлом транспортирования стоков для обследуемого участка коллектора.

Для оценки состояния сточных вод в процессе опытов измерялись рН, наличие взвешенных и растворенных веществ, ХПК, БПК₅, растворенный кислород, наличие фосфатов, азота, нефтепродуктов, хлоридов, сульфатов, фенолов, АПАВ. Определение показателей было выполнено лабораторией ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

1.3.2.5 Анализ температуры и влажности

В Шахте №10 для того, чтобы отследить, есть ли прямая взаимосвязь между температурой концентрациями сероводорода в пределах шахты, был использован специальный прибор ТЛАД MPS 430, российского производства. Прибор имеет возможность непрерывно в течение 160 часов фиксировать значения температуры и влажности среды, в которой он размещен. Прибор представлен на рис. 1.3.2.3.3.



Рисунок 1.3.2.3.3 – Прибор для измерения температуры и влажности среды
ТЛАД MPS 430

1.3.2.6 Микробиологический анализ

Для проведения микробиологического анализа в шахтах №10 и №8 был приглашен микробиолог, к.б.н., доцент кафедры микробиологии СПбГУ Дмитриева Е.Ю. Целью анализа было получение данных об активности процессов микробиологического и химического разрушения материалов. Микробиологические исследования проводились в следующей последовательности: 1. Проведение отбора проб с поврежденных материалов, оценка степени разрушения; 2. Оценка кислотности образцов (рН, %- содержание кислоты); 3. Оценка количественного содержания в образцах основных групп микроорганизмов-биодеструкторов (сапрофитных микроорганизмов, грибов-микромикетов, аммонифицирующих бактерий, нитрифицирующих бактерий, сульфат-редукторов, трех групп тионовых бактерий)

Результаты, полученные в результате микробиологического анализа, были использованы автором для подтверждения описанных в разделе 1.2 положений.

1.3.3 Результаты комплексных экспериментальных исследований

1.3.3.1 Шахта №10

1) Техническая характеристика

Таблица 1.3.3.1.1 – Техническая характеристика Шахты №10

Функциональное назначение	Организация подключения стоков через перепад, отключение подводящего коллектора, присоединение потока
Геометрические параметры	Глубина 16 м, внутренний диаметр ствола - 7,3 м
Конструкция	Шахта строилась по методу «стена в грунте». Ствол шахты выполнен из железобетона и защищен с внутренней стороны железобетонной рубашкой. Перекрытия и водобойная стенка у перепада – также железобетонные.
Технологическое оснащение	Лестницы и ограждения выполнены из черного металла
Гидравлические особенности	Условия для интенсивной дегазации создаются за счет работы перепада практического профиля и соединения в водобойном колодце падающего с перепада потока со сточной жидкостью от подключения.

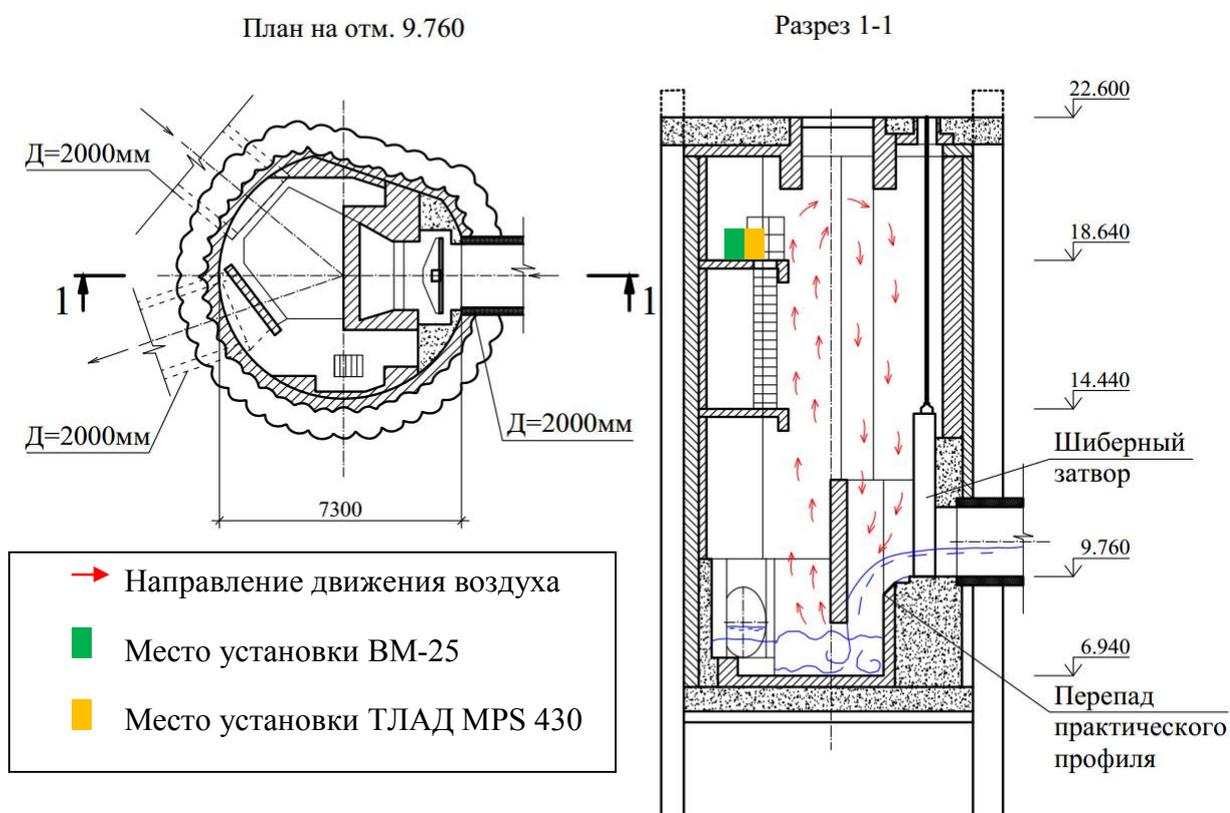


Рисунок 1.3.3.1.1 – Конструкция шахты №10

2) Результаты визуального обследования



Рисунок 1.3.3.1.2 – Результаты осмотра конструкций Шахты №10

А, Б – верхнее перекрытие Шахты №10; В – вид сверху на перепад практического профиля и шиберный затвор

В ходе обследования было выявлено значительное разрушение строительных конструкций шахты. Железобетонные стенки представляли собой кашеобразную массу, легко деформируемую. Прокорродировавший слой бетона составил порядка 40 – 50 мм. Местами имелась оголенная арматура. Разрушение стержней ограждений составило практически 50% от их изначального диаметра. Серьезно повреждены лестницы. По внешним признакам Шахта №10 находилась на третьей стадии развития микробиологической коррозии. Состояние Шахты №10 может быть оценено как аварийное, т.к. существует реальная опасность обрушения конструкций.

3) Результаты анализа газовой среды и температуры

Исследования в Шахте №10 проводились дважды.

I опыт. Первый раз замер концентраций газов был произведен в период с 17.05.2011 по 19.05.2011. В результате были зафиксированы показания по сероводороду – 57 PPM (максимальная концентрация) и 16 PPM (средняя). В

целом за период измерения значения концентраций H_2S меняются скачкообразно, что свидетельствует о неравномерности сброса сточных вод в систему канализации. Максимальная концентрация углекислого газа составила 1,1%, средняя – 0,4%. Данные значения ниже ПДК. Температура воздуха внутри шахты составила 20 °С.

II опыт. Второй опыт по замеру концентраций газов был осуществлен в период с 07.07.2011 по 09.07.2011. В это время (в июле) температура воздуха была выше, и была возможность оценить, насколько выше будет среднее значение концентрации H_2S при таких условиях. Wells и Melchers в работах [123], [99] показывали, что температура влияет на интенсивность процесса коррозии.

На рис. 1.3.3.1.3 представлены результаты замеров температуры воздуха внутри Шахты №10 и замеров концентраций газов в течение одного временного периода. Из рис. 1.3.3.1.3 видно, что резкое снижение концентрации сероводорода в период с 16:00 по 18:00 и с 20:00 до 20:30 никак не отражается на графике изменения температуры. Однако средние и максимальные концентрации H_2S за второй период измерения значительно выше, чем в опыте I (максимальная – 120 PPM, средняя – 59 PPM). Графики изменения концентраций газов (См. Приложение А) для II опыта характеризуются резкими возрастаниями и снижениями концентраций сероводорода, что говорит о том, что в этот период осуществлялись залповые сбросы сточных вод с концентрациями, значительно превышающими ПДК. Таким образом, можно подтвердить, что с одной стороны, с увеличением температуры происходит интенсификация процессов коррозии, однако температура не является первостепенным фактором, в отличие от расхода, состава и неравномерности поступления сбрасываемых в канализацию сточных вод.

Концентрации углекислого газа, зафиксированные в течение времени II опыта, также являются экстремально высокими: 4,9% – средняя (превышение среднесменного значения ПДК в 6 раз), 6,0% – максимальная.

Чрезвычайно высокие концентрации вредных газов в Шахте №10 объясняются еще и тем, что выше по течению жидкости имеется камера гашения

напора, принимающая сточные воды от напорных водоводов от КНС «Пискаревская».

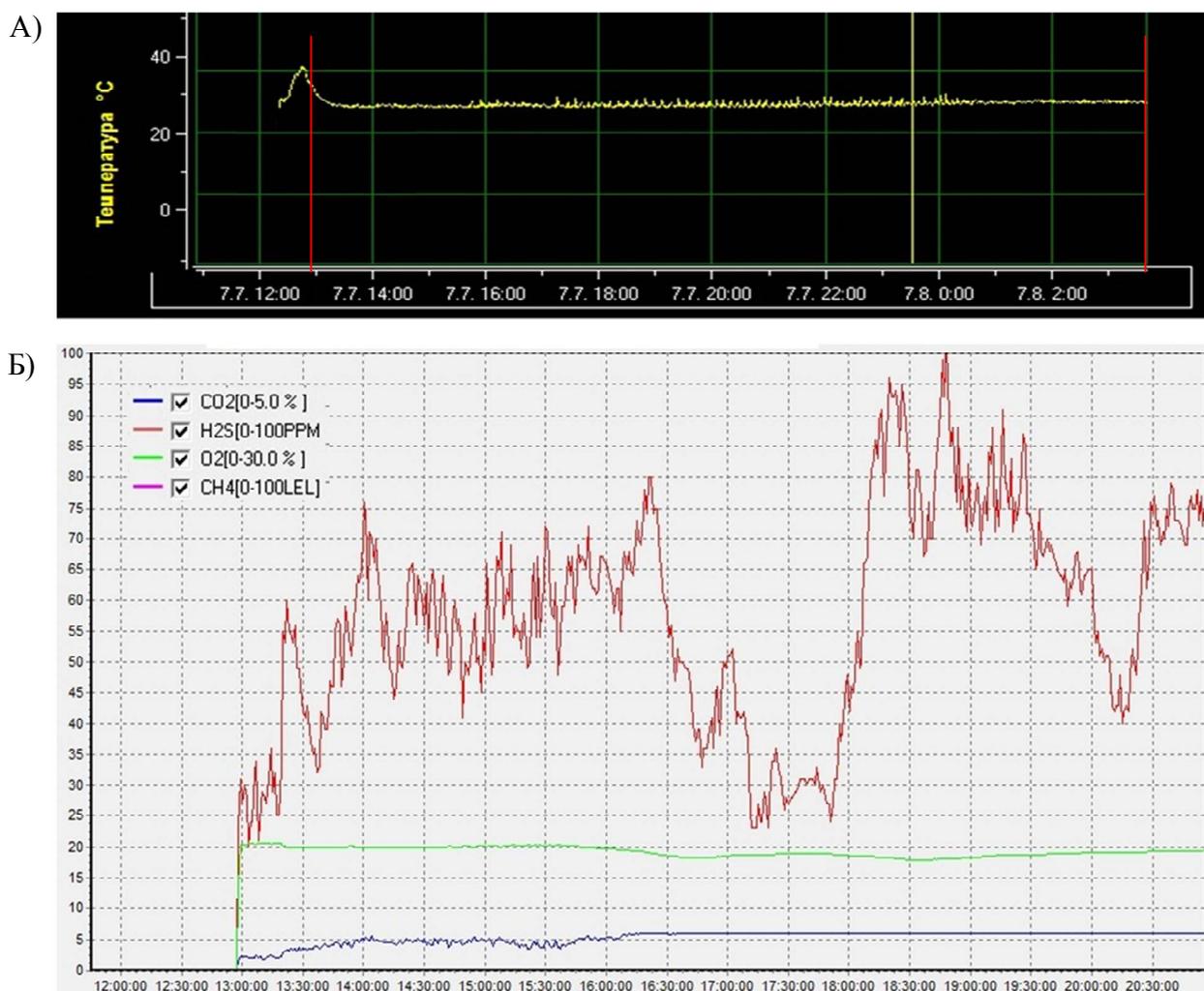


Рисунок 1.3.3.1.3 – графики А) изменения температуры в период с 12:57 7 июля 2011 по 04:38 9 июля 2011 года Б) изменения концентрации газов (O_2 , H_2S , CO_2 , CH_4) в шахте №10 в период с 12:57 7 июля 2011 по 20:57 7 июля 2011 года.

4) Результаты микробиологического анализа

В Шахте №10 под руководством микробиолога к.б.н. Е.Ю. Дмитриевой были проведены отборы проб с различных поверхностей в целях установления численности различных групп микроорганизмов, вовлеченных в процесс коррозии.

Результаты представлены в табл. 1.3.3.1.2

Таблица 1.3.3.1.2 – Содержание отдельных групп микроорганизмов на поверхностях строительных конструкций шахты №10

Место отбора пробы,	Тип пробы	рН	Содержание H ₂ SO ₄	Содержание отдельных групп микроорганизмов (КОЕ, кл/г)				
				Грибы-микромицеты	СРБ	НСОМ	АСОМ	Железо-разрушающие тионовые бактерии
Бетонная стена (отм. +14.400),	Беловатый налет	3,0	0,7%	9,5·10 ⁵ Очень высокое	10 ³ Высокое	6,0·10 ¹ Среднее	5·10 ¹ Среднее	Не выявл.
Бетонная стена (отм. +14.400), имеет рыжеватый цвет.	Слизистый налет	4,0	0,55%	5,5·10 ⁶ Очень высокое	10 ⁴ Высокое	2,5·10 ² Среднее	1,2·10 ² Среднее	1,3·10 ² Среднее
Металлическое ограждение	Слизистый железобразный налет толщиной 3 мм с крупинками металла	3,0	3,3%	4,5·10 ⁶ Очень высокое	10 ⁴ Высокое	2,5·10 ² Среднее	6,0·10 ¹ Среднее	7·10 ³ Высокое

Из полученных результатов следует, что решающую роль в разрушении железобетонных конструкций Шахты №10 играют грибы-микромицеты, которые представлены в очень высокой численности. Нейтрофильные (НСОМ) и ацидофильные (АСОМ) бактерии также присутствуют в большом количестве, продуцируют серную кислоту, что выражается в ее высоком содержании (и, соответственно, низком значении рН). Интересным фактом является и наличие

большого содержания анаэробных сульфатредуцирующих бактерий (СРБ), продуцирующих сероводород. Находясь под слоем продукта коррозии и не имея доступа кислорода, они активно развиваются, и процесс коррозии не будет прекращен даже в случае выключения шахты из работы (переключения сточных вод).

На металлических ограждениях зафиксирована очень высокая численность железо-разрушающих тиобацилл (*Thiobacillus ferrooxidans*). Продуцируемая ими кислота, наряду с возможной электрохимической коррозией, способствует активному разрушению технологического оснащения шахты.

В целом результаты микробиологического анализа соответствуют положениям раздела 1.2 настоящей работы и соотносятся с техническим состоянием строительных конструкций Шахты №10.

1.3.3.2 Шахта №8

1) Техническая характеристика

Таблица 1.3.3.2.1 – Техническая характеристика Шахты №8

Функциональное назначение	Смотровая шахта, предназначенная для спуска людей и оборудования. Также в шахте осуществляется поворот коллектора (D=2000мм) на 10°.
Геометрические параметры	Глубина шахты 19,4 м, внутренний диаметр ствола – 9,0 м
Конструкция	Шахта была устроена методом забивки свай с последующей выемкой грунта и созданием монолитного железобетонного ствола. Ствол шахты защищен с внутренней стороны железобетонной рубашкой. Перекрытия и опорные балки выполнены из композитных материалов.
Технологическое оснащение	Лестницы и ограждения выполнены из композитного профиля.
Гидравлические особенности	В шахте осуществляется изменение направления движения жидкости. Подключения отсутствуют. Поток сточной жидкости, проходящий по шахте, не характеризуется повышенной турбулентностью.

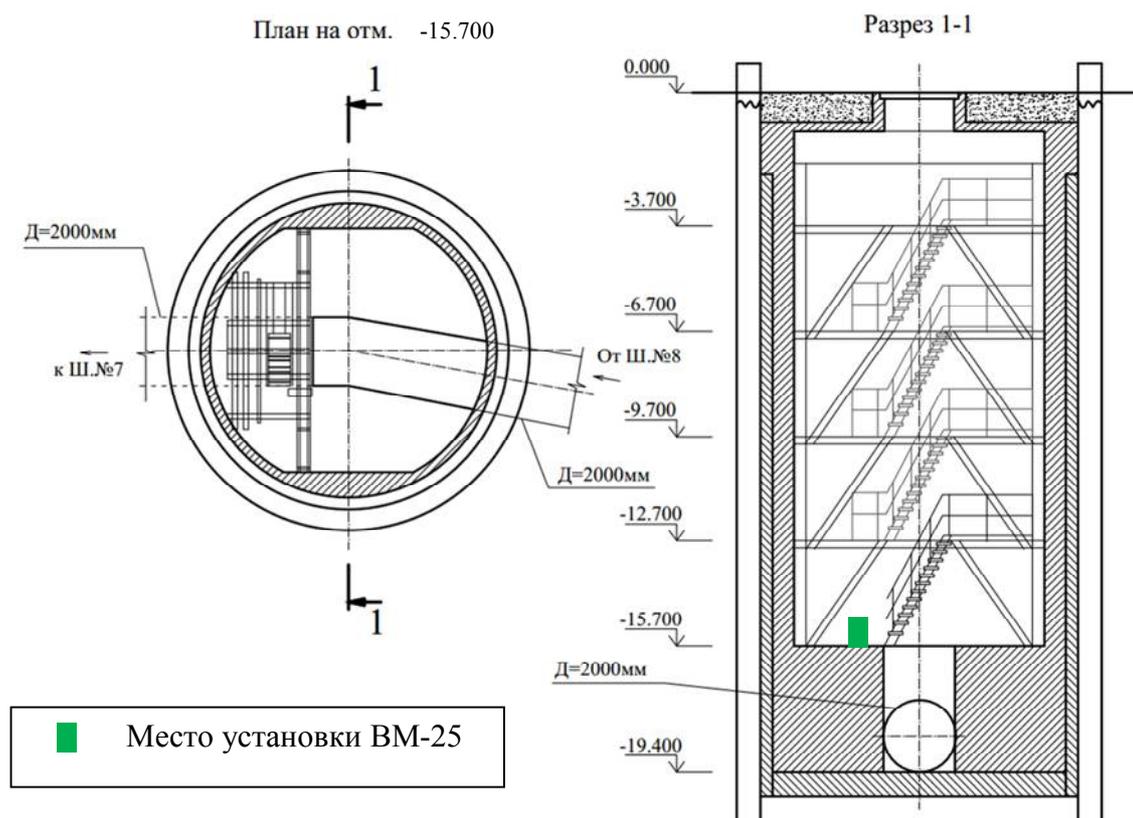


Рисунок 1.3.3.2.1 – Конструкция шахты №8

2) Результаты визуального обследования



Рисунок 1.3.3.2.2 – Результаты осмотра конструкций Шахты №8

А – композитные конструкции в стволе шахты; Б – банкет шахты

В процессе обследования отмечены разрушение железобетонной рубашки в отдельных местах до 30 – 40 мм. Оголенной арматуры не обнаружено, однако на поверхности железобетонных конструкций имеются многочисленные ржавые подтеки. Частично повреждены перекрытия из композитного материала в верхней части. Состояние лестниц и ограждений – исправное. По результатам визуального

осмотра техническое состояние Шахты №8 можно оценивать как ограниченно работоспособное, вызывающее опасения.

3) Результаты анализа газовой среды

Изменение концентрации H_2S в Шахте №8 происходило в зависимости от времени суток (со снижением в ночные часы) и имело плавный характер. Кратковременных пиковых концентраций не зафиксировано. Максимальная концентрация H_2S составила 43 PPM, средняя – 11 PPM. В шахте осуществляется лишь поворот потока, поэтому повышенные концентрации сероводорода объясняются влиянием расположенной выше по движению стоков Шахты №10.

Концентрация CO_2 за период измерения не превысила 1,4%. Также следует отметить сравнительно низкую среднюю концентрацию кислорода – 18,3% - меньше, чем в любой другой из исследованных шахт. Это можно объяснить отсутствием перепада как устройства, увлекающего воздух.

Шахта №8 расположена вслед за интенсивно разрушающейся Шахтой №10, и это оказывает на нее значительное воздействие.

4) Результаты микробиологического анализа

Результаты определения численности различных групп микроорганизмов, а также содержания кислоты на поверхности конструкций шахты №8 представлены в табл. 1.3.3.2.2. Из приведенных данных можно сделать вывод, что композит проявляет определенную устойчивость к образуемой микроорганизмами кислоте. Поэтому кислота не пропитывает материал, а остается на его поверхности (рН 1). Это привело к значительному отмиранию тионовых бактерий, чувствительных к такой кислотности (ниже порога-выявления). Железобетонные конструкции также как и в Шахте №10, подвержены интенсивному разрушению. При этом отмечается очень высокая численность грибов-микросциетов.

Таблица 1.3.3.2.2 – Содержание отдельных групп микроорганизмов на поверхностях строительных конструкций шахты №10

Место отбора пробы,	Тип пробы	рН	Содержание H ₂ SO ₄	Содержание отдельных групп микроорганизмов (КОЕ, кл/г)				
				Грибы-микровицеты	СРБ	НСОМ	АСОМ	Железо-разрушающие тионовые бактерии
Композитные перила, отм. -15.700	Слизистый налет коричневого цвета	1-2	1,7%	3,5·10 ⁶ Очень высокое	10 ³ Высокое	Не выявл.	Не выявл.	Не выявл.
Композитные стойки, отм. -15.700	Слизистый налет толщиной 3 мм, снизу коричневый, сверху серый	1	3,2%	3,5·10 ⁶ Очень высокое	10 ² Среднее	Не выявл	7,0·10 ⁵ Очень высокое	Не выявл
Бетонная стена отм. -15.700	Рыхлый разрушенный слой бетона на глубину 2-3 см.; верхн слой 4-5 мм – цвета светлой охры	4	0,19%	2,1·10 ⁴ Высокое	10 ⁴ Высокое	6,0·10 ¹ Среднее	6,0·10 ⁴ Очень высокое	2,8·10 ⁵ Очень высокое
Пол на отм. - 15.700	Материал с разрушающихся бетонных стен и вероятно, пола, в лужах конденсата	4,5	3,9%	2,4·10 ⁷ Очень высокое	10 ³ Высокое	6,0·10 ¹ Среднее	2,0·10 ² Среднее	2,5·10 ⁷ Очень высокое
Композитные балки и стройки на отм. -3.700	Слизистый черный слой толщиной 1-1,5 мм	1	2,7%	5,8·10 ⁶ Очень высокое	10 ³ Высокое	6,0·10 ¹ Среднее	1,3·10 ³ Высокое	2,5·10 ² Среднее

В целом результаты микробиологического анализа соответствуют положениям раздела 1.2 настоящей работы и соотносятся с техническим состоянием строительных конструкций Шахты №8 – при этом на материалах присутствуют послойно все рассмотренные виды микроорганизмов.

1.3.3.3 Шахта №7

1) Техническая характеристика

Таблица 1.3.3.2.1 – Техническая характеристика Шахты №7

Функциональное назначение	В шахте осуществляется поворот коллектора (Д=2000мм) на 20°. и организуется подключение от сети мелкого заложения (Д=900мм)
Геометрические параметры	Глубина шахты 21,9 м, внутренний диаметр ствола – 7,2 м
Конструкция	Ствол шахты собран из железобетонных тюбингов и защищен с внутренней стороны железобетонной рубашкой. Перекрытия железобетонные.
Технологическое оснащение	Лестницы и ограждения выполнены из черного металла
Гидравлические особенности	В шахте осуществляется изменение направления движения жидкости. Подключение выполнено в виде трубчатого перепада с водобойным колодцем.

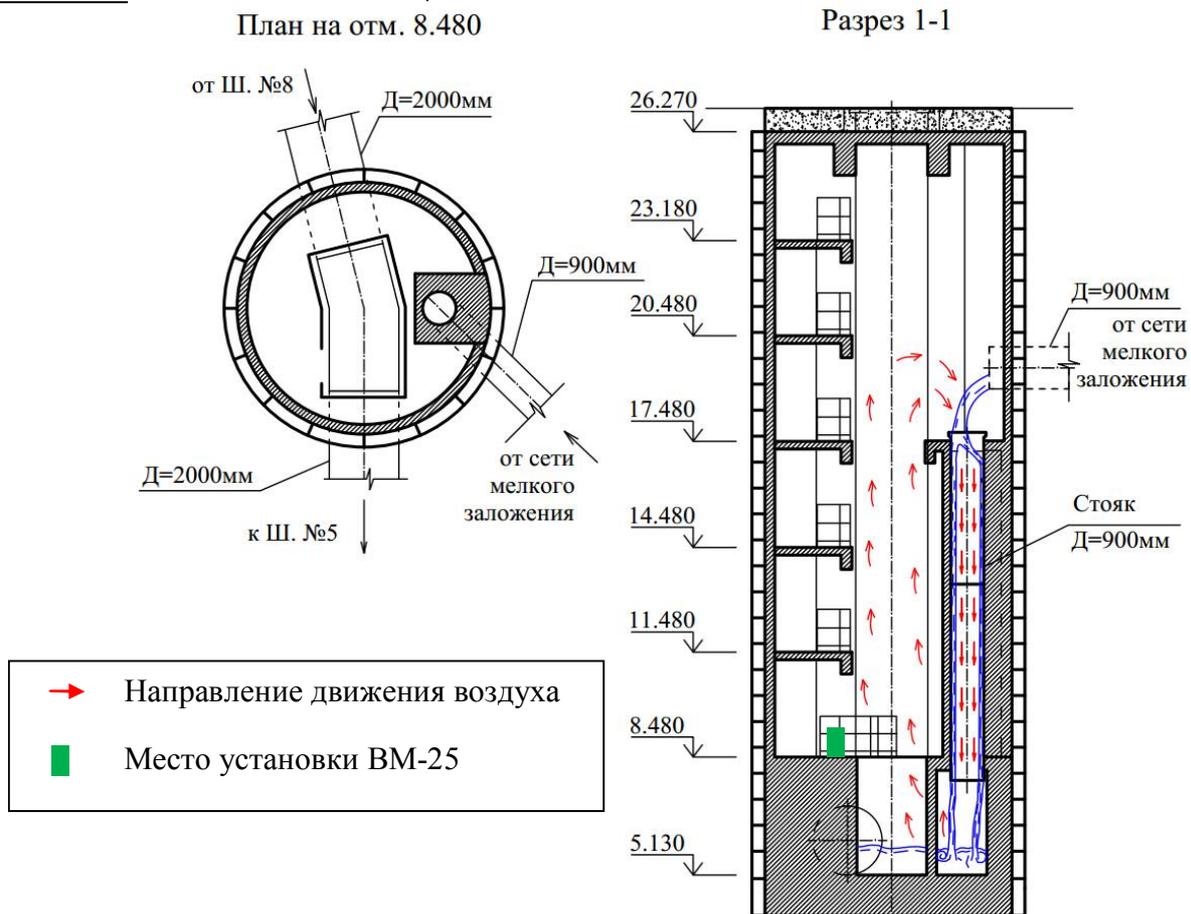


Рисунок 1.3.3.3.1 – Конструкция шахты №7

2) Результаты визуального обследования

В процессе обследования зафиксированы разрушения железобетонной рубашки с толщиной разрушенного слоя до 30 мм. Оголенной арматуры не обнаружено. Железобетонные конструкции шахты в районе банкета имеют многочисленные ржавые подтеки. Лестницы и ограждения корродируют достаточно интенсивно – практически полностью покрыты ржавчиной, однако прочность на момент осмотра сохранялась. Состояние шахты может быть оценено как ограниченно работоспособное. Фотофиксация строительных конструкций Шахты №7 представлена на рис. 1.3.3.3.2.



Рисунок 1.3.3.3.2 – Результаты осмотра конструкций Шахты №7

А – Банкет шахты; Б – стенка; В – перекрытие (на отм. 11.480); Г – металлическое ограждение

3) Результаты анализа газовой среды

Замер концентраций газов в Шахте №7 был произведен в период с 07.06.2011 по 09.06.2011. Концентрация сероводорода плавно изменялась в течение суток, практически не опускаясь ниже ПДК. Средний уровень концентрации сероводорода составил 21 PPM, максимальный – 43 PPM. Концентрации углекислого газа составили 1,0% (средняя) и 1,8% (максимальная). При этом время возрастания концентраций обоих газов совпадает. Указанные значения выше в сравнении с Шахтой №8, что объясняется наличием в Шахте №7 дополнительного подключения.

1.3.3.4 Шахта №1

1) Техническая характеристика

Таблица 1.3.3.4.1 – Техническая характеристика Шахты №1

Функциональное назначение	Смотровая шахта, предназначенная для спуска людей и оборудования. Также в шахте осуществляется поворот коллектора (D=2400 мм) на 45°
Геометрические параметры	Глубина – 12,7 м, диаметр – 6,6 м.
Конструкция	Шахта была построена путем забивки свай и создания в их контуре монолитного железобетонного ствола. Внутренняя поверхность шахты защищена железобетонной рубашкой.
Технологическое оснащение	Лестницы и ограждения выполнены из нержавеющей стали
Гидравлические особенности	В шахте осуществляется поворот потока на 45°. Подключения, в том числе в виде перепадных устройств, отсутствуют.

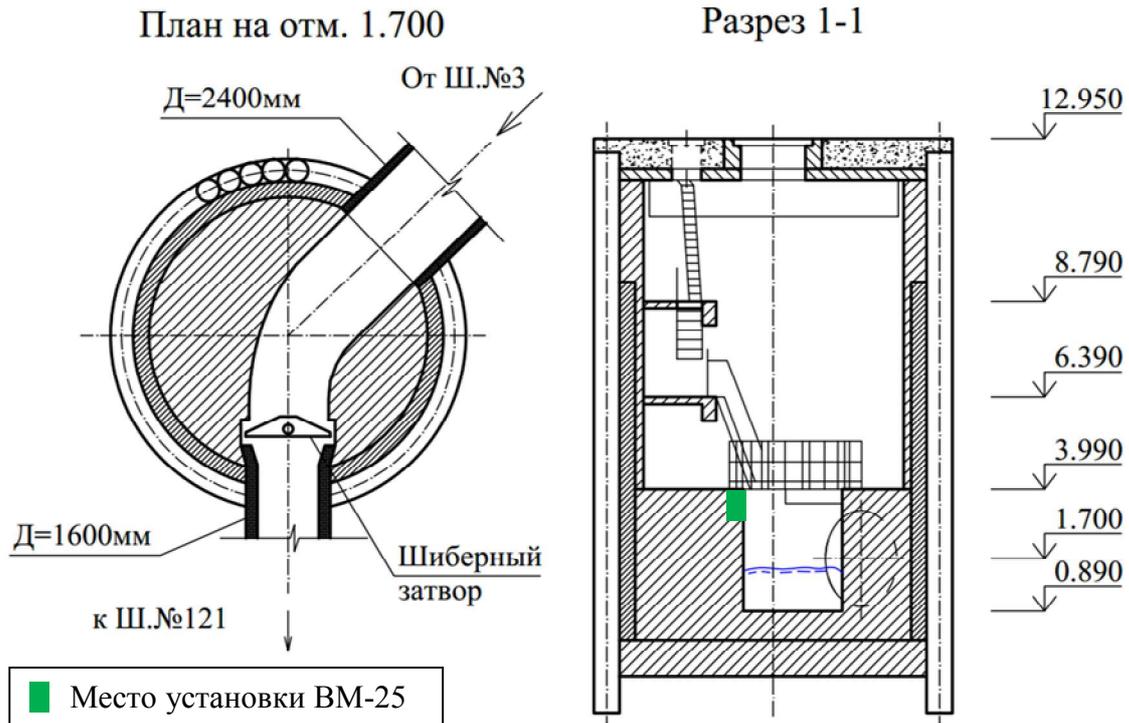


Рисунок 1.3.3.4.1 – Конструкция шахты №1

2) Результаты визуального обследования

Фотофиксация строительных конструкций шахты №1 представлена на рис.

1.3.3.4.2

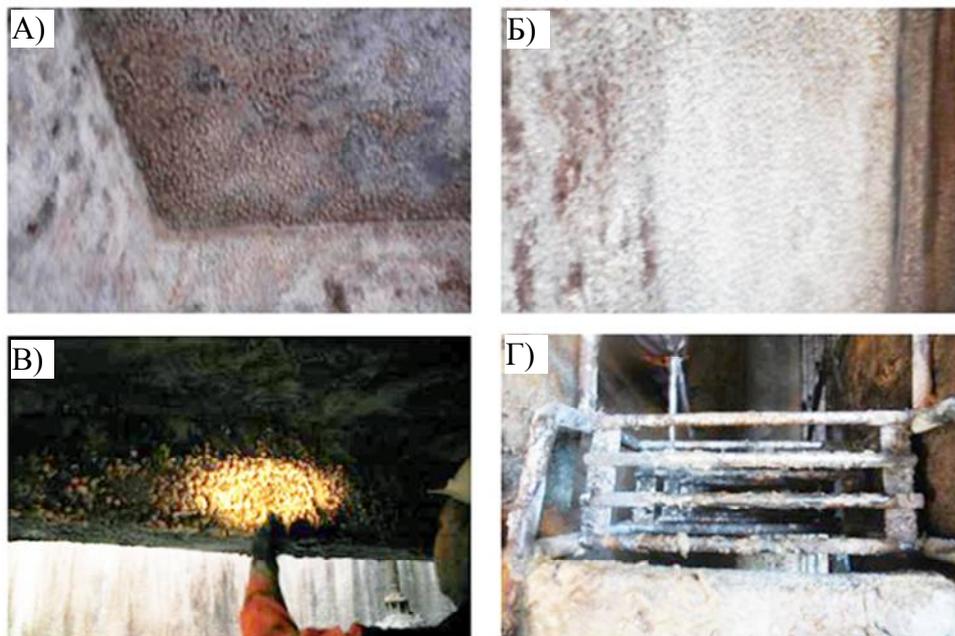


Рисунок 1.3.3.4.2 – Результаты осмотра конструкций Шахты №1

А – Банкет шахты; Б – стенка; В – перекрытие (на отм. 11.480); Г – металлическое ограждение

В процессе обследования были зафиксированы локальные разрушения железобетонной рубашки. Оголенной арматуры не обнаружено. Отмечается наличие налета на лестницах и перилах, однако материал не разрушается. Шахта находится в рабочем состоянии и не вызывает опасений.

3) Результаты анализа газовой среды

Замер концентраций газов в Шахте №1 был произведен в период с 22.06.11 по 24.06.11. Значения концентрации сероводорода (среднее – 11 PPM, максимальная – 23 PPM) – ниже, чем в шахтах, расположенных выше по течению сточной жидкости (Ш.№10, Ш.№8, Ш.№7). В тоже время концентрации углекислого газа предельно высоки – 6 PPM (средняя и максимальная). Учитывая исправное состояние как несущих конструкций, так и технологического оснащения, можно подтвердить положение о том, что решающую роль в процессах разрушения играет именно сероводород.

1.3.3.5 Шахта №123

1) Техническая характеристика

Таблица 1.3.3.5.1 – Техническая характеристика Шахты №123

Функциональное назначение	Поворот коллектора (Ду=1800 мм) на 63°, подключение от сети мелкого заложения (Ду = 1500 мм)
Геометрические параметры	Глубина – 16,5 м, диаметр 8,5 м.
Конструкция	Ствол шахты выполнен из железобетонных тубингов, защищен железобетонной рубашкой со слоем штукатурки. Перекрытия также выполнены из железобетона. Стояк перепада выполнен из чугунных труб, заключенных в железобетонный короб.
Технологическое оснащение	Лестницы и ограждения выполнены из нержавеющей стали
Гидравлические особенности	Наличие трубчатого перепада с падением жидкости в водобойный колодец, в котором происходит также и изменение направления течения транзитного потока сточной жидкости, создает условия для повышенной дегазации. Наблюдается круговое движение воздуха в пределах шахты – от водобойного колодца вверх до входной воронки стояка, куда воздух увлекается за счет разрежения и направляется вместе со сточной жидкостью обратно в водобойный колодец.

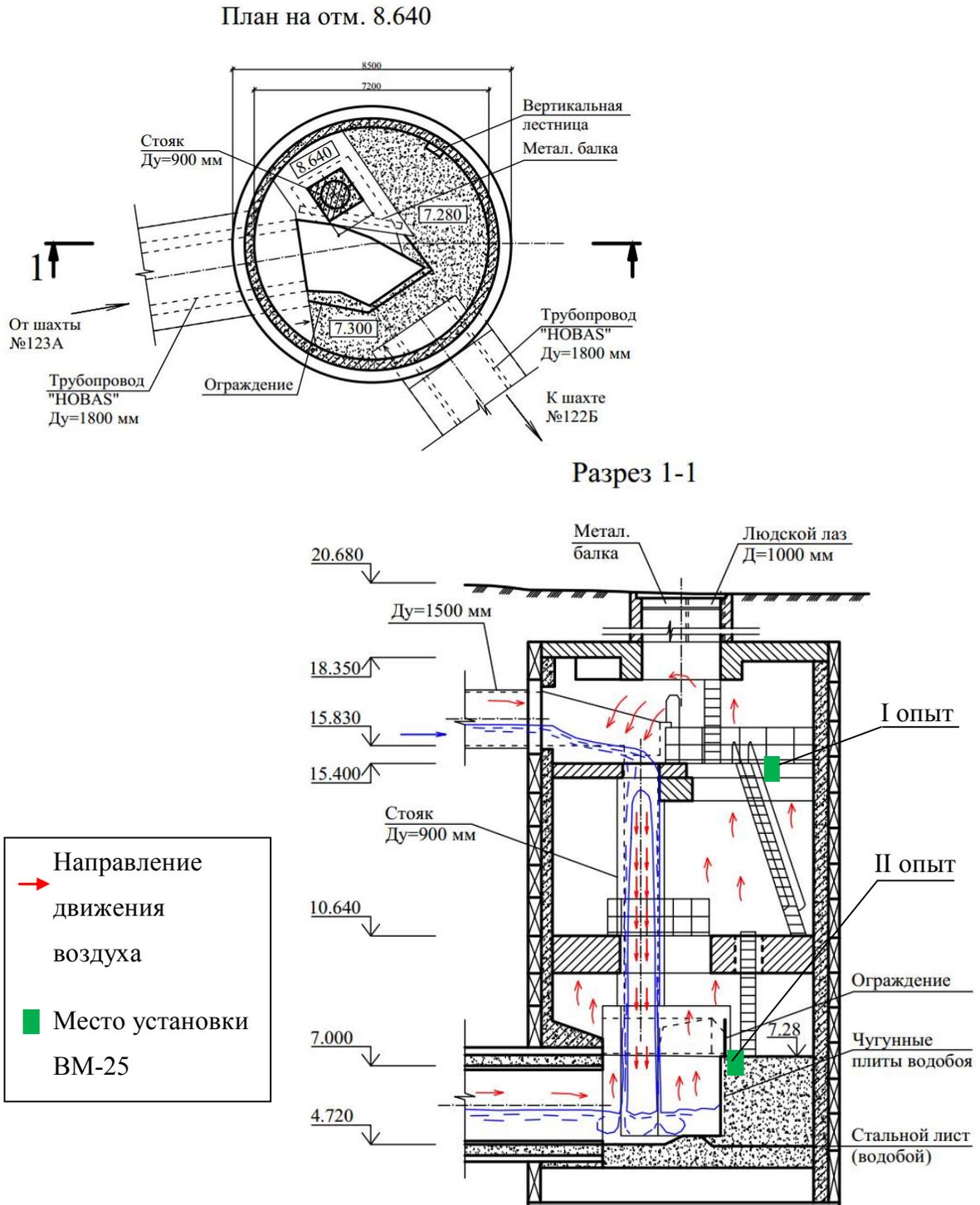


Рисунок 1.3.3.5.1 – Конструкция шахты №123

2) Результаты визуального обследования

Визуальное обследование строительных конструкций Шахты №123 показало наличие активных процессов разрушения. По всей шахте наблюдались места образования и выхода на поверхность гипса. Толщина разрушенного слоя бетона различна, в среднем составляла 10 – 20 см.

Ржавые подтеки на железобетонных конструкциях свидетельствовали о коррозии арматуры. Лестницы и ограждения из нержавеющей стали в отдельных местах были покрыты ржавчиной, однако в целом находились в работоспособном состоянии.

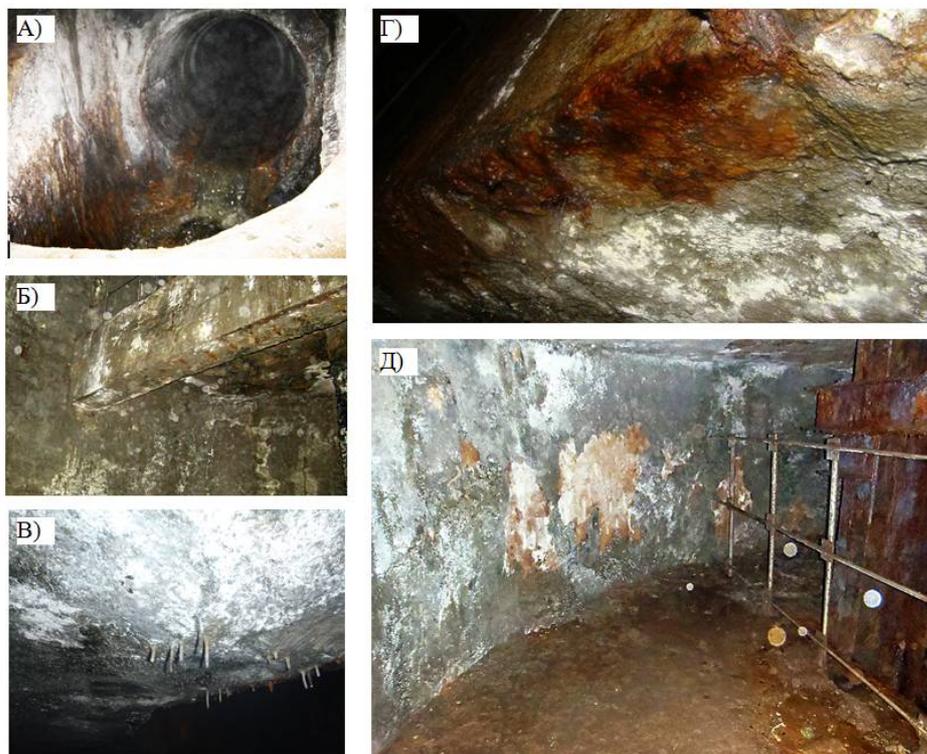


Рисунок 1.3.3.5.2 – Результаты осмотра конструкций Шахты №123

А – входная воронка стояка перепада; Б – балка под верхним перекрытием (оголение стержней арматуры); В – активное выделение продуктов коррозии на нижнем перекрытии; Г – Биологическая пленка на среднем перекрытии; Д – отслоение штукатурки на стенках шахты и коррозия металлических балок в стволе шахты.

3) Результаты анализа газовой среды

I опыт. Первый анализ состава газовой среды шахты №123 был осуществлен в период с 27.03.2014 по 30.03.2014. Газоанализатор был размещен на нижнем перекрытии, максимально близко к зоне интенсивной дегазации (водобойному колодцу). Полученные графики изменения концентраций газов, представленные в Приложении А, соответствовали практически идеальным условиям существования сооружения: средняя концентрация сероводорода составляла 0 PPM, концентрация углекислого газа лишь периодически достигала

0,125%, а метана – менялась в пределах 1 – 2,5 PPM. Концентрация кислорода стабильно составляла 21%. Все это полностью противоречило результатам осмотра строительных конструкций шахты. Очевидно, что шахта работает в различных гидравлических режимах, и выбранный период измерений попал как раз на момент, когда объем транспортируемых через шахту стоков был не велик. Наполнение h/d в коллекторе, отводящем сточную воду в направлении Ш.№122Б, составляло $\sim 0,1 - 0,15$, что соответствует расходу сточных вод 150-300 л/с.

Положение о том, что Шахта №123 периодически работает в режиме, приводящем к разрушению ее конструкций, отчасти подтверждается последним графиком (см. приложение А – шахта №123). Здесь в момент разрядки аккумуляторной батареи ВМ-25 в последние 7 минут был зафиксирован резкий скачок концентрации CO_2 – до 5%. Концентрация метана возросла до 9,5 PPM. Иными словами, произошел залповый сброс концентрированных стоков в канализацию.

II опыт. Второй анализ состава газовой среды шахты №123 был осуществлен в период с 10.06.2014 по 11.06.2014. В этот раз наполнение h/d коллектора в направлении Шахты №122Б составляло более 0,8, и существовал риск затопления верхнего перекрытия, поэтому прибор был размещен на верхнем уровне. Концентрация сероводорода за измеряемый период ни разу не опустилась до значения ПДК рабочей зоны. При этом наблюдалась общая тенденция к увеличению концентрации H_2S , которая достигла своего максимума в 05:43– 92 PPM, что более чем в 13 раз превышает ПДК. Средняя концентрация H_2S в период измерения – 45-50 PPM, что является очень большим значением. Значения CO_2 в среднем колеблются относительно 0,5 %, однако начиная с 05:37 зафиксирован резкий скачок концентрации углекислого газа – до 5%. Подобные условия могут быть расценены как близкие к экстремальным.

Исходя из результатов обоих опытов, можно сделать вывод, что Шахта №123 функционирует в различных режимах, при этом периодически сооружение оказывается в условиях, способствующих интенсивному протеканию процесса коррозии, что отражается на состоянии его строительных конструкций.

1.3.3.6 Шахта №122Б

1) Техническая характеристика

Таблица 1.3.3.6.1 – Техническая характеристика Шахты №122Б

Функциональное назначение	Перепадная шахта, с подключением от сети мелкого заложения Д=700мм.
Геометрические параметры	Глубина – 18,4 м, диаметр – 5,5 м.
Конструкция	Ствол шахты выполнен из железобетона. Шахта имеет железобетонное перекрытие на отм. 11.000 и глухое металлическое перекрытие на отм. 7.500, которое разделяет сооружение на две зоны и имеет специальный клапан, открывающийся в случае подтопления шахты.
Технологическое оснащение	Лестницы и ограждения выполнены из нержавеющей стали
Гидравлические особенности	В шахте организован перепад практического профиля по которому сточные воды направляются на нижележащую отметку и по каналу длиной 3 м направляются к шахте №122А. Подключение выполнено в виде трубчатого перепада. Стояк перепада имеет диаметр 500 мм. На конце стояка устроен эжектор (Д = 300 мм). Входная воронка, выполненная из ПВХ, сообщается со стояком-воздушником. Стояк перепада и стояк-воздушник заведены на отметку ниже уровня глухого металлического перекрытия на отметке 7.500.

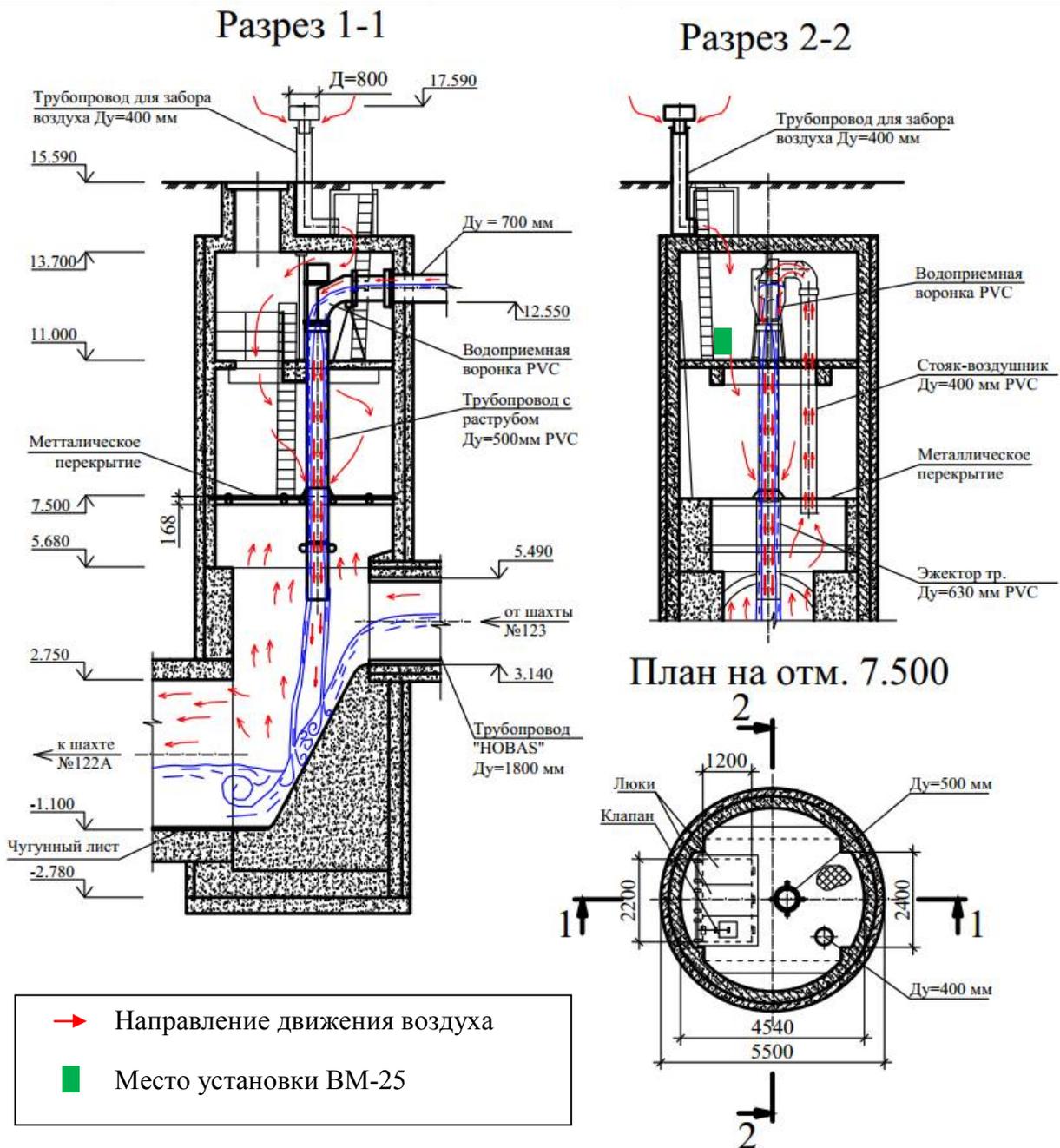


Рисунок 1.3.3.6.1 – Конструкция шахты №122Б

2) Результаты визуального обследования

В результате обследования конструкций Шахты №122Б, расположенных над металлическим перекрытием, их состояние как отмечается как работоспособное. Фотофиксация конструкций Шахты №122Б представлена на рис. 1.3.3.6.2.



Рисунок 1.3.3.6.2 – Результаты осмотра конструкций шахты №122Б выше металлического перекрытия

А – верхнее перекрытие, лестница, Б – лестница, ведущая на верхнее перекрытие, В – металлическое перекрытие (отм. +7.500), Г – пластиковая входная воронка; Д – расположение стояка и стояка-воздушника на отм. +7.500

На ограждениях имеются следы ржавчины, однако в целом технологическое оснащение не потеряло своей прочности. Следов разрушения железобетонных конструкций – стен, перекрытий не обнаружено. Условия функционирования для верхней части сооружения являются практически идеальными, и результаты анализа газовой среды, представленные ниже, подтверждают это. Подобная среда в сооружении создается за счет работы пластиковой входной воронки,

обеспечивающей движение воздуха вниз по стояку, и, затем, принимающей воздух от стояка воздушника. В месте перехода стояка в эжектор (на уровне перекрытия) происходит подсос воздуха и насыщение кислородом сточной жидкости, пребывающей в нижнюю часть шахты (см. рис. 1.3.3.6.1) Необходимо отметить, что данная мера не позволяет защитить непосредственно нижнюю часть шахты ниже металлического перекрытия в связи интенсивной дегазацией потока.

Доступ людей ниже металлического перекрытия шахты №122Б воспрещен. В тоже время по данным Службы эксплуатации канализационных тоннелей ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», в этой зоне происходит быстрое разрушение железобетона. В связи с этим нам было рекомендовано осмотреть соседнюю шахту №122А, находящуюся на расстоянии всего 3 м (длина подземного канала, соединяющего шахты) от шахты №122Б.

3) Результаты анализа газовой среды

Замер концентраций газов был произведен в период с 24.07.14 по 26.07.14 в верхней зоне Шахты №122Б. Зафиксированные значения концентраций соответствуют благоприятным условиям – средняя концентрация H_2S составила лишь 0,1 PPM при разовом скачке до 5 PPM. Концентрация кислорода стабильно составляла 20,9%. Отмечалось также присутствие метана в небольших концентрациях – в среднем, 0,1 PPM. Все подобные значения соответствуют наблюдаемой картине – практически полное отсутствие каких либо признаков повреждения строительных конструкций или технологического оснащения.

4) Результаты химического анализа сточной жидкости

Отбор проб был осуществлен в шахте №122Б через имеющиеся в металлическом перекрытии люки (см. рис. 1.3.3.6.2 В). Пробы отбирались в течение 8 часов с интервалом в 1 час. Определение показателей было выполнено

лабораторией ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Концентрации веществ в сточных водах представлены в Приложении Б.

Из таблицы, представленной в Приложении Б, видно превышение допустимых концентраций (согласно [68]) в сточных водах, транспортируемых по коллектору, что также может интенсифицировать процесс коррозии. Высокие значения по содержанию растворенного кислорода вызваны поступлением чистого воздуха в стояк перепада и прохождения массообменных процессов по насыщению кислородом сточной жидкости в районе водослива практического профиля. Из результатов экспериментов видно, что концентрации ингредиентов входящих в сточную жидкость в течение рассматриваемого периода колеблются в широких пределах. Одновременно с этим отмечается высокое содержание сульфатов до 810 – 1200 мг/л. Вместе с тем наблюдается также высокое содержание взвешенных (1160 мг/л) и растворённых веществ (890 мг/л) Это же относится и к другим ингредиентам, где колебание по нефтепродуктам от 0,96 мг/л до 3,0 мг/л. ХПК в концентрациях от 160 до 380 мг/л и БПК₅ от 66 до 280 мг/л свидетельствуют о большом количестве органических веществ, что характерно для сточных вод городской канализации. Количество азота 48 мг/л (аммонийный азот 25 мг/л) указывает на присутствие белковых соединений. Количество хлоридов 89 мг/л невелико. Показатель рН сточных вод имеет тенденцию к понижению (во время отбора проб 09:00 и 18:00 вода имела кислую реакцию рН = 4,3 и 4,7). Значения соответствующие кислому стоку соответствуют появлению сероокисляющих микроорганизмов.

В целом знание химического состава сточной жидкости не позволяет дать оценку или сделать прогноз о техническом состоянии объектов, в которых производится, но дает возможность оценить развитие процессов разрушения в сооружениях ниже по течению сточных вод.

1.3.3.7 Шахта №122А

1) Техническая характеристика

Таблица 1.3.3.7.1 – Техническая характеристика Шахты №122А

Функциональное назначение	В шахте осуществляется поворот потока на 45°, а также отеделение части сточных вод.
Геометрические параметры	Глубина – 16,7 м, диаметр – 4,5 м.
Конструкция	Шахта выполнена из железобетонных тубингов, защищенных с внутренней стороны железобетонной рубашкой
Технологическое оснащение	Лестницы и ограждения выполнены из черной стали
Гидравлические особенности	Поток сточных вод вместе с газами поступает от расположенной в 3 метрах Шахты №122Б по подземному каналу. В шахте осуществляется поворот потока на 45°. Часть расхода сточных вод направляется в перпендикулярном потоку направлении.

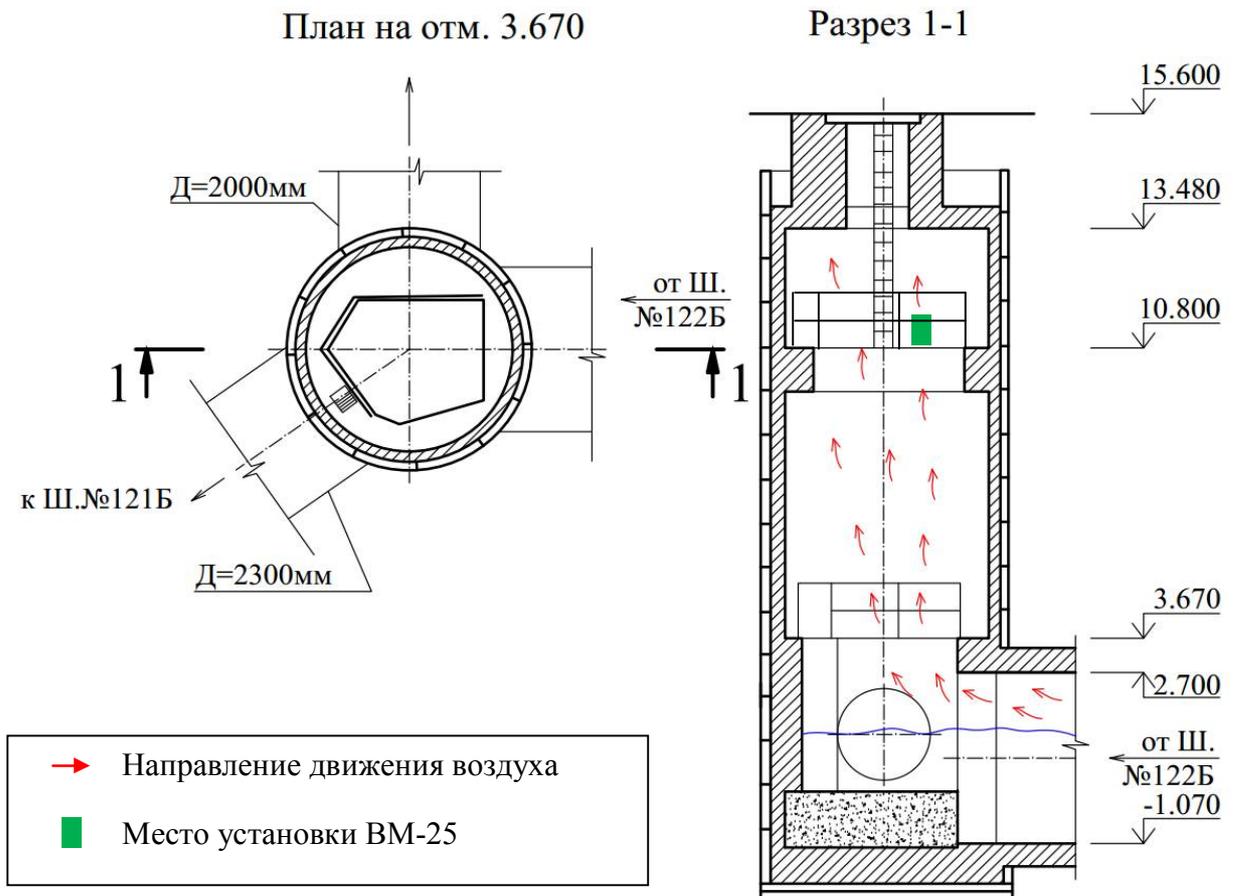


Рисунок 1.3.3.7.1 – Конструкция шахты №122А

2) Результаты визуального обследования

На фотографиях на рис. 1.3.3.7.2 представлены строительные конструкции шахты №122А на уровне верхнего перекрытия (отм. +10.800). Отмечается очень значительное коррозионное разрушение стен и технологического оснащения. На поверхности железобетонных конструкций повсеместно располагается слой продуктов коррозии бетона в виде белой кашеобразной массы. Возможно образование этtringита (см. рис. 1.3.3.7.2 Д). Многочисленные ржавые подтеки свидетельствуют о том, что процессы коррозии затронули и арматуру. Коррозия технологического оснащения из черного металла – 40 – 50% диаметра сечения.



Рисунок 1.3.3.7.2 – Результаты осмотра конструкций шахты №122А

А – верхнее перекрытие, лестница; Б – лестница, ведущая на нижнее перекрытие; В – ограждение; Г – стенка шахты; Д – обильный выход продукта коррозии на поверхность стенки шахты

Спуск по лестнице на рис.1.3.3.7.2 Б на нижнее перекрытие был запрещен службой эксплуатации в виде опасности ее обрушения. Пребывание людей в сооружении опасно для здоровья. Состояние шахты №122А может расцениваться как аварийное.

3) Результаты анализа газовой среды

Вывод, сделанный по результатам осмотра конструкций, подтверждается результатами анализа газовой среды сооружения. Измерение концентраций газов в шахте №122А производилось в период с 25.06.14 по 26.06.14. Показания, зафиксированные в этот период, оказались самыми высокими среди всех шахт, в которых нами производились исследования. За период измерения концентрация H_2S скачкообразно в течение каждого часа достигала значения в 7 – 14 раз превышающего ПДК (т.е. 70 – 100 PPM). Стоит отметить, что похожая тенденция наблюдалась и в шахте №123 (см. раздел 1.3.3.5), однако в шахте №122А пиковые концентрации сероводорода выше (120 PPM).

Похожим образом происходит изменение значений концентрации углекислого газа. Пиковые концентрации CO_2 составляют 1 – 1,5% за большую часть периода измерения. В момент окончания измерительного цикла концентрация CO_2 так же, как и в двух предыдущих опытах, достигла предельного значения в 5% (это вынуждает прибор давать сигнал об опасности, что приводит к быстрой разрядке его аккумуляторной батареи).

Также можно отметить несколько меньшее по сравнению с шахтой №123 содержание кислорода – менее 20%. Концентрация метана при этом незначительна – максимальное значение в 7 PPM было зафиксировано по окончании периода измерения, в момент залпового сброса, который выразился в высокой концентрации CO_2 .

1.3.3.8 Участок тоннеля между Ш. №123 – Ш.№122Б

1) Техническая характеристика

Таблица 1.3.3.8.1 – Техническая характеристика участка тоннеля между Ш.№123 – Ш.№122Б.

Функциональное назначение	Линейный объект общесплавной канализации, транспортирующий сточные воды от шахты №123 до шахты №122Б.
Геометрические параметры	Длина тоннеля – 615,2 м. Внутренний диаметр – 1800 мм.
Конструкция	Конструкция коллектора (железобетонные тубинги, бетонная/железобетонная рубашка) усилена путем протаскивания внутрь стеклопластиковых труб «Hobas Rohren» (PN1 SN5000 $L = 3,00$ м) с заполнением межтрубного пространства цементно-песчаным раствором.
Гидравлические особенности	Трасса коллектора характеризуется провалом на расстоянии ~15 м от шахты №123. За исключением этого места, коллектор уложен с уклоном 0,005 на первом участке ($L = 113$ м) и 0,0027 на большей части своей длины ($L = 502,2$ м).

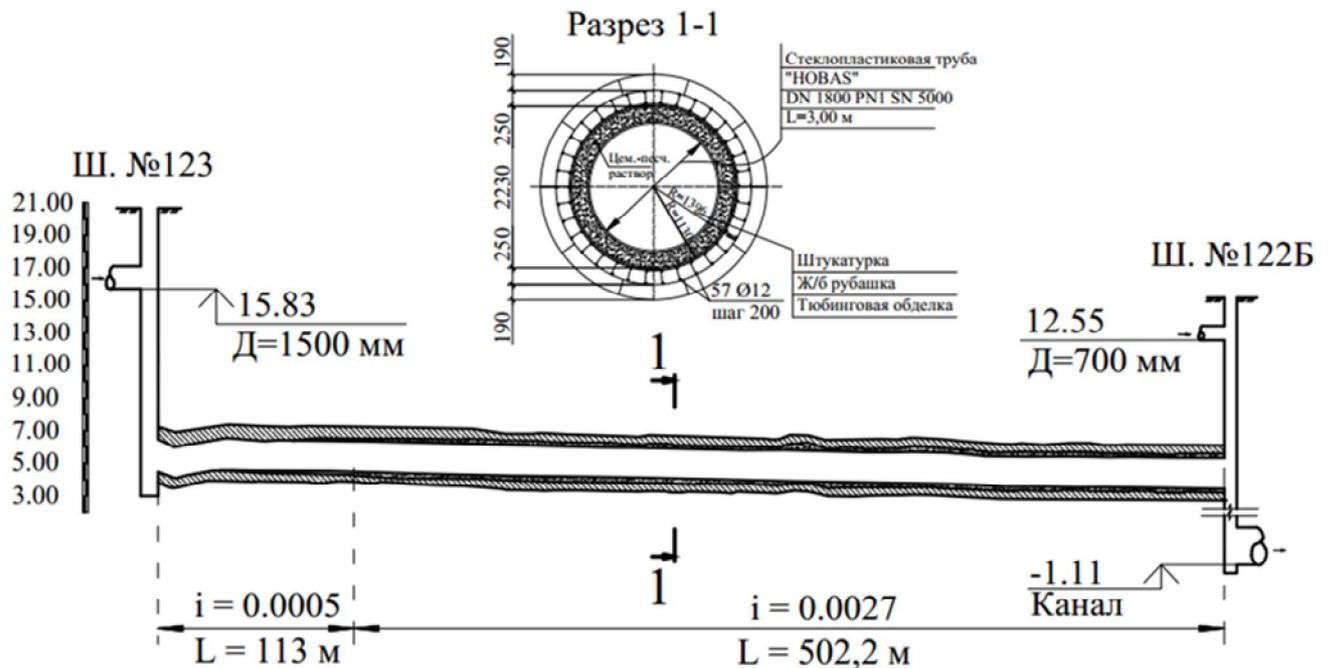


Рисунок 1.3.3.8.1 – Вертикальная схема и конструкция участка тоннельного коллектора Ш.№123 – Ш.№122Б

2) Результаты визуального обследования

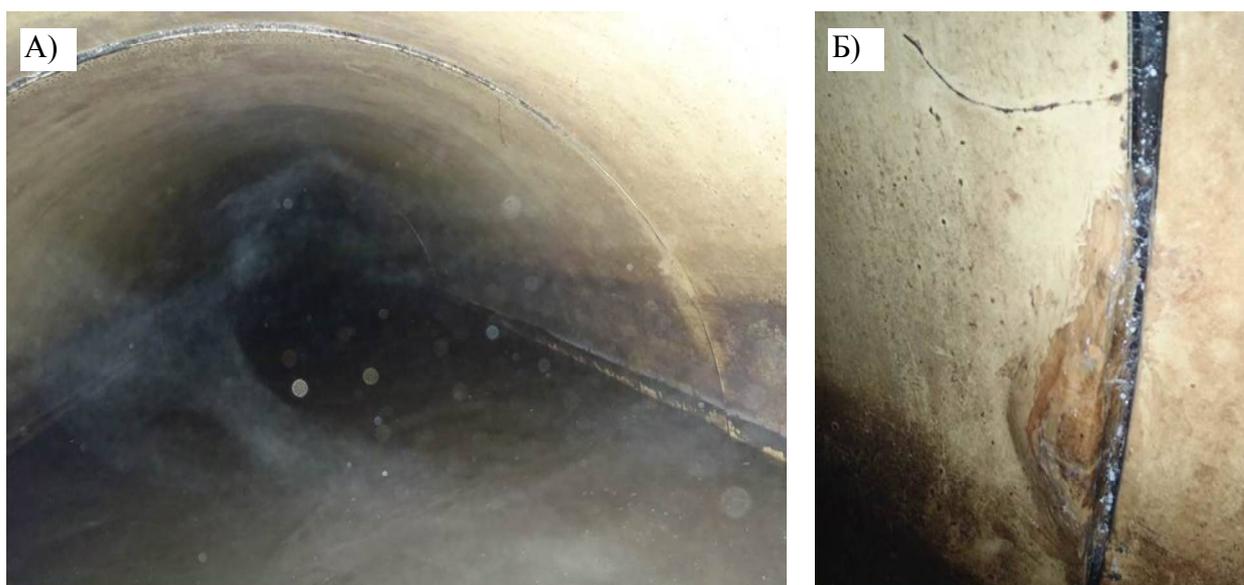


Рисунок 1.3.3.8.2 – Результаты осмотра тоннеля в интервале шахт Ш.№123 – Ш.№122Б

А – тоннель, расстояние ~50м от входа со стороны Ш.№123. Б – деформация стеклопластиковой трубы вблизи стыка

В ходе мониторинга (регулярных проходов) по тоннельному коллектору не было обнаружено никаких его повреждений: трещин или неплотностей стыков. Отмечались лишь небольшие деформации трубопровода (см. рис. 1.3.3.8.2) – образовавшиеся при проведении строительно-монтажных работ. В соответствии с визуальным обследованием необходимо отметить, что стеклопластиковые трубы препятствуют развитию процессов коррозии железобетонных конструкций, надежно их изолируя.

1.3.3.9 Систематизация результатов исследования

В результате обработки результатов анализа газовой среды была составлена сводная таблица концентраций газов во всех исследованных шахтах (см. табл. 1.3.3.9.1)

Таблица 1.3.3.9.1 – Сводная таблица результатов замеров концентраций газов в шахтах

Показатель	Шахты						
	Ш. №10	Ш. №8	Ш. №7	Ш. №1	Ш. №123	Ш. №122Б	Ш. №122А
Состояние	Авар.	Огр. раб.	Огр. раб.	Раб.	Огр. раб.	Раб.	Авар.
Концентрация H ₂ S МИН., PPM	0	1	2	4	0	0	4
Концентрация H ₂ S СР., PPM	37	11	21	11	22	0,1	45
Концентрация H ₂ S МАКС., PPM	120	43	43	23	44	5	120
Концентрация CO ₂ МИН, %	1,4	0,2	0	5,4	0,1	-	0,2
Концентрация CO ₂ СР., %	2,7	0,7	1	6	0,3	-	0,7
Концентрация CO ₂ МАКС., %	6	1,4	1,8	6	5	-	5
Концентрация CH ₄ МИН, PPM	0	6	6	0	0	0	0
Концентрация CH ₄ СР., PPM	2,5	7,4	6,9	1,5	1,9	0,1	1
Концентрация CH ₄ МАКС., PPM	9	9	9	2	9	9	7
Концентрация O ₂ МИН, %	17,6	17,6	17,6	17,6	14,3	20,8	13,9
Концентрация O ₂ СР., %	19,3	18,3	19	18,7	20,8	20,9	20
Концентрация O ₂ МАКС., %	20,9	19,5	19,8	19,4	20,9	20,9	20,5

Во всех рассмотренных случаях отмечается, что значения концентраций газов, в первую очередь сероводорода, полностью соотносятся с состоянием строительных конструкций и технологического оснащения обследованных шахт, и соответствуют представлениям о процессах микробиологической (газовой) коррозии, представленным в разделе 1.2 настоящей работы. Вследствие этого, руководствуясь значениями концентраций сероводорода, можно выделить факторы, обуславливающие то или иное их значение, и, таким образом, иметь возможность прогнозировать состояние конструкций других шахт без проведения соответствующего анализа.

Ранее коллективом авторов во главе с В.М. Васильевым были составлены правила технической эксплуатации канализационных тоннелей [19]. В них были представлены в виде таблицы факторы, определяющие аварийность канализационных тоннелей, а в основу той классификации были положены статьи [103]. Однако ряд факторов, представленных в таблице, представляется сложным для определения, как, например, окислительно-восстановительный потенциал сточных вод. Ниже на рис. 1.3.3.9.1 представлена диаграмма в сокращенной форме, демонстрирующая взаимосвязь между категориями аварийности, обеспеченности водоотведения и капитальности.

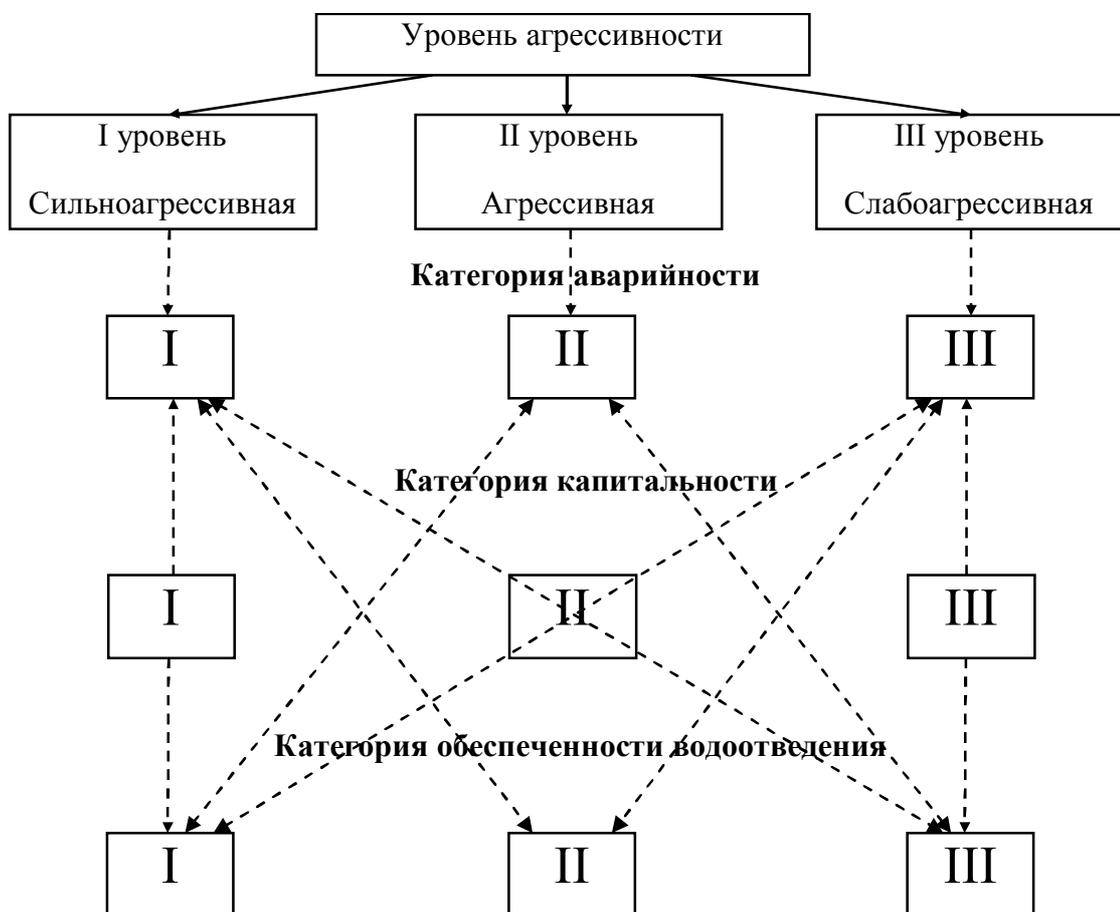


Рисунок 1.3.3.9.1 – взаимосвязь между категориями аварийности, обеспеченности водоотведения и капитальности.

На основании значений агрессивности среды и категория обеспеченности водоотведения назначаются мероприятия по защите сооружения от коррозии и принимается решение о значении категории капитальности, которая в конечном

результате определяет конструкцию канализационного тоннеля и сооружения. Возможные методы защиты от коррозии рассматриваются Главой 2.

Таким образом, целью составления таблицы (1.3.3.9.2) является дополнение и уточнение аналогичной таблицы в указанных выше правилах [19]. В данном случае степень аварийности канализационных шахт в данном случае приравнивается к уровню коррозии, т.е. к средним концентрациям сероводорода в газовой фазе внутри сооружения. Первые два столбца (1-2) представляют собой набор факторов и их оценку, которая обосновывается на результатах замера концентраций газов и конструктивных и технологических особенностях рассмотренных шахт (столбцы 3 – 8).

Таблица 1.3.3.9.2 – Факторы, определяющие аварийность канализационных шахт

Показатель	Значение, баллы	Ш. №10	Ш. №8	Ш. №7	Ш. №1	Ш. №123	Ш. №122А
1	2	3	4	5	6	7	8
Конструктивные и технологические факторы							
Наличие перепада на основном направлении движения жидкости	20	20					20
Наличие перепада от сети мелкого заложения	10			10		10	10
Подключение / ответвление в одном уровне с основным потоком	6	6				6	6
Поворот основного потока на угол:							
> 90 град	4						
60-90 град	3					3	
30-60 град	2				2		2
5-30 град	1		1	1			
Расстояние от камеры гашения напора и участка с напорным движением сточных вод							
< 1 км	7						
1-2 км	5						
2-3 км	3	3					

1	2	3	4	5	6	7	8
Нахождение на расстоянии менее 1,0 км от шахты с высоким уровнем коррозии	3		3				
Характеристика и режим транспортирования стоков							
Транспортирование сточных вод с концентрациями, значительно превышающими ПДК по основным показателям (БПК5, ХПК, Сульфиды) в постоянном режиме	10						
Работа системы канализации в условиях залповых сбросов сточных вод с концентрациями, значительно превышающими ПДК по основным показателям (БПК5, ХПК, Сульфиды)	5	5	5	5	5		
Близость к эпицентру залпового сброса сточных вод с концентрациями, значительно превышающими ПДК по основным показателям (БПК5, ХПК, Сульфиды)							
< 1 км	10						
1-2 км	7						
2-3 км	3	3					
Транспортирование хозяйственно-бытовых сточных вод типичного состава	3					3	3
Работа в режиме с большим наполнением отводящего трубопровода ($h/d > 0,5$)	5						
Работа в переменном режиме	3	3	3	3	3	3	3
Работа в режиме с малым наполнением отводящего трубопровода ($h/d < 0,5$)	0						
Сумма баллов для исследованных шахт		40	12	19	10	25	44
Концентрация H_2S средняя		37	11	21	11	22	45
Невязка значений		3	1	-2	-1	3	-1

Представленная таблица позволяет путем быстрого сбора и анализа информации по проектируемой или существующей шахте оценить ее аварийность и принять меры по ее защите.

Таблица 1.3.3.9.3 – Уровень аварийности канализационной шахты в зависимости от средней концентрации H_2S

Сумма баллов (эквивалентна средней концентрации H_2S)	Уровень агрессивности (уровень коррозии)	Примечание
0-15	III	Условия функционирования сооружения не являются агрессивными, дополнительная защита не требуется
15-30	II	Уровень агрессивности среды в шахте – средний. Для продления срока службы сооружений требуется защита от коррозии.
> 30	I	Уровень агрессивности среды в шахте – высокий. Существует реальная опасность возникновения аварийной ситуации вследствие скорого разрушения строительных конструкций и технологического оснащения шахты. Необходимы мероприятия по защите сооружения.

Выводы по главе 1

1. Обзор современной зарубежной и отечественной литературы по вопросам микробиологической (газовой) коррозии показал, что это сложный многостадийный процесс, являющийся основной причиной разрушения крупных канализационных коллекторов и сооружений на них.

2. Микробиологические анализы, проведенные в шахтах №10 и №8 подтвердили положения теории протекания процессов микробиологической (газовой) коррозии; наличие и численность тех или иных групп микроорганизмов соответствовала визуальным признакам разрушения указанных шахт.

3. В результате проведения комплексных исследований на 7 канализационных шахтах и коллекторе, включавших в свой состав и анализ газовой среды, было выявлено, что среднее значение концентрации сероводорода за период измерения соответствует состоянию строительных конструкций шахт.

4. В результате изучения конструктивных особенностей рассмотренных шахт и проведения анализов была составлена сводная таблица факторов, определяющих аварийность канализационных шахт, позволяющая спрогнозировать возможный уровень концентраций сероводорода, и, как следствие, оценить необходимость защиты сооружений.

ГЛАВА 2 МЕТОДЫ БОРЬБЫ С МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИЕЙ

2.1 Обзор известных и возможных методов борьбы с коррозией

Попытки составить общую классификацию методов борьбы с микробиологической коррозией предпринимались многими авторами. Большое количество различных методов, в том числе нестандартных, представлено Zhang в статье [124]. Интересен способ классификации, предложенный Г.Я. Дроздом в [56]. Автором предлагается свой способ классификации, объединяющий большинство известных и возможных методов борьбы с коррозией канализационных коллекторов и сооружений на них, и основанный на способности методов предотвращать протекание тех или иных механизмов микробиологического разрушения строительных материалов [14].

Стадии коррозии связаны с последовательным заселением стенок коллектора (сооружения) различными видами сероокисляющих микроорганизмов, соответствующим снижением рН, и, как следствие, темпом разрушения. Однако также в процессе коррозии можно выделить четыре последовательных механизма: жизнедеятельность сульфатредуцирующих бактерий, насыщение сточных вод сульфидами в результате этой жизнедеятельности, переход сероводорода из сточной жидкости в газовую среду коллектора (сооружения) и жизнедеятельность сероокисляющих бактерий. Классификация представлена в четырех таблицах одинаковой структуры. Каждая таблица (табл. 2.1.1 – 2.1.4) показывает совокупность методов, которые способны предотвратить или свести к минимуму отрицательный эффект, связанный с протеканием вышеуказанных механизмов. В трех столбцах справа показана возможность применения тех или иных методов на стадиях проектирования и строительства, реконструкции или в качестве эксплуатационной меры.

Таблица 2.1.1 – Методы, направленные на подавление активности сульфатредуцирующих бактерий (СРБ)

Метод	Способ осуществления метода	Недостатки метода	Стадии		
			П и С ¹	Э	Р
Увеличение pH, подщелачивание сточной жидкости	Добавление NaOH или Ca(OH) ₂ в сточную воду	- Очень дорогой метод [124]		+	
Предотвращение сульфатного дыхания	Добавление альтернативных акцепторов электронов (O ₂ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻) в сточную воду	- Очень дорогой метод [124]		+	
Охлаждение воды до температуры 5-10 °С	Плавление снега путем сброса в водоотводящую сеть	- Снижение температуры до 5-10 °С ухудшит процессы биологической очистки [36]. - Плавление снега возможно только в зимнее время	+	+	+
Снижение содержания органических веществ в СВ	Предочистка на специально устраиваемых в этих целях ОС	- Очень дорогой метод, не всегда осуществимый.	+		+
Использование ингибиторов биоцидной активностью	Добавление биоцидов с (фенол, резорцин, пирогаллол [30] и т.д.) в сточную воду	- Очень дорогой метод [124]		+	
Использование бактериофагов	Подселение бактериофагов, которые будут уничтожать СРБ.	- Технология не развита [124] - Фаги могут уничтожать не только СРБ, но и активный ил на очистных сооружениях [116, 124]		+	

¹ Стадии: П – проектирование, С – строительство, Э – эксплуатация, Р - реконструкция (тоже в табл.2.1.2, 2.1.3, 2.1.4)

Таблица 2.1.2 – Методы, направленные на сопротивление переходу в сточные воды образованного H_2S

Метод	Способ осуществления метода	Недостатки метода	Стадии		
			П и С	Э	Р
Аэрация сточных вод – окисление образованного H_2S	Инжектирование кислорода воздуха (или кислорода воздуха) в специальных сооружениях	- При осуществлении метода с помощью воздуходувной станции – существенные затраты на электроэнергию [107, 124]	+	+	+
Окисление образованного H_2S	Добавление химических реагентов в сточные воды (H_2O_2 , Cl_2 , $NaClO$, $KMnO_4$, CaO_2 , MgO_2 и т.п.)	- Очень дорогой метод [124] - В случае использования медленно высвобождающегося твердофазного кислорода (CaO_2 , MgO_2) существует проблема их закрепления в потоке сточных вод		+	
Осаждение образованного H_2S	Добавление солей железа $FeCl_3$, $Fe(Cl)_2$, $Fe(NO_3)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$.	- Очень дорогой метод [124] - Могут наполнить сток нежелательными анионами [107]		+	
Превращение образованного H_2S до S в Микробных топливных элементах (МТЭ) [113]	Устройство МТЭ в коллекторе	- технология МТЭ не развита [39], не использовалось в канализационных системах [124] - сложно в осуществлении	+		+

Таблица 2.1.3 – Методы, направленные против выделения из сточной жидкости и распространения H₂S и CO₂ (вредных газов)

Метод	Способ осуществления	Недостатки метода	Стадии		
			П, С	Э	Р
Перевод коллектора на постоянную работу с полным заполнением	Конструктивные или технологические мероприятия	- Не всегда возможно, особенно для общесплавной канализации	+	+	+
Периодический перевод коллектора на работу с полным заполнением	Конструктивные или технологические мероприятия	- Не всегда возможно, особенно для общесплавной канализации - Насыщение сводовой части питательными веществами, уже через 2 недели процессы возобновляются и идут еще эффективнее, чем прежде [123]	+	+	+
Естественная вентиляция подсводного пространства	Осуществление воздухообмена в подсводном пространстве путем устройства или использования приточной и вытяжной шахт	- Существует опасность улучшения условий существования аэробных СОБ и ускорение процесса коррозии (данный вопрос недостаточно изучен) - Недостаточная эффективность для тоннельных коллекторов	+	+	+
Принудительная вентиляция подсводного пространства	Осуществление воздухообмена в подсводном пространстве путем использования вентиляторов	- Существует опасность улучшения условий существования аэробных СОБ и ускорение процесса коррозии (данный вопрос недостаточно изучен) - Затраты на электроэнергию	+		+
Удержание H ₂ S в сточной жидкости	Обеспечение спокойного течения потока в коллекторах и сооружениях на них	- Не обеспечивает полного решения проблемы	+		+

Таблица 2.1.4 – Методы, направленные на защиту сооружения от жизнедеятельности сероокисляющих бактерий (СОБ)

Метод	Способ осуществления метода	Недостатки метода	Стадии		
			П,С	Э	Р
Изоляция бетона коллектора от контакта с воздушной фазой коллектора	Футеровка коллектора полимерным трубопроводом / устройство с полимерной рубашки внутри ствола шахты или иного сооружения (Применение метода «труба в трубе» с использованием стеклопластиковых труб NOVAS, Amiantit и т.п., метода «чулка» Trolining, метода спиральной навивки Rib Loc, сборки трубопровода из листов Schomburg и т.п.)	-Значительное удорожание строительства или реконструкции коллектора	+		+
	Нанесение защитных составов	- Защитные составы и мастики могут иметь слабую адгезию, не всегда эффективны	+		+
	Устройство жертвенного слоя бетона	- Мера, дающая лишь временный эффект – требуется повторное нанесение.	+		+
Выбор стойкого к агрессивным средам материала при строительстве	Использование бетона повышенной плотности на сульфатостойком цементе	- Значительное удорожание сооружения	+		
	Использование добавок в бетон		+		

Правила технической эксплуатации [19] предлагают разделение всех методов борьбы с коррозией на активные и пассивные. Под активными методами понимаются различные технологические мероприятия, направленные на снижение уровня агрессивности среды, а под пассивными – конструктивные изменения, позволяющие сооружению функционировать при заданном уровне

агрессивности. Представленная в Диссертации классификация не протеворечит этим положениям: методы, представленные в табл. 2.1.1 – 2.1.3 являются активными, а в табл. 2.1.4 – пассивными.

2.2 Методы пассивной защиты. Исследование стойкости покрытий в условиях камеры гашения напора

Наиболее часто для защиты стен канализационных коллекторов и сооружений на них используют методы, направленные на защиту сооружения от жизнедеятельности СОБ (табл. 2.1.4). Их также принято называть методами пассивной защиты, так как речь идет не о каких-либо технологических операциях или попытках воздействовать на гидравлический и аэродинамический режимы в сооружениях, а о заблаговременном выборе стойких материалов, находящихся в непосредственном контакте с агрессивной средой. Осуществление этих методов возможно исключительно на стадии строительства или реконструкции сооружения.

В Санкт-Петербурге накоплен большой опыт по защите канализационных коллекторов и сооружений на них от разрушения. Наиболее часто для восстановления и защиты участков коллекторов используется метод «труба в трубе» с применением стеклопластиковых труб фирм «Hobas», «Amiantit» и др. Суть метода заключается в протаскивании труб внутрь восстанавливаемого трубопровода с последующим заполнением межтрубного пространства путем нагнетания цементно-песчаного раствора.



Рисунок 2.2.1 – Введение трубы «Hobas» в реконструируемый коллектор

Всего в Санкт-Петербурге подобным методом реконструировано порядка 12 км тоннельных коллекторов. Коллекторы, реконструированные по данному методу, в настоящий момент находятся в отличном состоянии и функционируют без каких-либо нареканий.

2.2.1 Методика проведения исследования по методам пассивной защиты

Существует достаточно большое количество различных защитных составов, а также добавок в бетон. Целью проведенного исследования являлось определение наиболее оптимального защитного материала для работы в условиях коррозионной среды канализационных коллекторов и сооружений.

Исследование проводилось группой специалистов, представляющих ООО «ЭПриС», МУП г. Новосибирска «Горводоканал», НГАСУ (СИБСТРИН) и др. которой руководил д.т.н., профессор СПбГАСУ В.М. Васильев.

Испытания образцов бетона, покрытого различными составами, проводились в условиях действующего коллектора в камере гашения напора №17 г. Новосибирска. Камера гашения напора осуществляет функцию гашения энергии сточной жидкости, подводимой по напорному трубопроводу, и направляет ее в коллектор, работающий, как правило, в безнапорном режиме. Движение стоков по напорному трубопроводу характеризуется процессами сульфидообразования, и в пределах камеры гашения напора происходит интенсивная дегазация потока, что приводит к высоким концентрациям сероводорода в воздушном пространстве сооружения. Вследствие этого, скорость коррозионных процессов в камере гашения напора наиболее высока, в сравнении с рядовыми участками канализационных коллекторов.

Для каждого материала (защитное покрытие или добавка в бетон) были изготовлены образцы-кубы из бетона класса В20 (марка М250), а также контрольные образцы из бетона без добавок или покрытий. Размер всех образцов – 10х10х10 см.

Образцы экспонировались в камере гашения напора на уровне отметки незатапливаемого перекрытия. Образцы были помещены в решетчатые корзины и размещены в них так, чтобы каждая грань соприкасалась с агрессивной внешней средой сооружения.

Наблюдение за состоянием образцов бетона проводилось в течение 1 года.

Покрyтия по бетону различных производителей представляли собой несколько групп материалов: битумные, битумно-полимерные, полимерные, полимербетонные, бетонные или растворные с полимерными добавками.

2.2.2 Результаты исследования стойкости защитных покрытий и добавок в бетон

Результаты осмотра образцов бетона представлены в табл. 2.2.2.1, фотографии образцов бетона до размещения в камере гашения напора и после представлены на рис. 2.2.2.1.

Таблица 2.2.2.1 – Результаты осмотра образцов бетона

Серия	Защитный материал	Фирма	Результаты осмотра образцов после 5 месяцев экспонирования	Результаты осмотра образцов после 9 месяцев экспонирования
1	2	3	4	5
1.1	Фторонит	СПбГАСУ	Разрушение бетона всех образцов на глубину до 5 мм. Начало с углов кубиков. Защитная пленка легко отслаивается	Отслоение защитного покрытия на 100% всех образцов. Бетон кубиков имеет пористую структуру
1.2	Конусит КК-10	СПбГАСУ	Защитное покрытие всех образцов без разрушений. Эталонный кубик без покрытия разрушился на глубину до 10 мм	Защитное покрытие всех образцов без разрушений
2.1	Кальмаатрон (покрытие)	Кальмаатрон	У 4-х кубиков произошло разрушение бетона на глубину до 10 мм (с углов). У 2-х кубиков разрушена только верхняя поверхность на глубину до 3 мм.	Полное разрушение защитного покрытия, разрушение основного бетона до 15 мм

1	2	3	4	5
2.2	Бетон с добавкой кальмаатрона	Кальмаатрон	Разрушение бетона всех образцов на глубину до 10 мм (верхняя и нижняя поверхности). Вертикальные поверхности образцов не разрушены	Равномерное разрушение бетона на глубину до 25 мм по всем поверхностям
3	Урбиг	ООО «Элект-роСиб-Сервис»	Защитное покрытие всех образцов без разрушений. Эталонный кубик без покрытия разрушился на глубину до 10 мм (полное разрушение цементного камня)	У 1-го образца имеется отслоение защитного покрытия на площади 25 % поверхности. На остальных – без разрушений. Эталонный кубик без покрытия разрушился на глубину до 20 мм (полное разрушение цементного камня)
5	РеМаКон	ООО «ЭПРиС» Сибстрин	Защитное покрытие легко отслаивается. Разрушение начинается с углов нижней поверхности с проникновением вглубь кубика на глубину до 5 мм.	Бетон кубиков стал пористым. Незначительно продолжилось разрушение углов образцов (у 1-го образца до 15 мм, остальные – до 5 мм). Образец с химически стойким покрытием остался без разрушений
6.1	Сакор (покрытые)	ОАО НИИ Ресурсосберегающие технологии и	Защитное покрытие всех образцов без разрушений. Эталонный кубик без покрытия разрушился на глубину до 10 мм (углы и нижняя поверхность).	Защитное покрытие всех образцов без разрушений. Эталонный кубик без покрытия разрушился на глубину до 20 мм (полное разрушение цементного камня)
6.2	Сакор (добавка в бетон)	ОАО НИИ Ресурсосберегающие технологии и коррозия	Разрушение бетона всех образцов на глубину до 10 мм (углы и нижняя поверхность).	Разрушение бетона всех образцов на глубину до 15 мм

Результаты осмотра образцов бетона до и после экспонирования представлены на рис. 2.2.2.1.



Рисунок 2.2.2.1 – Образцы бетона до и после экспонирования

В ходе исследования первыми разрушились образцы бетона, обработанные битумными и растворными покрытиями, а также образцы, в бетон которых были включены добавки. Битумные покрытия быстро переставали выполнять защитную функцию при появлении мельчайших трещин. Происходило их отслоение от основного бетона, что приводило к его разрушению в коррозионной среде. Бетонные и растворные покрытия также быстро подверглись коррозии, которая поразила и основной слой бетона. Результаты испытаний защитных покрытий в условиях агрессивной среды канализационных систем г. Новосибирска показали, что практически все подобные покрытия в течение года подверглись разрушению.

В тоже время защитные покрытия «Конусит КК-10» и «Сакор» (покрытие) не подверглись заметному разрушению, сохранив свои свойства и защитив поверхность основного бетона.

В ходе исследования также был проверен «Керамобетон», образцы которого также были внесены в агрессивную среду указанной выше камеры гашения напора. Материал показал очень хорошие свойства в сопротивлении разрушению, и свою способность быть используемым при защите сооружений. Однако его использование ограничено за счет сравнительно высокой стоимости и недостаточных инвестиций в развитие его производства.

2.2.3 Применение конструкции из композитных материалов

Помимо железобетонных конструкций коллекторов и сооружений на них, в агрессивной коррозионной среде также находится и технологическое оснащение: лестницы, площадки, ограждения. От состояния этих элементов конструкций зависят жизнь и здоровье эксплуатационного персонала.

В большинстве случаев технологическое оснащение шахт выполняется металлическим, что, как показали исследования, представленные в главе 1, обуславливает его достаточно быстрое разрушение.

В Санкт-Петербурге часть канализационных шахт имеет оснащение, выполненное из композитных материалов, в первую очередь из пултрузионного стеклопластика [63]. Такие конструкции имеют значительно лучшие показатели по коррозионной стойкости, нежели традиционные металлические, и, как следствие более долговечны и надежны. Другой особенностью такого оснащения является малый вес, позволяющий производить монтажные работы на порядок быстрее.

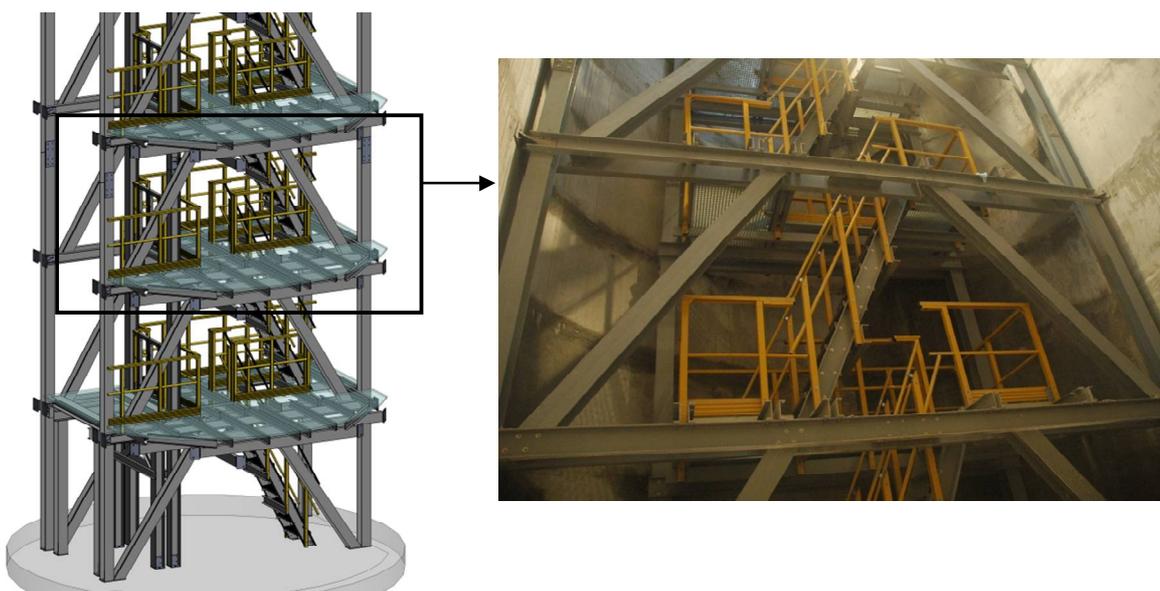


Рисунок 2.2.3.1 – Технологическое оснащение шахты из композитных материалов

Опыт использования данных материалов, в том числе для оборудования шахт при строительстве Проложения Главного Коллектора Санкт-Петербурга показал их надежность и эффективность [77, 78].

В тоже время, условия, в которых должны работать конструкции, могут быть различными. Поэтому выбор соответствующей марки композитного материала должен производиться в соответствии с известными параметрами среды. В данном случае рекомендуется ориентироваться на расчетное или измеренное значение средней концентрации H_2S и для шахты, условия функционирования которой соответствуют уровню аварийности I, выбирать более дорогую марку стеклопластика с повышенными характеристиками.

2.3 Насыщение сточных вод кислородом воздуха

Среди методов борьбы с микробиологической коррозией представляется особо интересным метод насыщения сточной жидкости кислородом воздуха. Способ насыщения жидкости кислородом воздуха (аэрация потока) основывается на представлении о том, что в случае насыщения сточной жидкости растворенным кислородом в достаточных концентрациях, будет происходить окисление образующегося за счет действия сульфатредуцирующих бактерий сероводорода (в иле на дне коллектора создаются анаэробные условия, несмотря на наличие растворенного кислорода в сточной жидкости), и он не будет выделяться через поверхность раздела фаз и конденсироваться в конденсационной пленке на стенке коллектора или шахты [124]. Отмечается, что концентрации растворенного кислорода выше 0,5 мг/л могут в целом предотвратить выделение сульфидов через поверхность раздела фаз [123].

В г. Кавасаки (Япония) учеными N.Tanaka и T.Hvitved-Jacobsen было проведено исследование по процессу принудительной инъекции кислорода воздуха в напорный водовод. При этом, были зафиксированы концентрации растворенного кислорода 0,2 – 1,0 мг/л, а процесс выделения сульфидов замедлен или полностью подавлен [100].

Однако принудительная инъекция воздуха в напорный водовод требует затрат электроэнергии в связи с работой компрессорной установки. Нам представляется возможным и действенным осуществление естественного насыщения сточной жидкости кислородом воздуха за счет его эжекции в напорный трубопровод в камере гашения напора. Конструкции камер гашения напора с естественной эжекцией кислорода воздуха рассматриваются главой 3.

В случае достижения концентраций кислорода более 0,5 – 1 мг/л в сточной жидкости за камерой гашения напора, эта концентрация будет поддерживаться в коллекторе длительное время (расход кислорода на биохимическое и химическое окисление пренебрежимо мал [42]) и будет способствовать предотвращению процессов коррозии.

2.3.1 Методика расчета камеры гашения напора по насыщению сточной жидкости кислородом воздуха

Насыщение сточной жидкости кислородом воздуха возможно в случае организации соприкосновения воды и воздуха (организации двухфазного движения), при условии, что концентрация кислорода в воде будет иметь такое значение, при котором равновесная ей концентрация кислорода в воздухе будет меньше ее фактического значения. Это условие вызывает самопроизвольный массообменный процесс. Механизм массопереноса для канализационных сооружений будет иметь конвективный характер [11], т.е. диффузионный перенос осуществляется частицами воды и воздуха.

Настоящая методика основана на принципах расчета массообменных процессов в аппаратах химической технологии. Такая концепция была использована В.М. Васильевым [11, 13] при определении содержания кислорода в сточной жидкости после перепадных устройств, а также при расчете аппаратов улавливания газов и реаэрации коллекторов. В настоящем случае данный подход был адаптирован для условий камеры гашения напора.

Камера гашения напора (см. рис. 2.3.1.1), состоящая из подводящего трубопровода (1) и подсоединенного к нему трубопровода-эжектора (2), резервуара-гасителя (3), ограниченного водосливной стенкой (4) выступает в роли абсорбера. Сточная жидкость по трубопроводу (1) от места соединения с воздухом, поступающим через трубопровод (2) движется вниз и попадает в резервуар-гаситель (3). В резервуаре-гасителе (3) происходит ее интенсивное смешение с воздухом, вызывающее конвективный перенос кислорода из газообразной фазы в водную.

В.М. Васильев в [11, 13] рассматривал движение воды и воздуха в трубчатом стояке перепада как абсорбер, аналогичный пленочным аппаратам химической технологии. При этом стояки перепада имели длину 10 – 20 м. В случае камеры гашения напора время движения по вертикальному участку трубопровода (1) имеет малую длину (0,5 – 1 м), и время движения воды и

воздуха по нему мало (доли секунды), вследствие чего автором предлагается пренебречь массообменным процессом на этой стадии.

Резервуар-гаситель (2) исполняет роль барботажной камеры, массообменные процессы в ней аналогичны барботажной колонне тарельчатого типа с одной ступенью переноса [11].

На рис. 2.3.1.1 представлена расчетная схема камеры гашения напора как абсорбера.

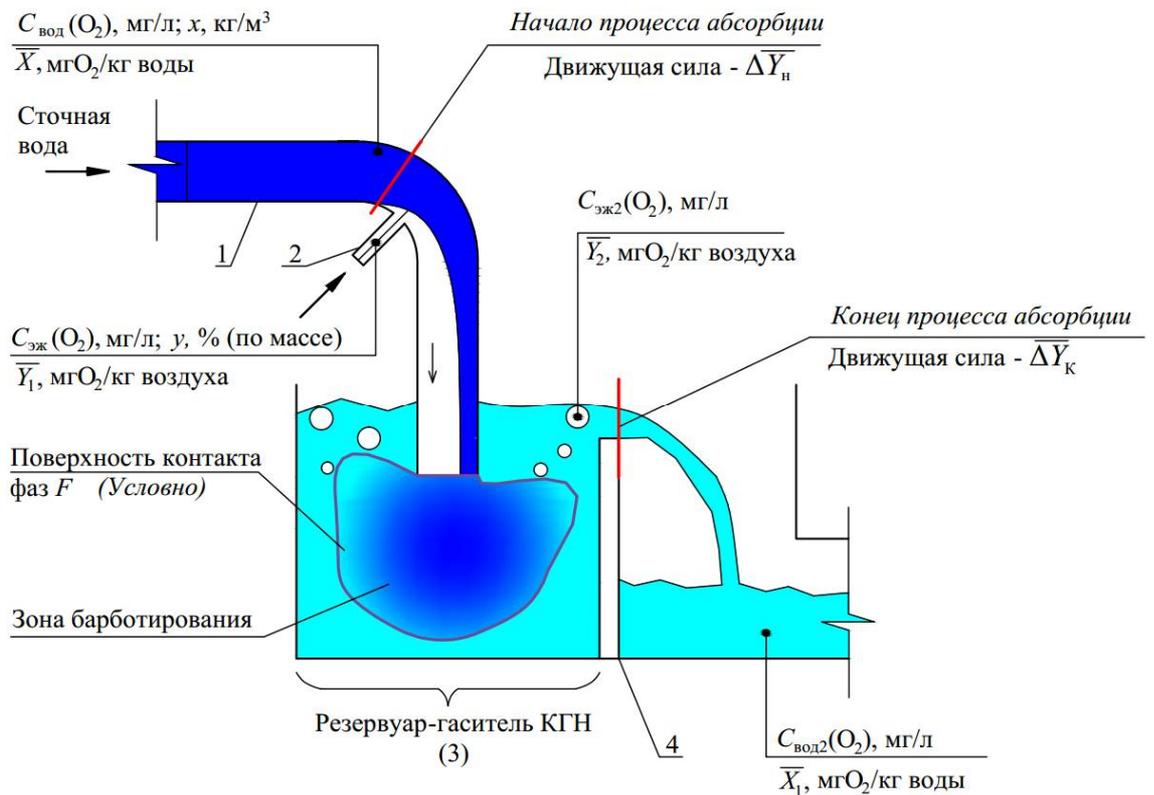


Рисунок 2.3.1.1 – Расчетная схема камеры гашения напора

Методика расчета основана на решении системы уравнений (2.3.1.1), где в обоих случаях средняя движущая сила массопередачи $\Delta \bar{Y}_{\text{ср}}$ выражается с помощью степени извлечения компонента γ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \bar{Y}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \bar{Y}_n - \Delta \bar{Y}_k}{\ln \frac{\Delta \bar{Y}_n}{\Delta \bar{Y}_k}} \\ \Delta \bar{Y}_{\text{ср}} = \frac{M}{K_y \cdot F} \end{array} \right. \quad (2.3.1.1)$$

где $\Delta \bar{Y}_n, \Delta \bar{Y}_k$ – движущие силы процесса в начале и конце массопереноса

При абсорбции движущая сила в начале массопереноса определяется по формуле (2.3.1.2), в конце – по формуле (2.3.1.5).

$$\Delta \bar{Y}_H = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_x^* , \quad (2.3.1.2)$$

где \bar{Y}_x^* – равновесная концентрация кислорода в воздушной фазе в начальной точке соприкосновения фаз, равновесная известной концентрации кислорода в сточной жидкости, кмоль O_2 /кмоль воздуха, определяется по формуле (2.3.1.3):

$$\bar{Y}_x^* = \frac{E}{P} \cdot \frac{M_{ж}}{M_k} \cdot \frac{x}{\rho_{ж} - x} , \quad (2.3.1.3)$$

где E – коэффициент Генри для кислорода, мм.рт.ст., зависит от температуры; определяется по справочным таблицам;

P – давление, при котором происходит массообменный процесс, мм.рт.ст.;

$M_{ж}, M_k$ – молекулярные массы воды и кислорода;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³;

x – концентрация растворенного кислорода в жидкой фазе, кг/м³.

В случае, если концентрация растворенного кислорода в сточной жидкости равна 0 мг/л, $\bar{Y}_x^* = 0$ кмоль O_2 /кмоль воздуха.

\bar{Y}_1 и \bar{Y}_2 – концентрации кислорода в газовой фазе в начале и в конце массопереноса соответственно, кг O_2 /кг воздуха; определяются по формулам (2.3.1.4) и (2.3.1.6)

$$\bar{Y}_1 = \frac{y/100}{1 - y/100} , \quad (2.3.1.4)$$

где y – концентрация кислорода в воздухе, % (по массе).

$$\Delta \bar{Y}_K = \bar{Y}_2 - \bar{Y}_{x1}^* , \quad (2.3.1.5)$$

где \bar{Y}_{x1}^* – равновесная концентрация кислорода в воздушной фазе в конечной точке соприкосновения фаз, равновесная искомой концентрации кислорода в сточной жидкости, кмоль O_2 /кмоль воздуха. Определяется аналогично \bar{Y}_x^* , по формуле (2.3.1.3).

Конечная концентрация кислорода в воздухе при абсорбции:

$$\bar{Y}_2 = \bar{Y}_1 \cdot (1 - \gamma) \quad (2.3.1.6)$$

M – количество кислорода, перенесенного из газовой фазы в жидкую, кг/с. M может быть также определено из балансового уравнения распределения компонента (формула 2.3.1.7):

$$M = G_{\text{эж}} (\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) = G_{\text{вод}} (\bar{X}_1 - \bar{X}), \quad (2.3.1.7)$$

где \bar{X} и \bar{X}_1 – концентрации кислорода в жидкой фазе в начале и в конце массопереноса соответственно, кгО₂/кг воды.

K_y – коэффициент массопередачи при абсорбции кислорода в резервуаре-гасителе камеры гашения напора, кг/м²·с, определяется по формуле (2.3.1.8)

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\Gamma}} + \frac{m}{\beta_{\text{ж}}}}, \quad (2.3.1.8)$$

где m – удельный расход поглотителя, определяется по формуле (2.3.1.9):

$$m = \frac{G_{\text{вод}}}{G_{\text{эж}}}, \quad (2.3.1.9)$$

где $G_{\text{вод}}$ – массовый расход воды, кг/с;

$G_{\text{эж}}$ – массовый расход воздуха, кг/с.

β_{Γ} – коэффициент массоотдачи в газовой фазе, выраженный в кг/м²·с, определяется по формуле (2.3.1.10).

$$\beta_{\Gamma} = \beta_y \cdot \rho_{\Gamma}, \quad (2.3.1.10)$$

где β_y – Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы, выраженный в м/с. Для определения коэффициента массоотдачи в КГН используется формула для барботажной колонны тарельчатого типа с одной ступенью переноса [62], может быть найден по формуле (2.3.1.11).

$$\beta_y = 6,24 \cdot 10^5 \cdot (D_{\Gamma})^{0,5} \cdot \left(\frac{\omega_{\Gamma}}{\varepsilon} \right)^{0,5} \cdot h_0 \cdot \left(\frac{\mu_{\Gamma}}{\mu_{\text{ж}} + \mu_{\Gamma}} \right)^{0,5}, \quad (2.3.1.11)$$

D_2 – коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воздухе при известных температуре и давлении, м²/с, определяется по формуле (12)

$$D_2 = D_2^{20} \cdot \frac{p_{атм}}{p_2} \left(\frac{T_2}{293} \right)^{1,5}, \quad (2.3.1.12)$$

где D_2^{20} – табличное значение коэффициента диффузии, м²/с, при 20 °С,

$p_{атм}$ – атмосферное давление,

p_2 – давление в рассматриваемой задаче,

T_2 – температура воздуха в К.

ω_r – скорость газа в воздушной фазе, м/с,

ε – газонасыщение барботажного слоя резервуара-гасителя, доли ед. Значение ε зависит от конструкции камеры (соотношение линейных размеров, вид истечения) и может быть определено по результатам моделирования,

h_0 – высота слоя неаэрируемой жидкости в резервуаре-гасителе, м,

$h_{г.ж.}$ – высота газожидкостного слоя в резервуаре-гасителе, м, (формула 2.3.1.13)

$$h_{г.ж.} = T + H_0, \quad (2.3.1.13)$$

где T – высота водосливной стенки, м,

H_0 – скоростной напор на водосливе, м.

μ_r и $\mu_ж$ – динамические вязкости газа и жидкости, Па·с,

ρ_r – плотность воздуха, кг/м³,

$\beta_ж$ – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в кг/м²·с, может быть найден по формуле (2.3.1.14):

$$\beta_ж = \beta_x \cdot \rho_ж. \quad (2.3.1.14)$$

β_x – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в м/с, определяется по формуле (2.3.1.15)

$$\beta_x = 6,24 \cdot 10^5 \cdot (D_{ж.})^{0,5} \cdot \left(\frac{U}{1 - \varepsilon} \right)^{0,5} \cdot h_0 \cdot \left(\frac{\mu_z}{\mu_{ж.} + \mu_z} \right)^{0,5}, \quad (2.3.1.15)$$

где U – плотность распределения жидкости, м³/м²·с, (формула 2.3.1.16)

$$U = Q_{вод} / F \quad (2.3.1.16)$$

$Q_{вод}$ – расход жидкости, м³/с

F – площадь поверхности контакта фаз, м². В данном случае при эжектировании воздуха внутрь потока предлагается принимать F как сумму площадей стенок и дна резервуара-гасителя, умноженные на газонасыщение ε в долях единицы.

$D_{ж}$ – коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воде при известных температуре и давлении, м²/с.

Коэффициент диффузии кислорода в воде при температурах, отличных от 20°C, согласно [38] может быть найден по формуле (2.3.1.17):

$$D_{ж} = D_{ж,20} \cdot (1 + 0,02 \cdot (t - 20)) , \quad (2.3.1.17)$$

где $D_{ж,20}$ – справочное значения коэффициента диффузии при 20°C.

t – температура воды в °C.

При нахождении степени извлечения γ , концентрация кислорода в сточной жидкости \bar{X}_1 , кгО₂/кг воды, после барботирования в резервуаре-гасителе камеры гашения напора определяется из формулы (2.3.1.7).

После этого концентрация кислорода в сточной жидкости на выходе из камеры пересчитывается в мг/л, согласно [62], по формуле (2.3.1.18):

$$C_{\text{вод2}}(\text{O}_2) = 1000 \cdot \frac{\rho_{ж} \cdot \bar{X}_1}{1 + \bar{X}_1} . \quad (2.3.1.18)$$

2.3.2 Обоснование эффективности организации эжектирования воздуха в камере гашения напора

Для оценки эффективности организации эжектирования воздуха в камере гашения напора были проведены расчеты по представленной методике. При этом значение параметра газонасыщения ε было принято по [38] равным 0,765. Значения расхода воздуха при заданных расходах воды были приняты по предварительным результатам моделирования функционирования камер гашения напора (см. главу 3). Несколько примеров представлены в табл. 2.3.2.1.

Таблица 2.3.2.1 – Примеры расчета концентраций кислорода в сточной жидкости на выходе из камеры гашения напора

Параметр		Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5
Размеры резервуара-гасителя:						
Длина L	м	1	1,00	1,00	1,00	2,00
Ширина B	м	1	1,00	1,00	1,00	2,00
Высота газожидкостного слоя в резервуаре-гасителе $h_{г.ж.}$	м	1,1	1,10	1,10	1,10	1,10
Массовый расход воды $G_{вод}$	кг/с	105	75	200	275	1100
Расход сточной жидкости $Q_{вод}$	м ³ /с	0,105	0,075	0,200	0,276	0,1102
Массовый расход эжектируемого воздуха $G_{эж}$	кг/с	0,02018	0,0220	0,0293	0,060	0,118
Температура воды t (Т)	°С (К)	25 °С				
Концентрация кислорода в жидкой фазе $C_{вод}(O_2)$	мг/л	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воздухе $D_г$	м ² /с	$18,3 \cdot 10^{-5}$				
Коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воде $D_ж$	м ² /с	$2,31 \cdot 10^{-9}$				
Газонасыщение ε	доли ед.	0,765	0,765	0,765	0,765	0,765
Скорость газа в воздушной фазе $\omega_г$	м/с	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Высота слоя неаэрируемой жидкости в резервуаре-гасителе h_0	м	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Динамическая вязкость кислорода $\mu_г$	Па·с	$20,7 \cdot 10^{-6}$				
Динамическая вязкость воды $\mu_ж$	Па·с	$8,937 \cdot 10^{-4}$				
Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы $\beta_у$	м/с	96,87	96,87	96,87	96,87	96,87
Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы, выраженный в массовых единицах $\beta_г$	кг/м ² с.	114,79	114,79	114,79	114,79	114,79
Площадь поверхности контакта фаз F	м ²	4,131	4,131	4,131	4,131	9,792
Плотность распределения жидкости U	м ³ /м ² с	0,025	0,018	0,048	0,067	0,011

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в м/с, β_x	м/с	0,0742	0,0627	0,1024	0,1203	0,0494
Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в кг/м ² ·с, $\beta_{ж}$	кг/м ² ·с	74,05	62,59	102,20	120,06	49,28
Удельный расход поглотителя m		5203,17	3415,30	6832,93	4594,82	9306,26
Коэффициент массопередачи при абсорбции кислорода в резервуаре-гасителе камеры гашения напора K_y	кг/м ² ·с	0,0142	0,0183	0,0150	0,0261	0,0053
Количество кислорода, перенесенного из газовой фазы в жидкую M	кг/с * γ	0,0061	0,0066	0,0088	0,0180	0,0356
Степень извлечения компонента γ		0,7036	0,6981	0,6294	0,5173	0,2794
Средняя движущая сила массопередачи	кг/м ² ·с	0,0727	0,0610	0,0897	0,0864	0,1917
Концентрация растворенного кислорода на выходе с камеры $C_{\text{вод2}}(\text{O}_2)$	мг/л	2,99	3,20	3,47	4,79	2,76

Из приведенных данных видно, что концентрация кислорода во всех случаях превышает значение 0,5 – 1 мг/л.

Далее в рамках работы была проведена серия расчетов по методике (п. 2.3.1), целью которой было выявление основных влияющих факторов на итоговое значение концентрации.

На рис. 2.3.2.1 представлена зависимость концентрации кислорода на выходе из камеры гашения напора от расхода эжектируемого воздуха для следующих условий: ($G_{\text{вод}} = 200$ кг/с, $t = 25$ °С, размеры резервуара гасителя: 1,0 х 1,0 м, глубина воды – 1,1 м) (см. Приложение В, 1).

Из графика на рис. 2.3.2.1 видно, что увеличение расхода эжектируемого воздуха способствует увеличению концентрации растворенного кислорода на выходе из камеры гашения напора. Таким образом, приоритетной задачей является создание конструкции камеры гашения напора, обеспечивающей наибольшее поступление воздуха в систему.

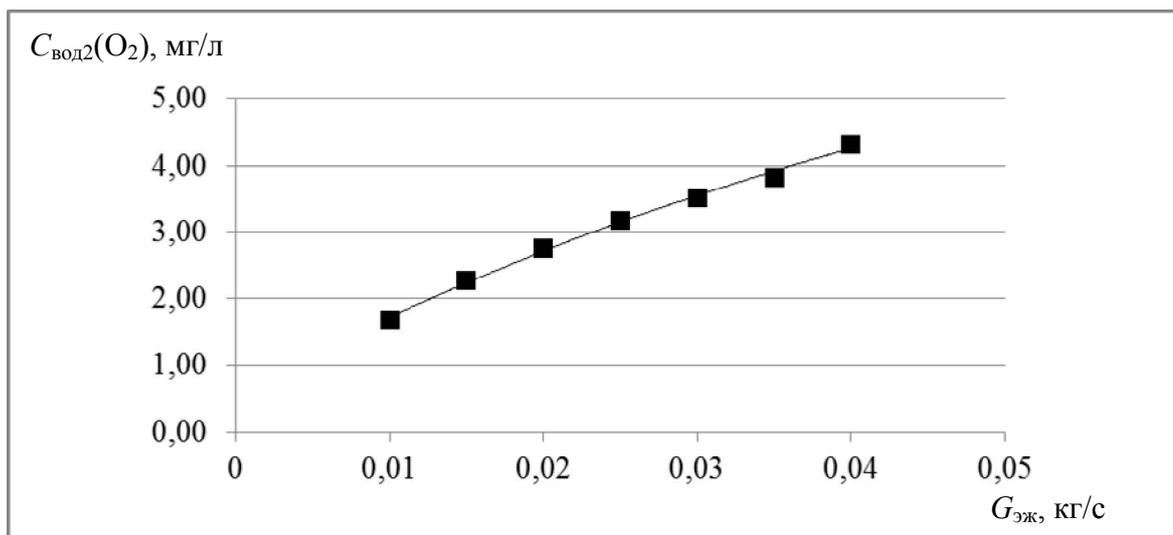


Рисунок 2.3.2.1 – Зависимость концентрации кислорода на выходе из камеры гашения напора от массового расхода эжектируемого воздуха

Как было отмечено выше, значение параметра газонасыщения ε было принято по [38] равным 0,765. Проведенные расчеты (см. Приложение В, 2) показали, что параметр газонасыщения оказывает значительное влияние на итоговое значение концентрации растворенного кислорода. Ниже приведена зависимость концентрации кислорода на выходе из камеры гашения напора от газонасыщения для следующих условий: ($G_{ж} = 825$ кг/с, $G_{эж} = 0,0956$ кг/с, $t = 25$ °С, размеры резервуара гасителя: 1,5 x 1,5 м, глубина воды – 1,1 м). Из графика на рис. 2.3.2.2 видно, что изменение значения ε от 0,1 до 0,9 влечет за собой изменение расчетного значения концентрации кислорода $C_{вод2}(O_2)$ от 1,03 до 5,89 мг/л соответственно.

Таким образом, одной из стоящих задач для данной работы является определение достоверного значения ε . Данная задача решается в главе 3.

Еще одним параметром, значение которого принимается, исходя из опытных данных, является скорость газа в воздушной фазе ω . В расчетах, представленных в табл. 2.3.2.1, ее значение было принято 1,35 м/с в соответствии с рекомендациями [16, 38]. Проведенные по методике расчеты с другими значениями этого параметра показали, что он не оказывает влияния на итоговое значение концентрации.

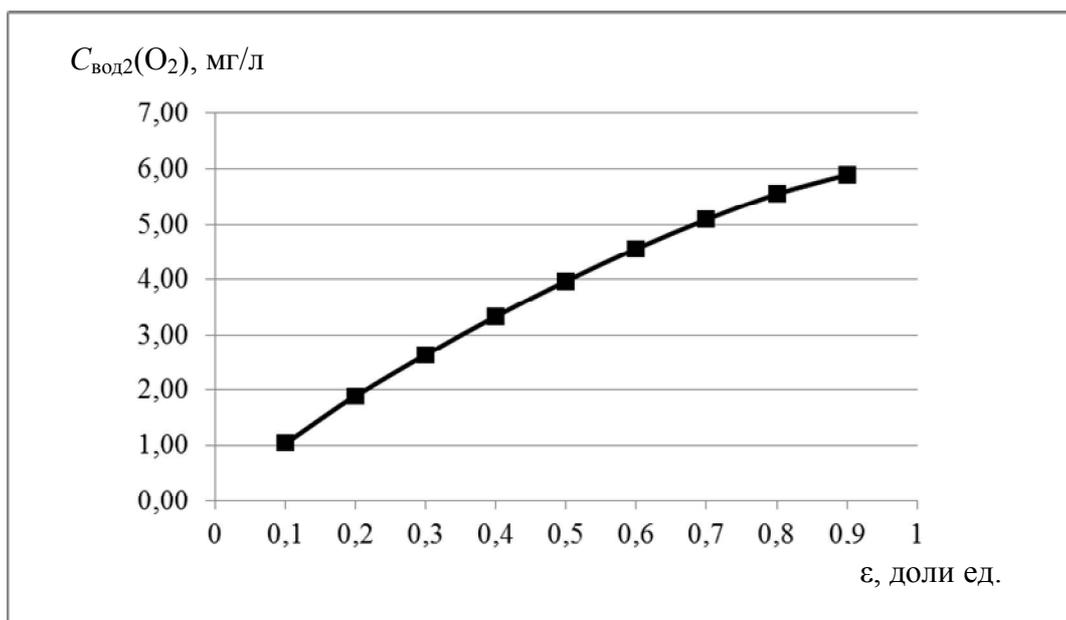


Рисунок 2.3.2.2 – Зависимость концентрации кислорода на выходе из камеры гашения напора от значения параметра газонасыщения

Определение наиболее выгодного соотношения диаметров трубопроводов, заглубления, размеров резервуара-гасителя камеры гашения напора позволит определить оптимальную конструкцию камеры гашения напора для различных условий и защитить следующий после нее самотечный коллектор от разрушения.

Выводы по главе 2

1. Составлена классификация и проведен сравнительный анализ методов борьбы с микробиологической коррозией. Показана малая эффективность большинства активных методов борьбы с коррозией (за исключением метода аэрации сточной жидкости).

2. Исследованы методы пассивной защиты – покрытия бетона различными составами в условиях действующей камеры гашения напора в г. Новосибирске. Показана эффективность покрытий «Конусит КК-10» и «Сакор».

3. Обоснована возможность насыщения сточной жидкости кислородом воздуха в камере гашения напора и представлена методика расчета концентрации растворенного кислорода на выходе из камеры гашения напора

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАМЕР ГАШЕНИЯ НАПОРА

3.1 Существующие конструкции камер гашения напора и их анализ

3.1.1 Общая классификация приемно-разгрузочных камер

На водопроводных и канализационных сетях часто встречаются приемно-разгрузочные камеры. Этим понятием могут быть объединены камеры гашения напора (приемные камеры гашения, колодцы-гасители и т.д.), приемные камеры и камеры разрыва струи. Приемно-разгрузочные камеры широко применяются в системах водоснабжения и водоотведения для решения различных инженерных задач: прием сточных вод от насосной станции на очистных сооружениях, сопряжение напорных и самотечных участков водоводов, канализационных трубопроводов и коллекторов, защита водоводов от гидравлических ударов. Конструкция приемно-разгрузочных камер также позволяет создавать требуемые условия для работы сооружений после камеры, например, создание потока без пузырьков воздуха для надлежащей работы установок ультрафиолетового облучения после разгрузочной камеры как элемента системы водоснабжения.

В то же время в технической литературе данные сооружения практически не описаны, отсутствуют какие-либо рекомендации по оптимальным конструктивным размерам сооружения, как в плане, так и в профиле. Конструктивные размеры приемных камер очистных сооружений канализации с подводом жидкости сверху приводятся в [40], а с подводом жидкости снизу – в [88]. Также в типовом альбоме [43] представлено решение водобойного колодца с гашением энергии жидкости за счет порога, имеющегося перед подводящим трубопроводом. Р.Р. Ахмадуллин в [3] приводит две схемы устройства камер гашения напора – с подачей воды сверху, и со свободным изливом через отвод, сориентированный кверху. Инженерных решений по устройству разгрузочных камер на водопроводных сетях не описано в технической литературе. В соответствии со сказанным выше, камеры гашения напора проектируются достаточно «свободно», инженер сам принимает решение по габаритным

размерам сооружения, виду сопряжения с отводящим трубопроводом, способом гашения энергии и т.д. В случае с водопроводными сетями такой подход не опасен, а определенные решения по канализационным камерам гашения напора могут быть негативными с точки зрения интенсификации процессов разрушения. На рис. 3.1.1.1, 3.1.1.2 представлена классификация существующих на практике и возможных технических решений приемно-разгрузочных камер. Классификация приемно-разгрузочных камер рассмотрена нами в статьях [7 – 10, 20, 85].

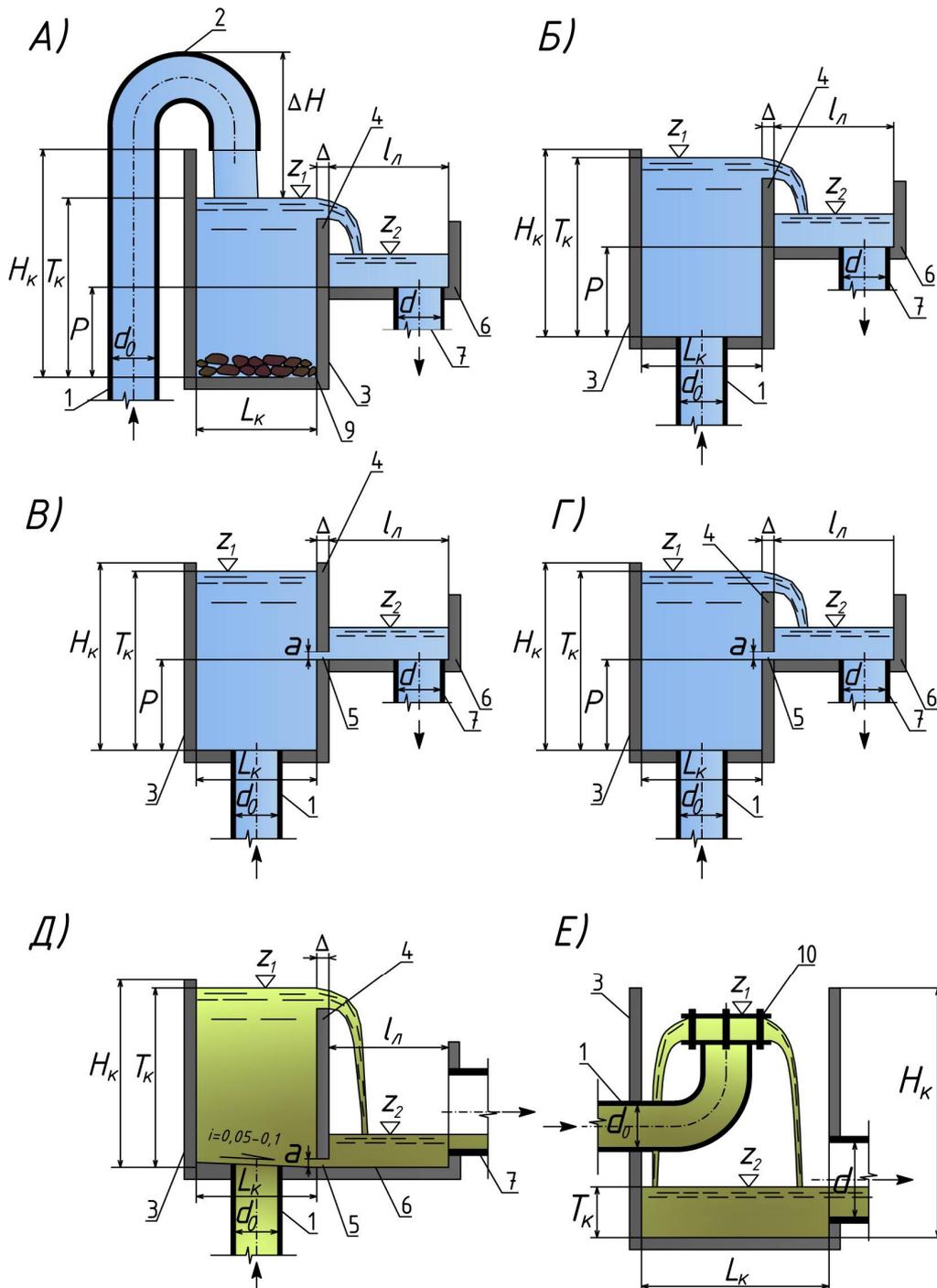


Рисунок 3.1.1.1 – Конструкции приемно-разгрузочных камер (А – Д)

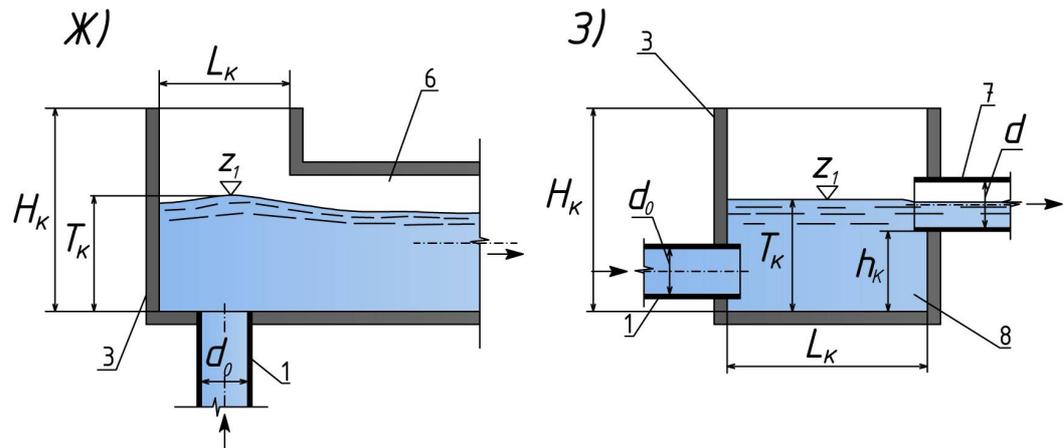


Рисунок 3.1.1.2 – Конструкции приемно-разгрузочных камер (Ж, З)

1 – подводный трубопровод; 2 – гусак; 3 – резервуар-гаситель; 4 – водосливная стенка; 5 – щелевое отверстие; 6 – лоток; 7 – отводящий трубопровод; 8 – водобойный колодец; 9 – каменная наброска; 10 – гаситель напора; Z_1 , Z_2 – отметки соответственно уровня воды в приемной камере (3) и в отводящем лотке (6); a – высота щелевого отверстия; H_k – высота резервуара-гасителя; T_k – глубина заполнения жидкостью резервуара-гасителя; P – разница в отметках уровня дна резервуара-гасителя (3) и лотка (6), L_k – длина резервуара-гасителя; d_0 и d – диаметры, соответственно, подводного (1) и отводящего (7) трубопроводов; l_l – длина лотка-гасителя (6).

На рисунках 3.1.1.1, 3.1.1.2 показаны следующие конструкции:

- А) Схема с подводом воды через гусак, истечением через водослив, $P > 0$;
- Б) Схема с подводом воды ко дну резервуара, истечением через водослив, $P > 0$;
- В) Схема с подводом воды ко дну резервуара, истечением через щелевое отверстие, $P > 0$;
- Г) Схема с подводом воды ко дну резервуара, истечением воды через щелевое отверстие и водослив, $P > 0$;
- Д) Схема для сточных вод; с подводом воды ко дну резервуара, истечением воды через щелевое отверстие и водослив, $P = 0$;
- Е) Схема для сточных вод; с подводом воды сбоку, со свободным изливом через гаситель
- Ж) Схема с подводом воды ко дну резервуара и свободным истечением в отводящий лоток
- З) Схема с подводом воды к боковой стенке, гашением энергии в водобойном колодце

К наиболее часто встречающимся на практике можно отнести камеру с вертикальным падением жидкости от водовода (1) с гусаксом (2) в резервуар-гаситель (3), стенка которого представляет из себя водослив (4) (рис. 3.1.1.1 А). После водослива жидкость падает в отводящий к сооружениям лоток (6), в котором происходит затопление гидравлического прыжка, образующегося при падении жидкости. Из лотка жидкость отводится по трубопроводу (7). Дно резервуара-гасителя (3) в данной конструкции защищается от разрушения путем размещения на нем каменной наброски, характеризующейся стойкостью к истираемости.

На (рис. 3.1.1.1 Б) представлена конструктивная схема приемно-разгрузочной камеры, отличающаяся от первой тем, что транспортируемая жидкость поступает в резервуар-гаситель (3) по трубопроводу (1), подведенному ко дну резервуара. Вода втекает в резервуар (3) в виде турбулентной струи, и за счет глубины жидкости (T_k), заполняющей резервуар-гаситель, происходит рассеяние струи за счет трения об окружающую жидкость. Дальнейшее движение жидкости аналогично движению по первой схеме.

Схема с подводом воды снизу резервуара-гасителя и истечением через щелевое отверстие (рис. 3.1.1.1 В) отличается от схемы, представленной на (рис. 3.1.1.1 Б) тем, что в данном случае вместо водослива устраивается щелевое отверстие (5) на уровне, совпадающим с отметкой дна отводящего лотка (6). В данном случае резервуар-гаситель (3) и лоток (6) сообщаются между собой по законам несвободного истечения из-под щита, т.е. с образованием затопленного гидравлического прыжка за щелевым отверстием. Из лотка (6) вода отводится посредством трубопровода (7).

Для ряда случаев предлагается принимать схему движения жидкости, заключающуюся в том, что вода, также как и схемах (Б), (В) подводится снизу резервуара-гасителя (3), а истечение в лоток (6) может происходить, в зависимости от расхода (и, как следствие, от уровня воды в резервуаре) как лишь через щелевое отверстие (5) при низких значениях расхода, так и через щелевое

отверстие (5) и водослив (4), работающих совместно – при более высоких значениях расхода. Из лотка (6) вода уходит по трубопроводу (7).

Вышеупомянутые конструкции (А, Б, В, Г) подходят для условий, когда транспортируемая жидкость – чистая вода. Конструкция (Д) предназначена для работы со сточными водами. Истечение жидкости по схеме (Д) происходит аналогично схеме (Г). Отличие заключается в следующем: отметка дна резервуара-гасителя (3) совпадает с отметкой дна лотка (6). Кроме того дно резервуара-гасителя (3) имеет уклон (согласно рекомендациям для устройства приемного отделения канализационных насосных станций уклон дна резервуара-гасителя (3) рекомендуется принимать равным 0,05 – 0,10). Эти решения принимаются для того, чтобы не допустить оседания взвеси на дне резервуара (3) и обеспечить ее вымывание из приемной камеры.

Широко на канализационных сетях применяется конструкция по схеме Е (рис. 3.1.1.1 Е). Гашение энергии потока сточной жидкости осуществляется за счет гасителя (10), устраиваемого на конце загнутого кверху подводящего трубопровода (1). Гаситель представляет собой конструкцию из фланца и заглушки, соединенных болтами. Через промежутки между болтами происходит свободное истечение воды в резервуар-гаситель (3), от которого жидкость отводится самотеком по трубопроводу (9).

Конструкции Б, В, Г и Д (Г и Д – в составе одной заявки) были запатентованы (Патенты РФ [70 – 72], см. приложения Д, Е, Ж) с учетом включения в состав элементов конструкции рассеивателя. Рассеиватель представляет собой металлический или пластиковый колпак с радиально расположенными отверстиями. Площадь отверстий должна быть равна прозору рабочего колеса насоса, установленного перед напорным трубопроводом. Рассеиватель равномерно распределяет воду во всех направлениях, и вместо одной большой струи можно получить множество малых, которые на ранее заданном расстоянии фактически полностью рассеются, и эти малые струи не будут создавать существенных волнений на свободной поверхности жидкости в приемной камере. Таким образом, можно за счет более эффективного гашения

энергии сократить требуемую высоту резервуара-гасителя камеры гашения напора и получить гладкую свободную поверхность жидкости.

Схема приемно-разгрузочной камеры (рис. 3.1.1.2 Ж), описанная в [88], представляет конструкцию, в которой жидкость изливается из подводящего трубопровода (1) в резервуар-гаситель (3), а затем перетекает в отводящий лоток (6), где жидкость под действием силы тяжести направляется к сооружениям очистки или в отводящий трубопровод. Движение жидкости в лотке сопровождается значительной аэрацией потока и газовыделением при транспортировании сточных вод, что приводит к образованию газовой коррозии железобетонных конструкций.

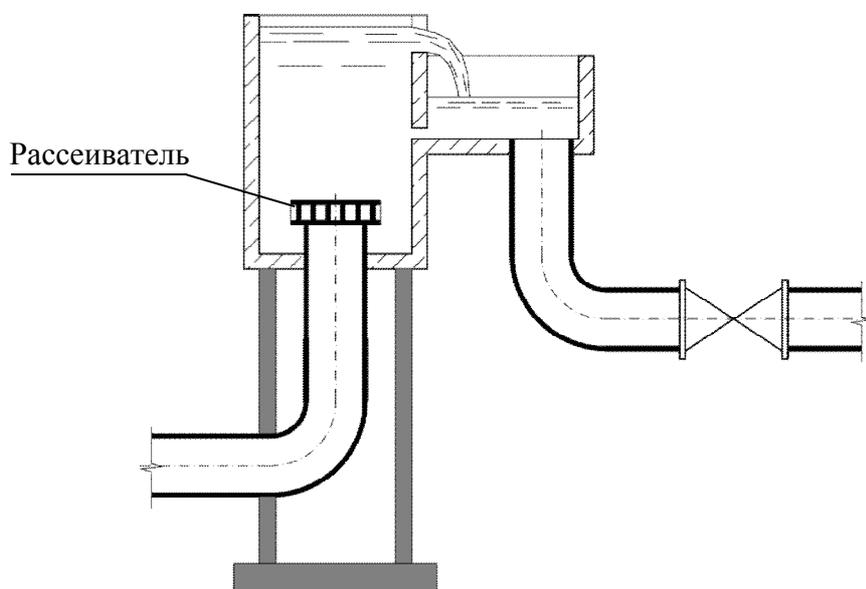


Рисунок 3.1.1.3 – Приемно-разгрузочная камера с рассеивателем

В схеме (рис. 3.1.1.2 З) подвод жидкости осуществляется со стороны боковой поверхности резервуара-гасителя (3), и гашение энергии потока жидкости происходит в водобойном колодце (8), после которого жидкость направляется в отводящий трубопровод (7). Это решение требует значительных по площади сооружений. Позволяет получить на выходе из водобойного колодца поток жидкости со спокойным течением и малым количеством выделяемых из сточной жидкости газов.

Конструкции (Ж), (З) можно принимать как для чистых, так и для сточных вод.

Условно камеры гашения можно разделить на три основные группы, а именно: 1) с подачей воды на «гусак» и последующим падением в камеру; 2) с подачей ко дну камеры; 3) с подачей к боковой стенке. В первых двух конструктивных решениях гашение энергии потока, вытекающего из трубопровода, осуществляется за счет глубины резервуара-гасителя и конструктивного решения истечения жидкости из нее. В третьем случае гашение энергии истекающего из трубопровода потока осуществляется за счет водобойного колодца, устроенного в камере гашения.

Очевидно, что в случае необходимости гашения энергии в стесненных по площади условиях, целесообразно применять камеры гашения с вертикальным движением потока, т.е. с падением сверху или подачей снизу с отметки дна камеры гашения. Также очевидно, что использование любого из представленных конструктивных решений камеры гашения позволит получить гашение энергии подаваемой жидкости.

Гашение энергии потока жидкости в пределах камеры при подаче сточных вод сверху сопровождается интенсивным перемешиванием встречных потоков жидкости и, как следствие, выделением газов, вызывающих газовую коррозию подводного пространства для камер, транспортирующих сточные воды и насыщение пузырьками воздуха в случае транспортирования чистой жидкости.

В связи с этим запатентованные конструкции Б, В, Г и Д для сточных вод реализуют активный способ защиты от коррозии – «удержание H_2S в сточной жидкости» (см. табл. 2.1.3). В данном случае процесс дегазации выражается в малых количествах выделяющихся газов, и камера гашения напора не интенсифицирует процесс коррозии на сети. Такое решение рационально принимать на канализационных сетях небольших диаметров (с диаметром подводящего трубопровода d_0 до 200 мм), когда отводящий трубопровод выполняется из гофрированных полипропиленовых или полиэтиленовых труб, стойких к коррозии. Для канализационных коллекторов больших диаметров такие решения уступают тем, которые рассматриваются в последующих разделах диссертации.

3.1.2 Конструкции камер гашения напора на канализационных сетях

На канализационных сетях часто встречаются камеры гашения напора (КГН), принимающие воды от напорных водоводов насосных станций и направляющие их в коллектор. В технической литературе камеры гашения напора практически не описаны, за исключением технического решения, представленного в [43], упомянутого выше (см. рис. 3.1.2.1 А).

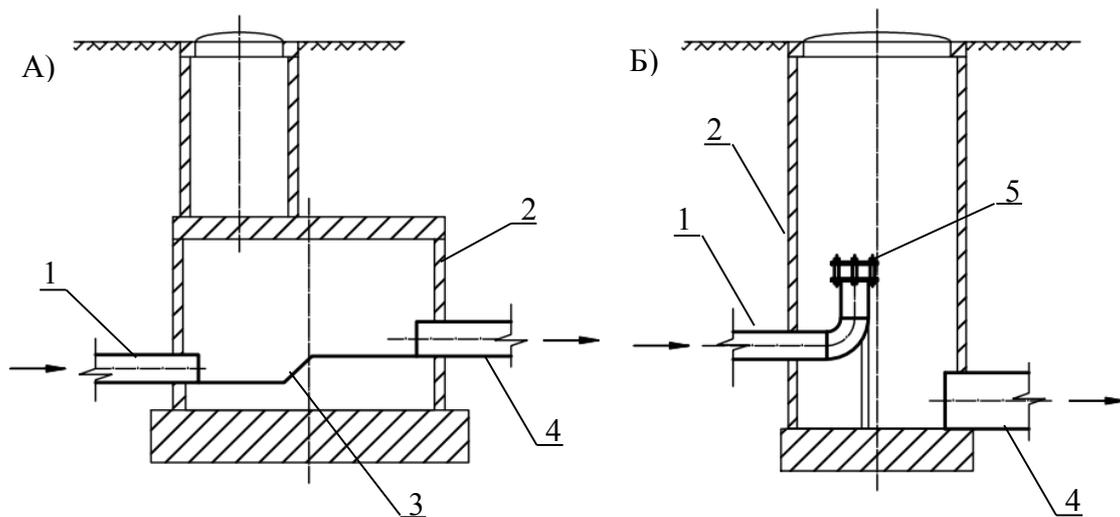


Рисунок 3.1.2.1 – Существующие конструктивные решения камер гашения напора на канализационных сетях

1 – подводящий трубопровод, 2 – резервуар-гаситель, 3 – порог, 4 – отводящий трубопровод, 5 – гаситель напора

Сточная жидкость по напорному трубопроводу (1) подается в резервуар-гаситель (2) таким образом, что энергия потока гасится за счет порога (3), размещенного на пути следования жидкости. Отвод стоков осуществляется по самотечному трубопроводу (4), расположенному на вышележащей по сравнению с подводящим трубопроводом отметке. В альбоме [43] строительные конструкции водобойного колодца предусмотрены из железобетона. При этом в альбоме [43] представлены решения как для одного, так и двух напорных трубопроводов диаметрами 100, 150 и 200 мм. Диаметры отводящих трубопроводов – 200, 250 и 300 мм.

Похожее инженерное решение предлагается фирмой «Jung Pumpen» [44], при этом колодец выполнен из полиэтилена; диаметр подводящего напорного трубопровода – 100 мм, отводящего трубопровода – 150 мм.

Таким образом, диапазон возможного применения подобных конструкций весьма ограничен и подходит лишь для небольших районов канализования.

Широко при проектировании и строительстве используется конструкция камеры гашения напора, представленная на рис. 3.1.2.1 Б. Основным элементом, осуществляющим гашение напора подводимого к камере потока сточной жидкости, является гаситель напора (5), представляющий собой фланец, который приваривается к торцу подводящего напорного трубопровода (1), соединенный с фланцевой заглушкой при помощи шпилек или болтов таким образом, чтобы между фланцем и заглушкой был зазор, достаточный для пропуска требуемых расходов воды. После попадания в гаситель (5), сточная жидкость свободно истекает в резервуар-гаситель (2) и отводится по трубопроводу (4) самотеком.

Наиболее часто на практике встречаются конструктивные решения, выполненные в виде подачи сточной жидкости сверху (см. рис. 3.1.2.2). Подобные решения приводятся в электронных ресурсах [53], [108].

Сточная жидкость по подводящему трубопроводу (1) свободно изливается в резервуар-гаситель (2), а затем отводится по отводящему трубопроводу (3). При этом резервуар-гаситель (2) может быть оборудован металлическим или пластиковым стаканом (4).

Представленные выше конструктивные решения имеют ряд недостатков. Конструкции, описанные в альбоме [43] или [44], имеют ограниченную область применения. В тоже время по остальным конструкциям отсутствуют рекомендации по габаритным размерам элементов сооружения и их взаимному размещению. Особую важность играет и то обстоятельство, что во всех представленных вариантах изначально не предусматривается никаких мер, направленных на борьбу с микробиологической коррозией. В представленных решениях с одной стороны провоцируется значительная дегазация потока при поступлении в резервуар-гаситель, с другой стороны не предлагается

компенсационных мероприятий. В результате камеры гашения напора и самотечные коллектора, отводящие от них стоки, подвержены разрушениям. Так, в работе [34] приведены сведения о рекордно быстром разрушении коллектора (за 4 года) в Донецке, который как раз принимал сточные воды от камеры гашения напора, к которой стоки подводились по напорному водоводу длиной 11 км. Камера гашения напора на ул. Московской (г. Новосибирск) была выведена на реконструкцию спустя всего 8 лет с момента запуска в эксплуатацию [37].

В статье [26] приводятся результаты замера концентраций газов на коллекторе в г. Егорьевске. Наивысшее значение концентрации было зафиксировано именно в камере гашения напора от насосной станции – до 300 мг/м^3 .

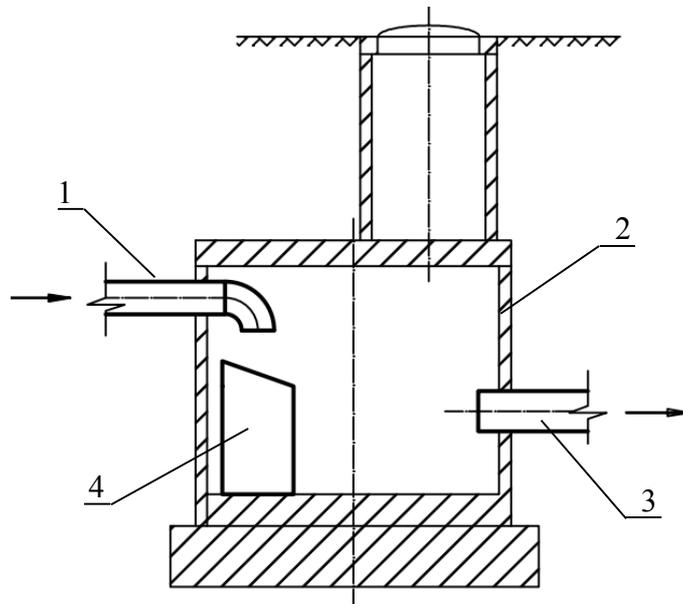


Рисунок 3.1.2.2 – Существующее конструктивное решение камеры гашения напора на канализационной сети

1 – подводящий трубопровод, 2 – резервуар-гаситель, 3 – отводящий трубопровод, 4 – гаситель напора (стакан)

Схема разрушения камеры гашения напора и коллектора после нее представлена на рис. 3.1.2.3

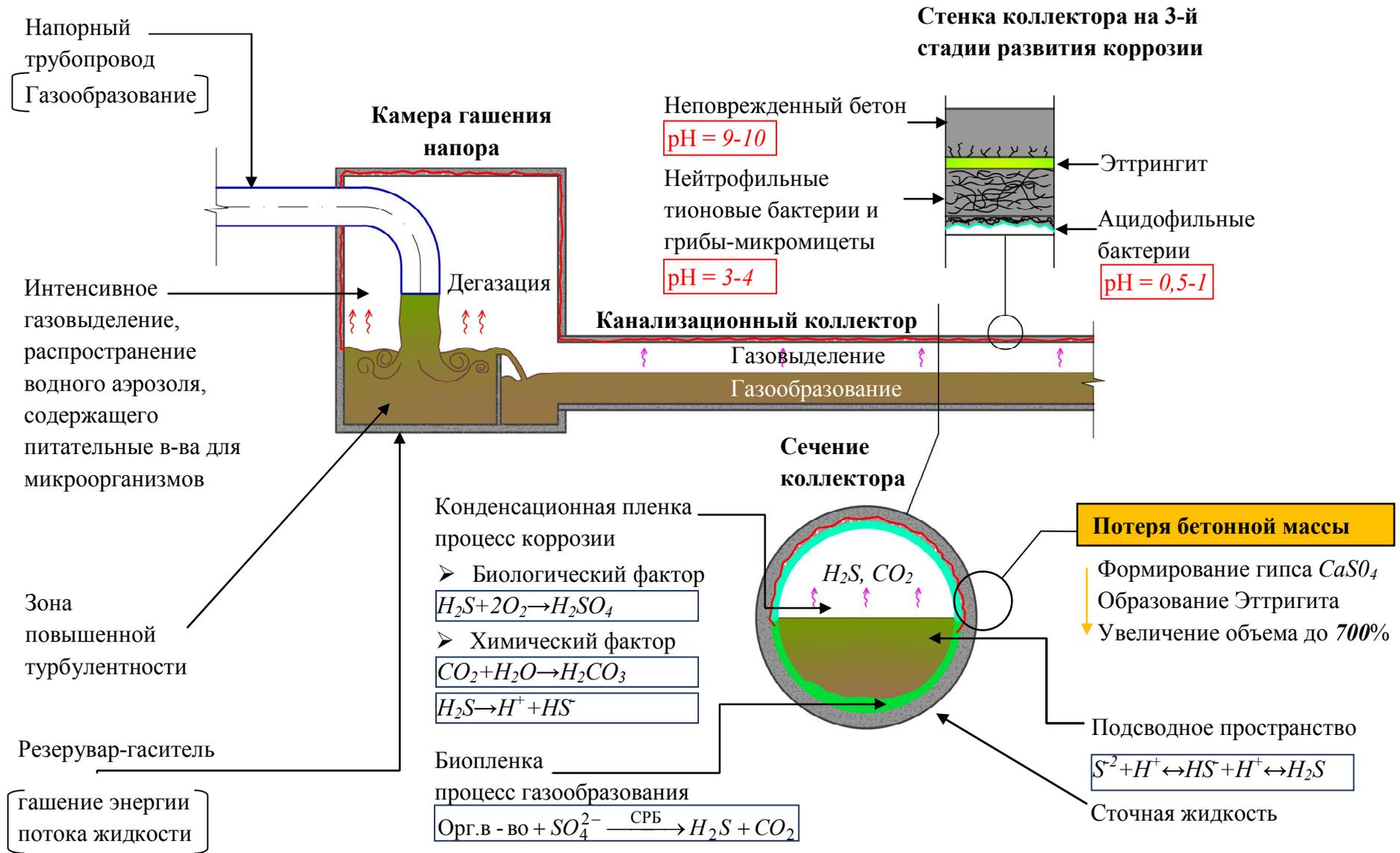


Рисунок 3.1.2.3 – Совместное разрушение камеры гашения напора и коллектора после нее

3.2 Эффективные конструкции камер гашения напора на канализационных сетях

Особый интерес вызывает разработка такой конструкции камеры гашения напора, которая позволила бы снизить негативный эффект от коррозии. Ранее (см. раздел 2.3) нами отмечалось, что это возможно при организации естественного эжектирования воздуха в подводящий трубопровод камеры гашения напора.

В данном случае возможны три принципиальных конструктивных решения, представленных на рис. 3.2.1. По данным схемам в резервуар-гаситель камеры гашения напора вода подается по подводящему трубопроводу, направленному вниз. При этом на отводе формируется зона отрыва струи – область пониженного давления. К этой области может быть подведен трубопровод-эжектор, сообщающийся с атмосферой (рис. 3.2.1, А), либо от подводящего трубопровода вверх на поверхность земли должен быть выведен воздуховод (рис. 3.2.2, Б). Также оба способа подведения воздуха могут быть осуществлены одновременно (рис. 3.2.3, В). Воздух поступает в подводящий трубопровод за счет разности давлений. При этом, чем больше величина вакуума в зоне отрыва струи, тем больший объем воздуха за единицу времени при прочих равных условиях направляется в подводящий трубопровод. Далее происходит массообменный процесс насыщения сточной жидкости кислородом воздуха. Абсорбером в данном случае выступает резервуар-гаситель камеры гашения напора. После барботирования в резервуаре-гасителе происходит истечение уже аэрированной сточной жидкости в лоток-гаситель.

Впервые данное решение, предложенное В.М. Васильевым, было опробовано в г. Новосибирск в камере гашения напора на ул. Московская, где был получен качественный эффект от внедрения (справка о внедрении – см. Приложение 3). Однако количественных параметров по работе данного способа получено не было, что и легло в основу исследования, выполненного автором.

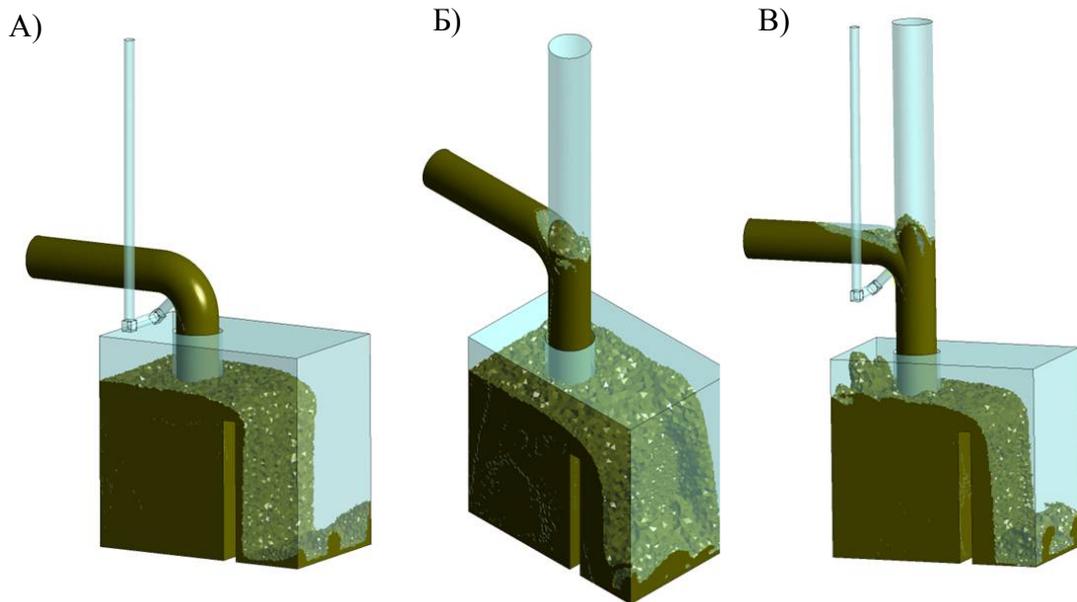


Рисунок 3.2.1 – Принципиальные конструктивные решения камер гашения напора

Научный и практический интерес представляют собой вопросы выбора оптимальной конструкции камеры гашения напора по указанным выше вариантам, а также установление наиболее выгодных соотношений диаметров трубопроводов, их линейных параметров относительно прочих элементов камеры, оптимальные размеры сооружения в плане, и другие условия. При этом основным критерием, определяющим эффективность работы камеры гашения напора, является концентрация кислорода в сточной жидкости на выходе из сооружения, которая может быть определена по методике, представленной в разделе 2.3.1. Расчетная схема камеры гашения напора с указанием параметров, оказывающих влияние на работу сооружения, представлена на рис. 3.2.2.

В настоящую схему включен затвор (12), не позволяющий воздуху, насыщенному сероводородом в результате дегазации в камере гашения напора, попасть в коллектор (7), в результате чего он направляется на установку газоочистки (10). Решение камеры гашения напора без этих элементов позволит снизить или полностью ликвидировать процесс газообразования в отводящем коллекторе, однако не позволит предотвратить дегазацию и последующую конденсацию выделяющихся газов, т.е. воспрепятствовать процессу коррозии.

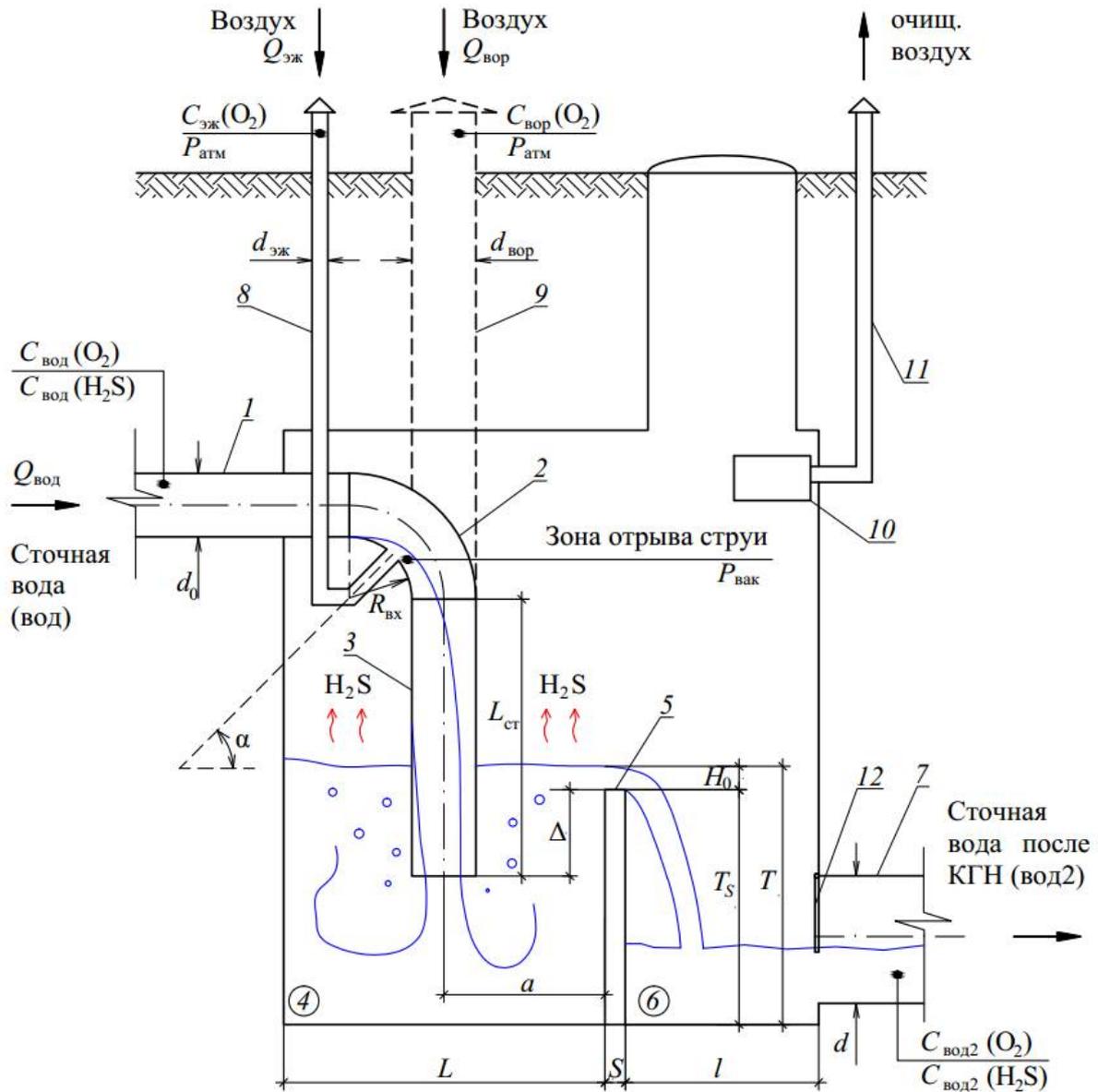


Рисунок 3.2.2 – Схема камеры гашения напора

1 – подводящий трубопровод; 2 – отвод; 3 – стояк; 4 – резервуар-гаситель; 5 – водосливная стенка; 6 – лоток-гаситель; 7 – отводящий коллектор; 8 – трубопровод-эжектор; 9 – эжекционная труба, подведенная к входной воронке; 10 – блок очистки воздуха, 11 – трубопровод отвода очищенного воздуха, 12 – затвор.

Вопросами определения расхода эжектируемого воздуха в трубчатых перепадах занимались профессора СПбГАСУ М.И. Алексеев [2] и В.М. Васильев [16]. Целью их исследований являлось определение количества воздуха, увлекаемого во входную воронку трубчатого перепада. Вопросами насыщения сточной жидкости кислородом воздуха занимались д.т.н., профессор Б.Г.

Мишуков и к.т.н., доцент Е.М. Протасовский, при этом рассматривались механические аэраторы [74].

В данном случае решается иная задача – подача воздуха в напорный трубопровод в камере гашения напора, при этом изучается работа трубопровода-эжектора, подключенного к подводящему трубопроводу в зоне отрыва струи. Близкая задача также рассматривалась у Д.С. Циклаури – работа струйного гидрокомпрессора, однако воздух в данном случае увлекался в эжектор, расположенный на длинном вертикальном трубопроводе, который, как правило, работал без насоса [95]. Также вопросы насыщения сточной жидкости кислородом воздуха рассматривались и в работах В.П. Колесникова, Е.В. Вильсон.

Для оценки влияния различных сочетаний гидравлических элементов предусматривается моделирование работы конструкций камер гашения напора.

Моделирование осуществляется двумя способами:

- 1) Моделирование с использованием физической модели в гидравлической лаборатории.
- 2) Математическое моделирование в программном комплексе ANSYS 14.5

Достоверные результаты способна обеспечить физическая модель камеры гашения напора. Однако ограниченность возможности изменения расположения элементов камеры, изменения диаметров трубопроводов и расходов воды обуславливают необходимость создания математических моделей. Математическая модель позволяет получить весь спектр результатов, необходимый для вывода зависимостей и выработки рекомендаций по проектированию камер гашения. Эффективным инструментом для создания математической модели является модуль CFX программного комплекса ANSYS. В случае взаимной сходимости результатов на физической и математической моделях, данные, получаемые путем математического моделирования также могут быть признаны достоверными.

В связи с вышесказанным параллельно разрабатывались обе модели, и физическая модель была необходима для корректной работы математических.

3.3 Физическое моделирование камеры гашения напора

Физическая модель камеры гашения напора была смонтирована в лаборатории гидравлики Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета на гидравлическом лотке [84]. Схема установки представлена на рис. 3.3.1.

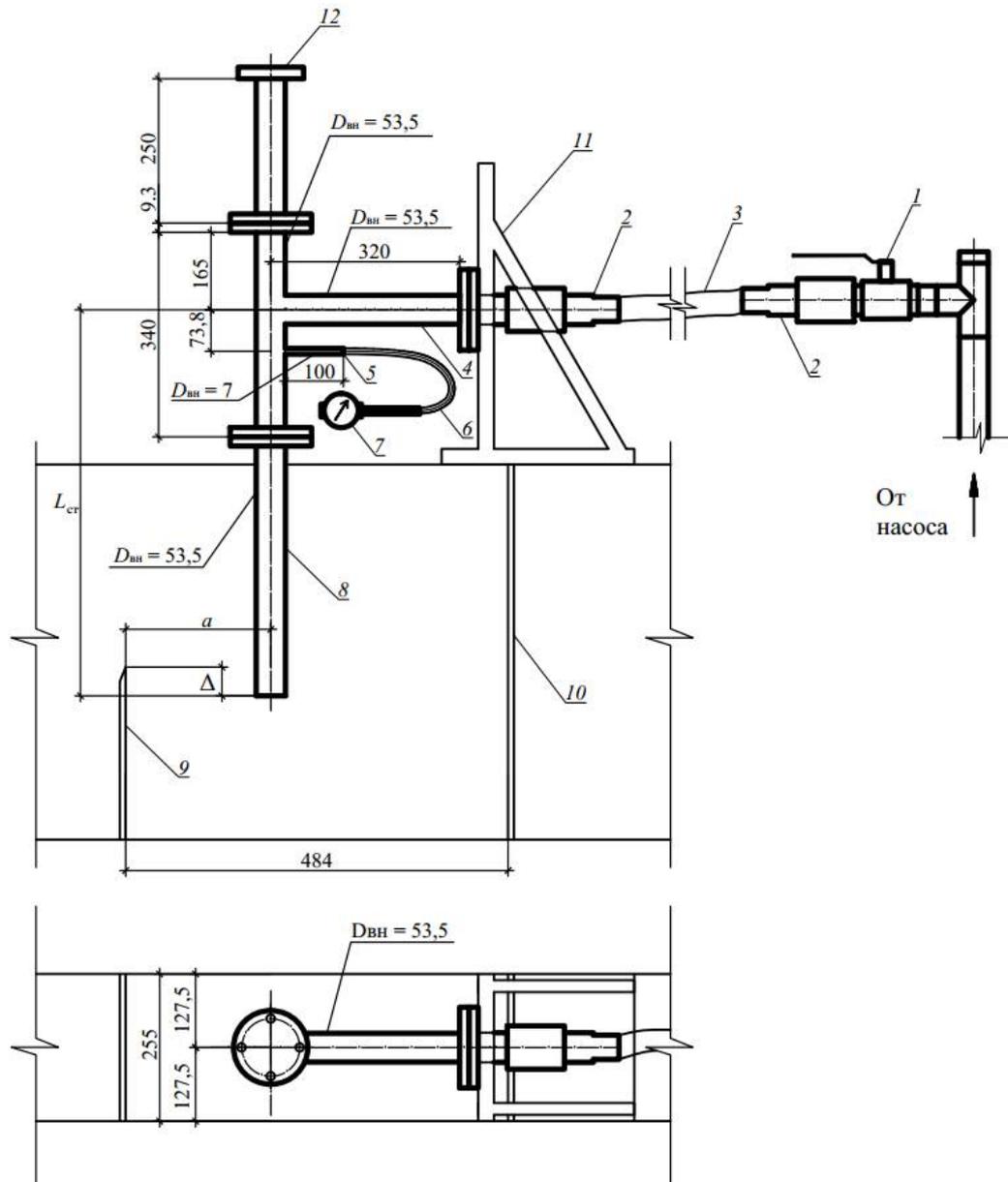


Рисунок 3.3.1 – Схема установки для исследования процессов эжектирования воздуха в камере гашения напора

Установка функционирует следующим образом. Вода поступает в камеру от погружного насоса, расположенного в подвальном помещении, по стальному

трубопроводу диаметром 50 мм. К данному трубопроводу была выполнена врезка, и на ответвлении был размещен шаровой кран (1). Далее вода следует по шлангу (2), соединяющемуся с тройником из оргстекла (4). В данном случае вместо традиционного для подобных сооружений отвода был использован тройник ($R_{\text{вх}} = 0$ мм) в связи с невозможностью в заводских условиях изготовить отвод из оргстекла с врезанной в нижнюю часть трубкой. К тройнику (4) подсоединен патрубок (8), опущенный ниже кромки водосливной стенки (9) на величину Δ . В зоне, где при течении жидкости по тройнику происходит отрыв струи и образуется зона пониженного давления, был смонтирован трубопровод-эжектор (5). К трубопроводу-эжектору (5) для замера расхода воздуха был присоединен газовый счетчик «Гранд 1.6» (7) посредством резиновой трубки (6). В верхней части тройника была смонтирована съемная заглушка (12). Вся конструкция жестко прикреплена к раме (11) с помощью болтов. В раме (11) имеются отверстия, позволяющие поднимать конструкцию выше или ниже над уровнем жидкости. При этом рама установлена на рельсах и может быть смещена вместе с конструкцией влево или вправо. Фотография установки представлена на рис. 3.3.2.



Поступление воздуха
в зону отрыва струи



Рисунок 3.3.2 – Фотография лабораторной установки

На установке была проведена серия опытов и были получены соответствующие графически зависимости.

1) Первая серия опытов

В данном случае на верхней части тройника была установлена заглушка, и воздух поступал в подводящий трубопровод через трубопровод-эжектор. В процессе исследования изменялись параметры заглубления стояка относительно водосливной грани Δ , длина стояка $L_{ст}$, расстояние от центра стояка до водосливной стенки a . Определение расхода воды производилось с помощью мерного бака, имеющегося на конце гидравлического лотка. Регулирование расхода воды осуществлялось за счет шарового крана (1) (см. рис. 3.3.1). Расход воздуха фиксировался на экране счетчика «Гранд 1.6». Параметры моделирования для первой серии опытов представлены в таблице 3.3.1.

Таблица 3.3.1 – Параметры моделирования (первая серия опытов)

Параметр	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Опыт 6	Опыт 7
Расстояние от центра стояка до водосливной стенки a .	255	255	255	255	255	100	255
Заглубление стояка относительно водосливной грани Δ , мм	90	0 (в уровень с водосливной стенкой)	295	185	85	85	-300 мм (выше поверхности воды на 300мм)
Длина стояка $L_{ст}$	630	630	925	725	725	725	630
Высота надводной части стояка, мм ($L_{ст} - \Delta$)	540	630	630	540	640	640	630

Результаты экспериментов представлены на графике (см. рис. 3.3.3). Здесь маркерами показаны точки, полученные в результате экспериментов, а также представлены линии тренда (полиномиальные параболические).

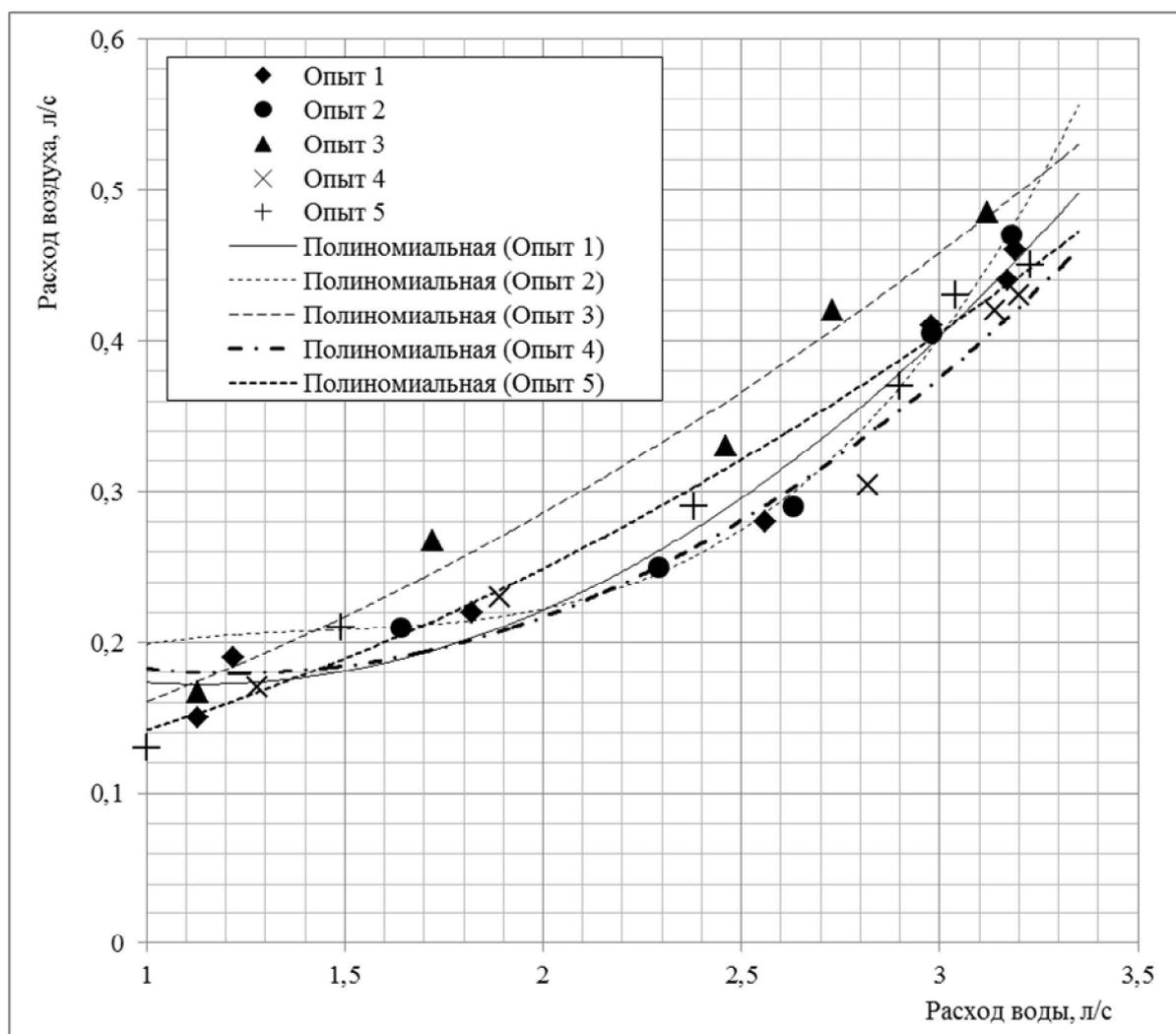


Рисунок 3.3.3 – Зависимость расхода воздуха от расхода воды при различных параметрах $L_{ст}$ и Δ

При анализе полученных данных можно отметить, что:

А) Во всех случаях наблюдается увеличение расхода воздуха в зависимости от расхода воды.

Б) Во всех случаях, когда стояк был заглублен под уровень жидкости, наблюдается схожая зависимость расхода воздуха от расхода поступающей жидкости (разница между кривыми в опытах 1, 2 – 5 составляет 0,02 – 0,08 л/с). Масштабы моделирования не позволяют выделить однозначную зависимость между заглублением стояка Δ и расходом воздуха. Эта зависимость может быть однозначно выведена при помощи математического моделирования.

В) Увеличение длины стояка в целом соответствует увеличению расхода поступающего через трубопровод-эжектор воздуха.

Д) При наблюдении за движением воды и воздуха в системе отмечается отсутствие пульсационных явлений. Это может объясняться наличием в верхней части воздушной полости, которая может заполняться формируемым столбом воды, высота которого определяется гидравлическим сопротивлением системы. Система становится уравновешенной, и отсутствует опасность механического разрушения конструкции.

Е) Также в ходе проведения исследования было предложено разместить низ стояка над поверхностью воды (опыт 7). В данном случае при небольших расходах воды поступления воздуха через трубопровод-эжектор отмечено не было. Однако при расходах воды, превышающих 2,0 л/с процесс начал происходить; при расходе воды 3,3 л/с, расход воздуха составил 0,5 л/с. Поэтому можно сделать вывод, что при определенной длине стояка (в данном случае – 630 мм) заглубление под уровень жидкости для создания замкнутой области пониженного давления может не требоваться.

2) Вторая серия опытов

В данном случае низ стояка был расположен над уровнем жидкости. Исследовались три варианта подвода воздуха: I – только через трубопровод эжектор, II – совместное поступление через верх тройника и эжектор, а также вариант III – с поступлением только через верх тройника.

Определение расхода воды и воздуха, поступающего через трубопровод-эжектор, производилось аналогично первой серии опытов. Расход воздуха, поступающего через верхнюю часть тройника, был определен путем нахождения средней скорости воздуха в сечении. Измерение скорости производилось термоанемометром Testo 425, а точка измерения выбиралась на расстоянии $1/3$ диаметра трубопровода от стенки в соответствии с [16].

На рис. 3.3.4 представлены графики пульсации скоростей в верхней части тройника на подающем трубопроводе. По оси абсцисс – число изменений значения скорости за измерительный цикл (20 секунд).

Определив значение средней скорости для каждого опыта, был установлен расход воздуха и составлен график, представленный на рис. 3.3.5. Из графика видно, что при наибольшем для установки расходе воды ($\sim 3,3$ л/с) значения по расходу воздуха существенно превышают аналогичные из первой серии опытов (\sim в 3 раза). Однако, во-первых результаты по расходу воздуха через верхнюю часть (эжекционную трубу) являются недостаточно точными в связи с условиями измерения, и полученные данные по эффекту могут быть завышены, а во-вторых отмечаются пульсации скорости воздуха с большой амплитудой (см. рис. 3.3.4), которые могут привести к механическому повреждению конструкции. Поэтому подобное решение для камер гашения напора не может быть рекомендовано.

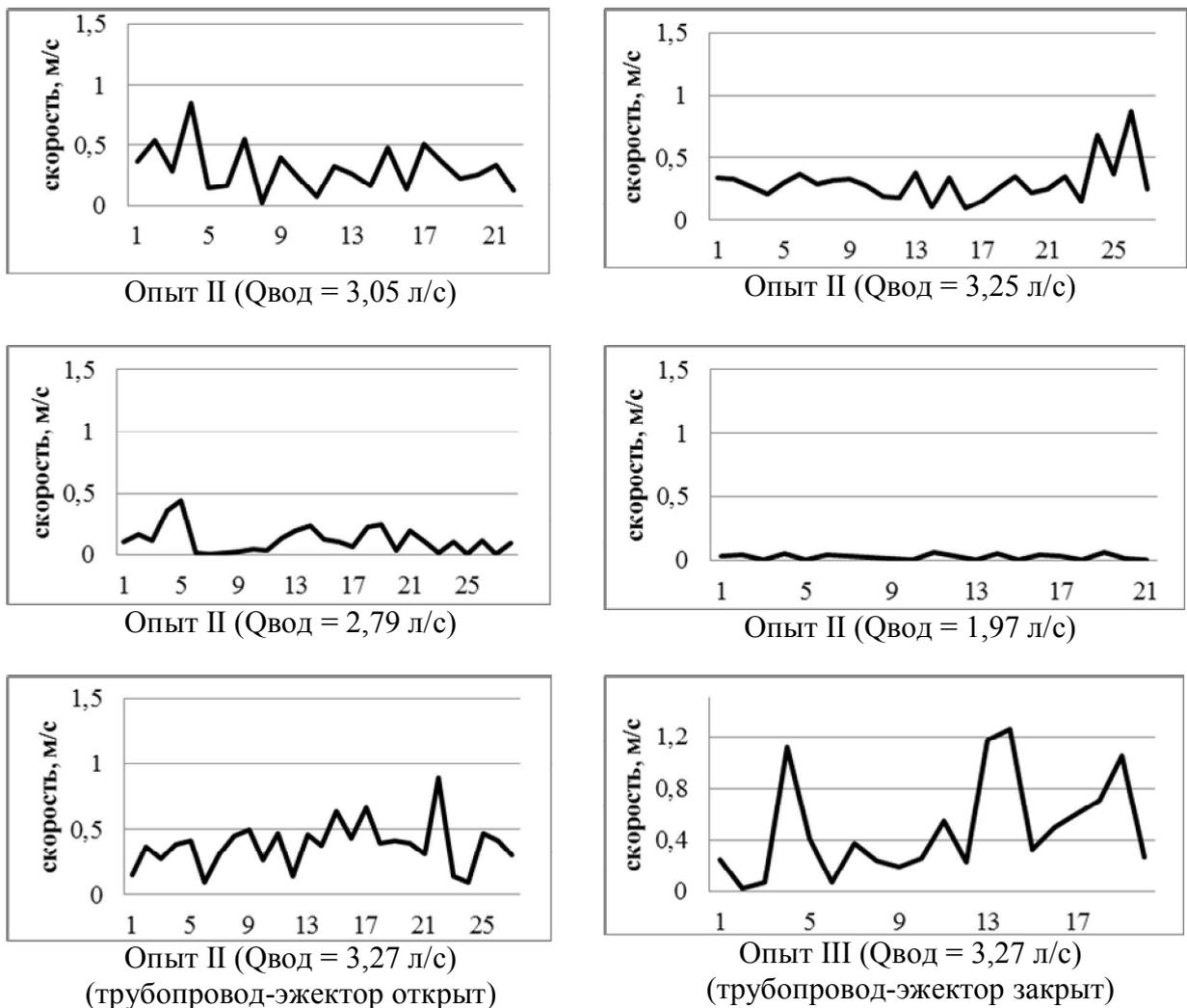


Рисунок 3.3.4 – Пульсации скоростей в верхней части тройника

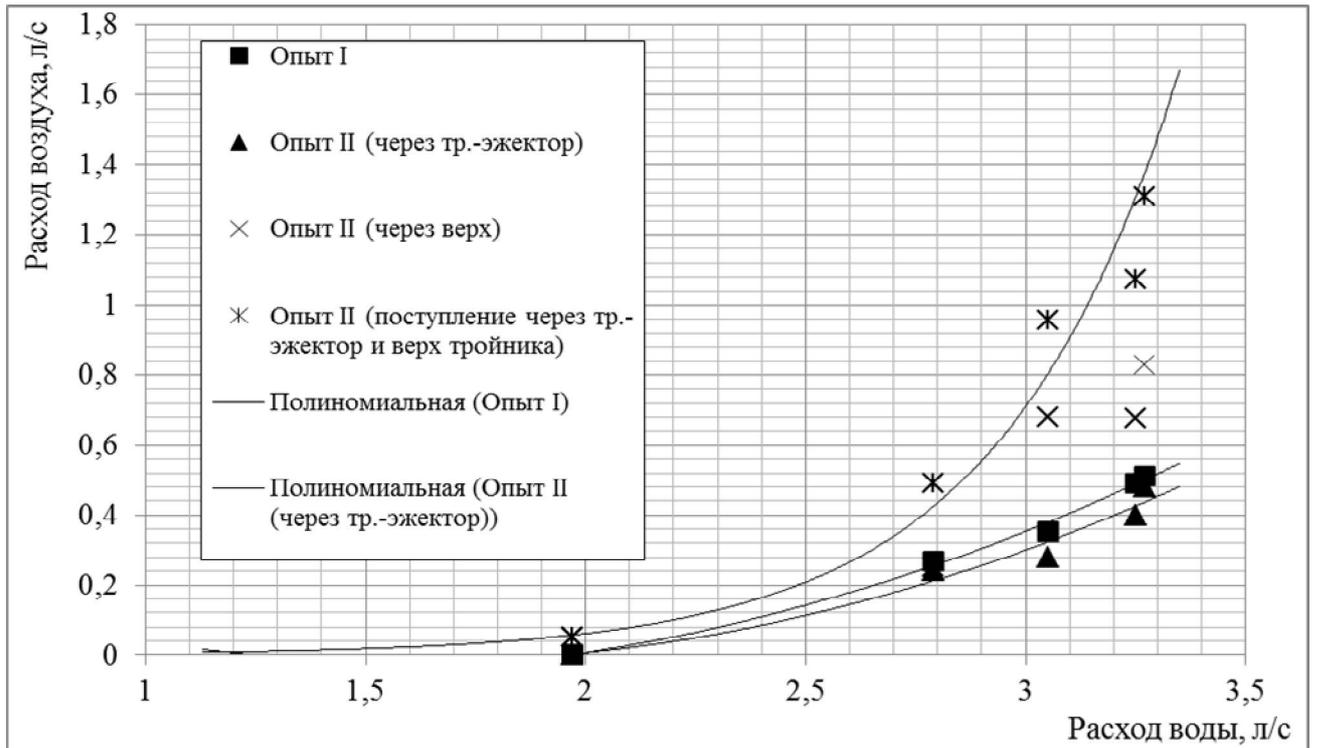


Рисунок 3.3.5 – Зависимость расхода воздуха от расхода воды при трех вариантах подачи воздуха

Проведенные исследования на физической модели позволяют сделать следующие выводы:

- 1) Экспериментально подтверждена возможность аэрирования жидкости воздухом за счет организации его естественной эжекции на подводящем трубопроводе камеры гашения напора
- 2) При закрытой заглушке и подачи воздуха в систему через трубопровод-эжектор отмечается работа камеры в режиме, близком к установившемуся. Пульсация сводится к минимуму, что позволяет рекомендовать использование такого решения на практике. В то же время при открытом сообщении с атмосферой в верхней части тройника наблюдаются опасные пульсационные явления.
- 3) Ограниченность возможности изменения расположения элементов камеры в экспериментальной установке, изменения диаметров трубопроводов и расходов воды обуславливают необходимость создания математической модели камеры гашения напора, позволяющей получить весь спектр результатов, необходимых для вывода зависимостей и выработки рекомендаций по проектированию камер гашения.

3.4 Математическое моделирование камеры гашения напора

3.4.1 Разработка математических моделей камеры гашения напора в программном комплексе ANSYS CFX

Математические модели камер гашения напора были созданы автором в программном комплексе ANSYS Workbench 14.5. Набор программных продуктов ANSYS является передовым комплексом средств компьютерного инженерного моделирования, использующий метод конечных элементов. Инструменты ANSYS позволяют решать всевозможные задачи из различных областей физики: конструкционные, тепловые, гидрогазодинамические, электромагнитные, а также междисциплинарные (с сопряжением различных областей физики) [101]. В программный комплекс ANSYS входит модуль CFX, позволяющий решать задачи совместного движения жидкости и газа в различных конструкциях.

В основу математической модели камеры гашения напора (и ее различных модификаций), созданной и решаемой средствами пакета ANSYS CFX, положена система уравнений Навье – Стокса, осредненных по Рейнольдсу (Reynolds-averaged Navier–Stokes) (уравнения 3.4.1.1, 3.4.1.2)

$$\frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_j} = 0; \quad \frac{\partial u_j'}{\partial x_j} = 0 \quad (3.4.1.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot \overline{u_i}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \cdot \overline{u_j} \cdot \overline{u_i}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot (\overline{\tau_{ij}} - \rho \cdot \overline{u_j' \cdot u_i'}) \quad (3.4.1.2)$$

Здесь обозначены $\overline{(\)}$ – осредненные по времени величины, $(\)'$ – пульсационные величины;

$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$; – индексы, определяющие направление декартовой системы координат x_j .

u_i, u_j – декартовые составляющие скорости в направлении соответствующих осей;

p – давление;

ρ – плотность жидкости;

τ_{ij} – составляющие тензора вязких напряжений;

$$\tau_{ij} = \mu \cdot \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right), \quad (3.4.1.3)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости;

$\rho \cdot \overline{u'_j \cdot u'_i}$ – составляющие тензора напряжений Рейнольдса. Они являются шестью неизвестными случайными величинами, по причине чего система уравнений (3.4.1.1, 3.4.1.2) является незамкнутой [4].

Система уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, в данном случае дополняется моделью турбулентности, созданной на основе статистических данных о величине вышеуказанных параметров. ANSYS CFX предоставляет возможность выбора модели турбулентности [101], и для исследования была выбрана $k - \varepsilon$ модель турбулентности, являющаяся наиболее часто используемой при решении инженерных задач гидрогазодинамики [46, 93] и позволяющая получать результаты высокой точности, как показано в [46].

Стандартная $k - \varepsilon$ модель турбулентности [4] содержит два дополнительных уравнения (к осредненным по Рейнольдсу уравнениям Навье-Стокса): уравнение транспорта кинетической энергии (3.4.1.4) и уравнение транспорта диссипации турбулентности (3.4.1.5).

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \overline{u_j} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\overline{v} + \frac{\overline{v_t}}{\sigma_k} \right) \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \tau_{ij} \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (3.4.1.4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \overline{u_j} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\overline{v} + \frac{\overline{v_t}}{\sigma_\varepsilon} \right) \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + C_{\varepsilon 1} \cdot \frac{\varepsilon}{k} \cdot \tau_{ij} \cdot \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \cdot \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (3.4.1.5)$$

где

k – кинетическая энергия турбулентности

ε – скорость диссипации энергии турбулентности

$\overline{v_t} = c_\mu \cdot k^2 / \varepsilon$ – турбулентная кинематическая вязкость,

Стандартные константы модели [4]:

$$C_\mu = 0,09, C_{\varepsilon 1} = 1,44, C_{\varepsilon 2} = 1,92, \sigma_k = 1, \sigma_\varepsilon = 1,3.$$

Применение вышеуказанных зависимостей для конкретных инженерных задач в среде ANSYS CFX производится в следующей последовательности. На начальном этапе с помощью инструмента DesignModeller создается пространство, в котором предполагается движение воды и воздуха (домен). Это пространство ограничивается пустыми областями, выступающих в роли стенок сооружения. Далее с помощью инструмента Meshing осуществляется разбиение домена сеткой. В узлах этой сетки в при дальнейшем решении формируются числовые значения интересующих параметров. Чем выше точность сетки (количество ячеек на единицу площади), тем точнее будет итоговый результат и тем больший ресурс требуется ЭВМ для выполнения расчета. После генерации сетки следует этап задания граничных условий – давление, расход воды или воздуха, шероховатость стенки и прочие характеристики плоских сечений, ограничивающих расчетную область. После задания всех граничных условий производится расчет, при этом указывается количество итераций. Считается, что достоверность решения обеспечивается при 300 – 400 итерациях [101]. После выполнения расчета производится работа с инструментом CFD-post (Постпроцессор), откуда может быть получена визуализация движения воды и воздуха в геометрическом пространстве, вектора скоростей сред, значения расходов и давлений в сечениях.

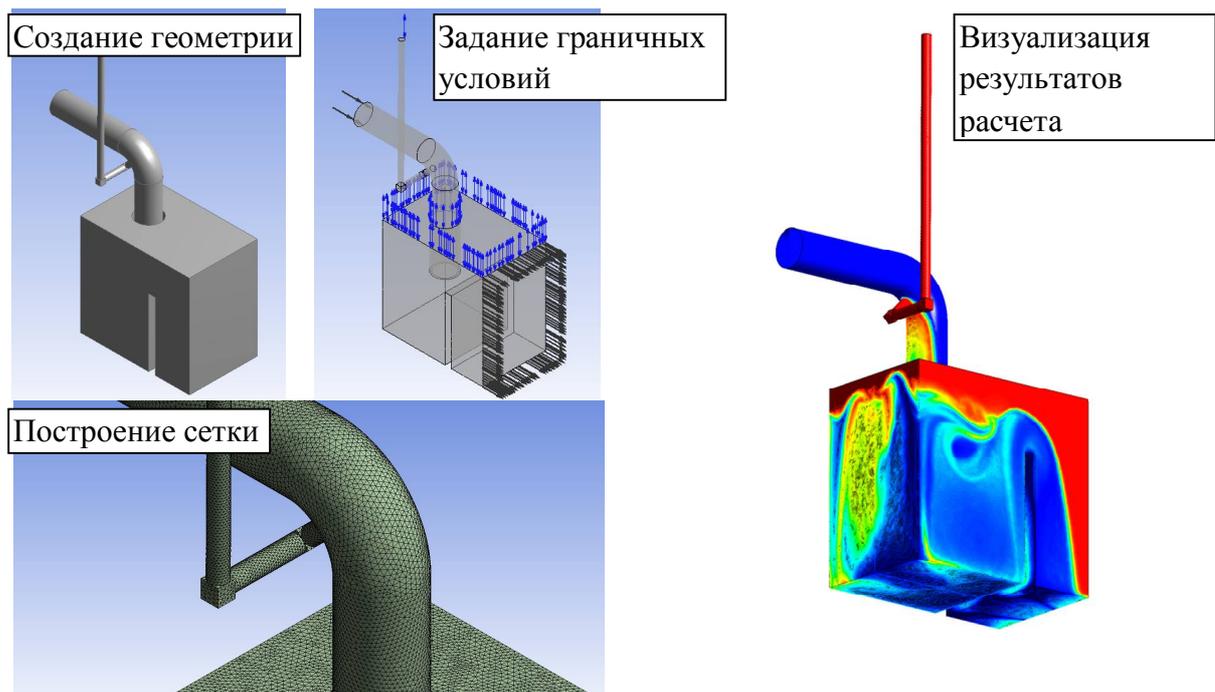


Рисунок 3.4.1.1 – Создание модели в ANSYS CFX

3.4.2 Верификация разработанных математических моделей

Как уже было отмечено в разделе 3.2, достоверность получаемых на математических моделях результатов может быть доказана только путем их сравнения с натурными данными. В этих целях в программном комплексе ANSYS CFX была создана математическая модель камеры гашения напора, идентичная физической модели, созданной в лаборатории и рассмотренной в разделе 3.3. На рис. 3.4.2.1 представлена модель камеры с заданными граничными условиями.

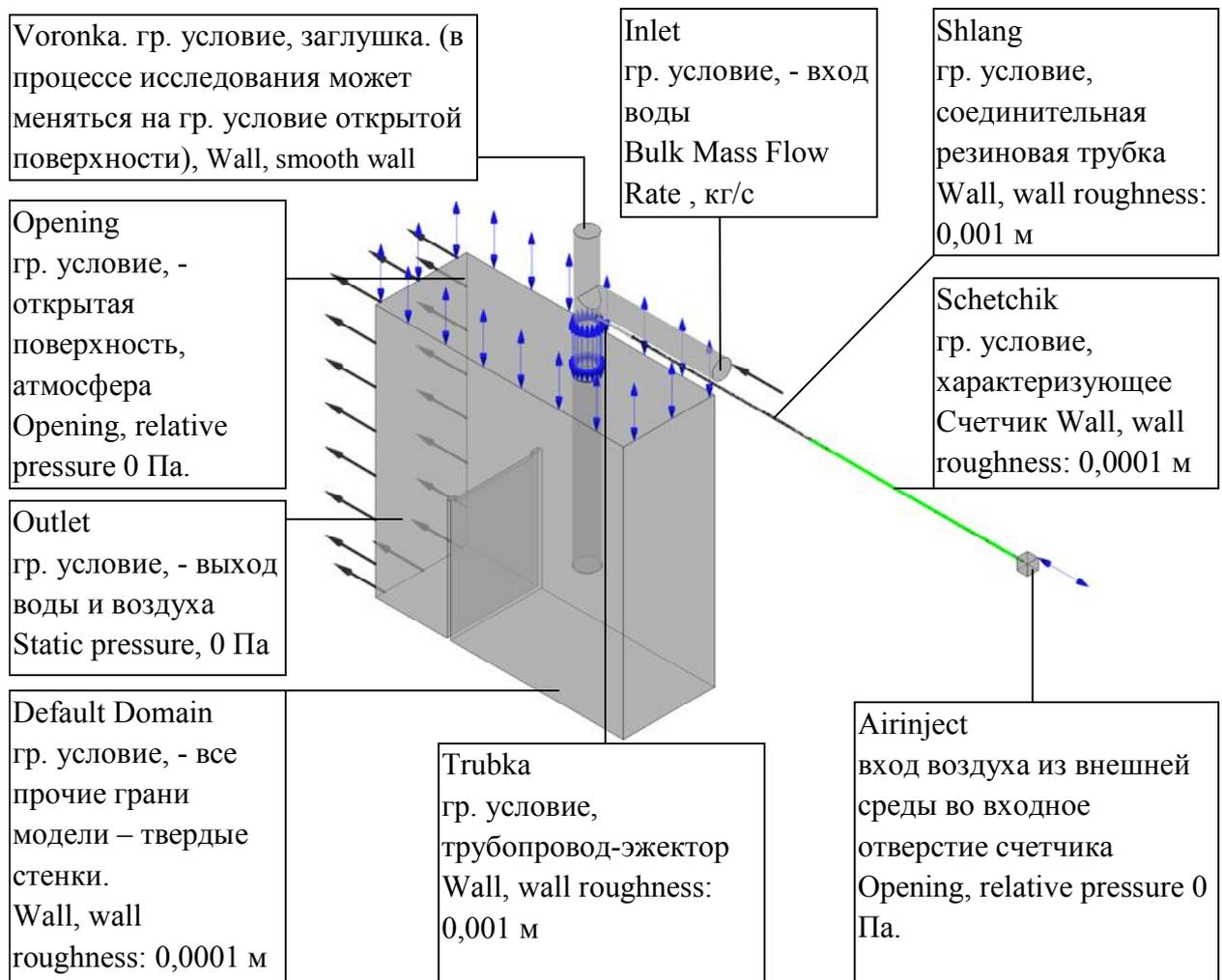


Рисунок 3.4.2.1 – Граничные условия модели камеры гашения напора

Для корректного моделирования сопротивления газового счетчика «Гранд 1.6», первоначально был проведен ряд опытов, в результате которого было установлено, что такое же сопротивление будет создавать трубопровод диаметром

6 мм, шероховатостью 0,1 мм и длиной 590 мм. Данные о потерях давления в счетчике были получены у Завода-изготовителя (ООО «Турбулентность Дон»).

Сравнение визуализации математического моделирования и физической моделью представлено на рис. 3.4.2.2.

На рис. 3.4.2.3 показано сравнение данных, полученных на физической и математической моделях. Исследование проводилось при параметрах $a = 255$ мм, $\Delta = 91$ мм, $L_{ст} = 625$ мм.

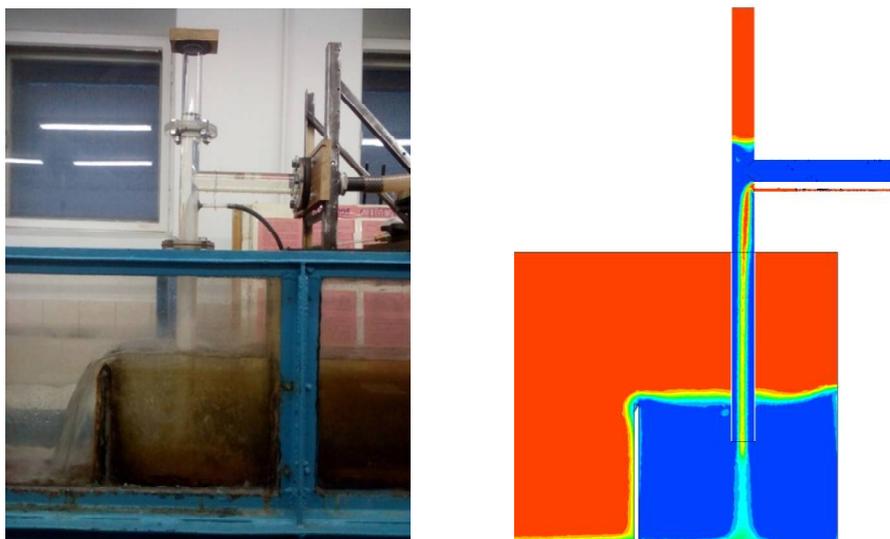


Рисунок 3.4.2.2 – Физическая и математическая модели камеры гашения напора, расход воды $Q=3,19$ л/с

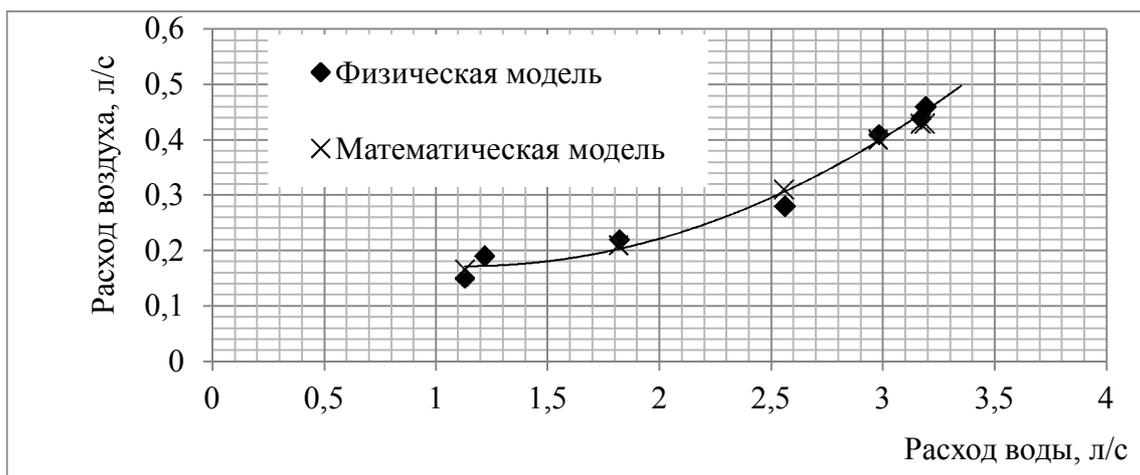


Рисунок 3.4.2.3 – Результаты исследования. Зависимость расхода эжектируемого воздуха от расхода воды

Результаты соответствуют хорошей сходимости данных модельных расчетов с натурой.

В целях дополнительной проверки точности результатов, получаемых на математических моделях камер гашения напора, были созданы математические модели канализационных трубчатых перепадов. Было произведено сравнение результатов, полученных В.М. Васильевым и М.И. Алексеевым [16] с данными, получаемыми с помощью математических моделей.

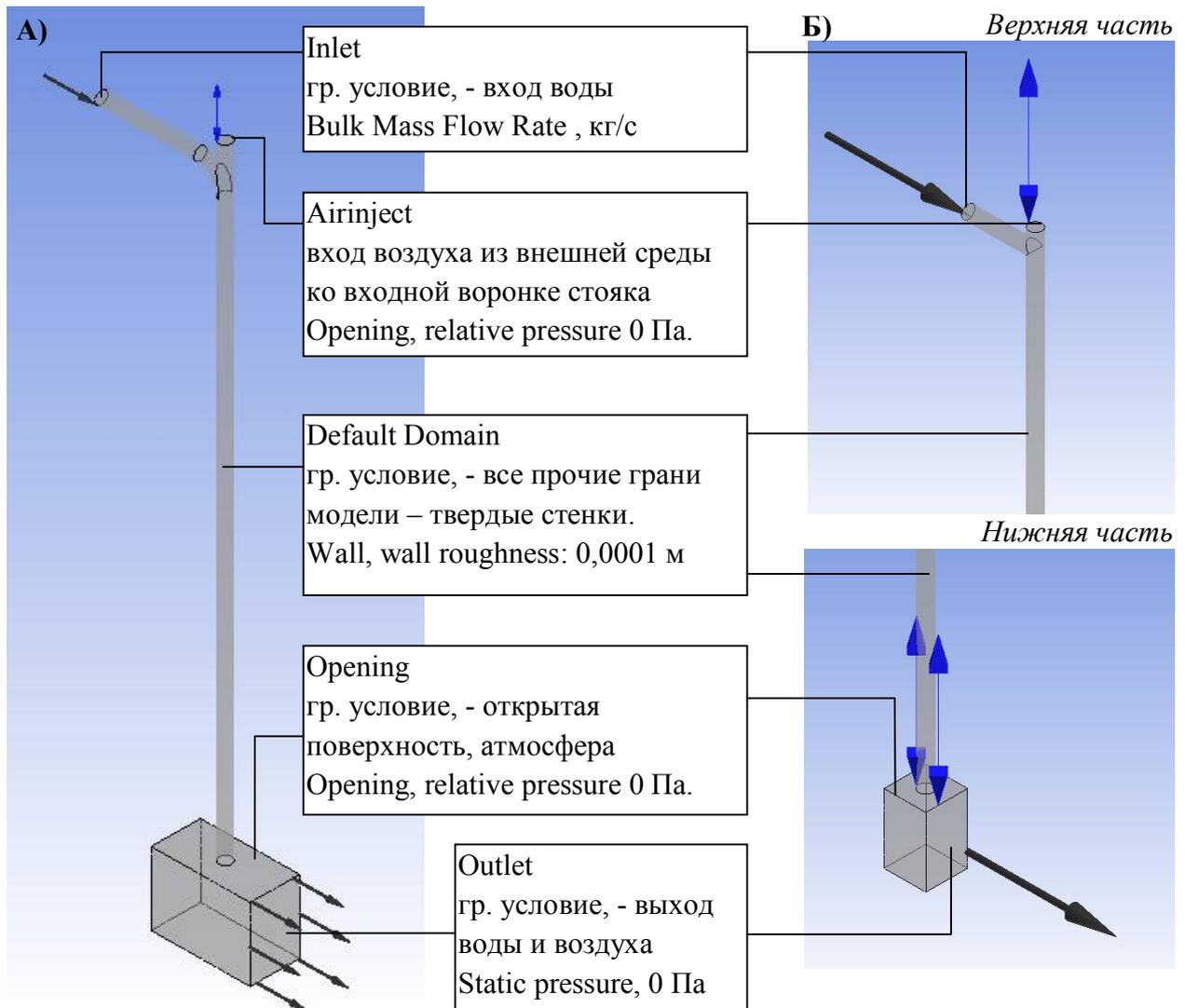


Рисунок 3.4.2.4 – Модели стояков, построенные по данным В.М. Васильева (А) и М.И. Алексеева (Б)

На рис. 3.4.2.5, 3.4.2.6 представлены результаты моделирования работы стояков по данным В.М. Васильева при различных высотах стояка (P). Диаметр стояка (D) составил 0,052 м, радиус входной воронки $R_{\text{вх}} = 0,156$ м. График (см. рис. 3.4.2.5) демонстрирует хорошую сходимость модельных и натурных данных. Картина движения жидкости, представленная на рис. 3.4.2.6, соответствует

действительности: отмечается образование «шатра» у входной воронки в верхней части стояка и характерное кольцевое движение с воздухом в центре и водой по периферии по всей длине стояка. На рис. 3.4.2.6 приведены результаты моделирования работы стояков по данным М.И. Алексеева. Для обеих серий опытов получена хорошая сходимость результатов.

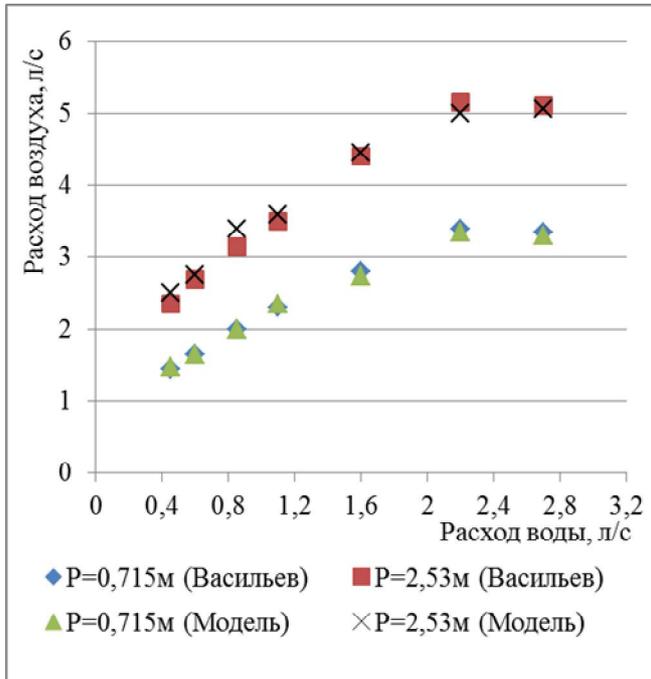


Рисунок 3.4.2.5 – Результаты моделирования стояка и сравнение с данными В.М. Васильева

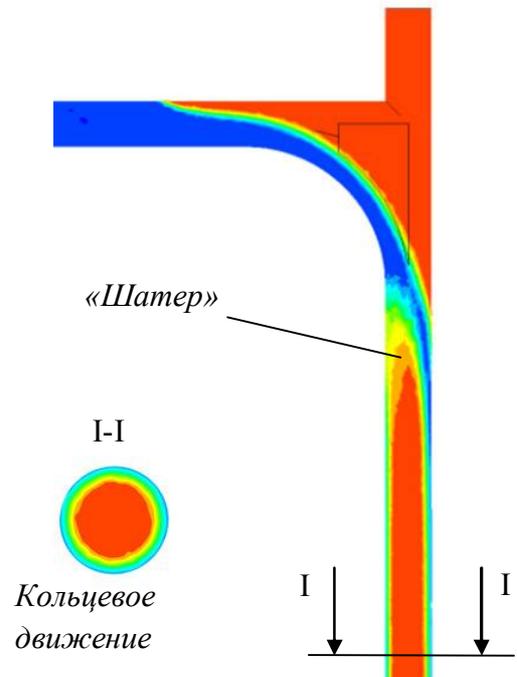


Рисунок 3.4.2.6 – Визуализация движения воды и воздуха по стояку

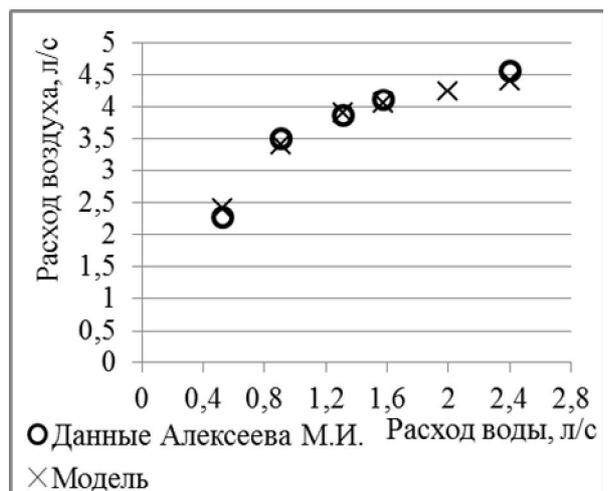
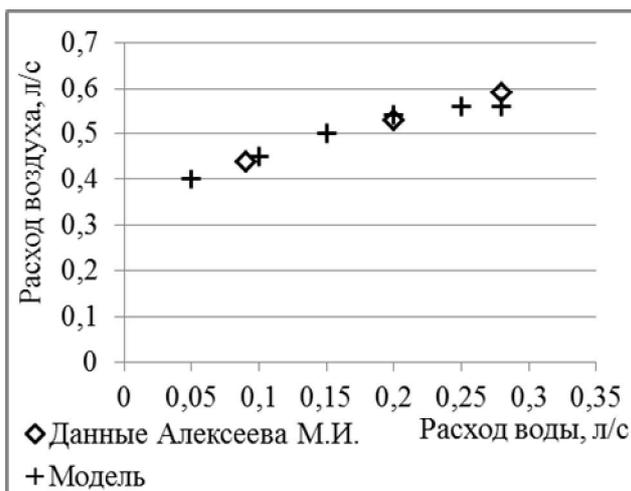


Рисунок 3.4.2.7 – Результаты моделирования стояка по данным М.И. Алексеева. Первая серия опытов (А) – $D = 0,02$ м, $P = 2,92$ м, $R_{вх} = 0$., Вторая серия опытов (Б) – $D = 0,05$ м, $P = 6,2$ м, $R_{вх} = 0$.

3.4.3 Результаты математического моделирования конструкций камеры гашения напора

В зависимости от диаметров подающего трубопровода, трубопровода-эжектора, заглубления стояка, геометрических размеров резервуара-гасителя, способа отвода воды от резервуара-гасителя и других гидравлических и геометрических параметров, расход эжектируемого воздуха и условия барботирования будут различными. В соответствии с этим стояла задача выявить, какие соотношения и условия должны быть, чтобы при различных расходах сточной жидкости получить лучшие условия по насыщению воды кислородом воздуха. Математическая модель одной из конструкций камеры гашения напора, с указанием параметров моделирования и граничных условий представлена на рис. 3.4.3.1.

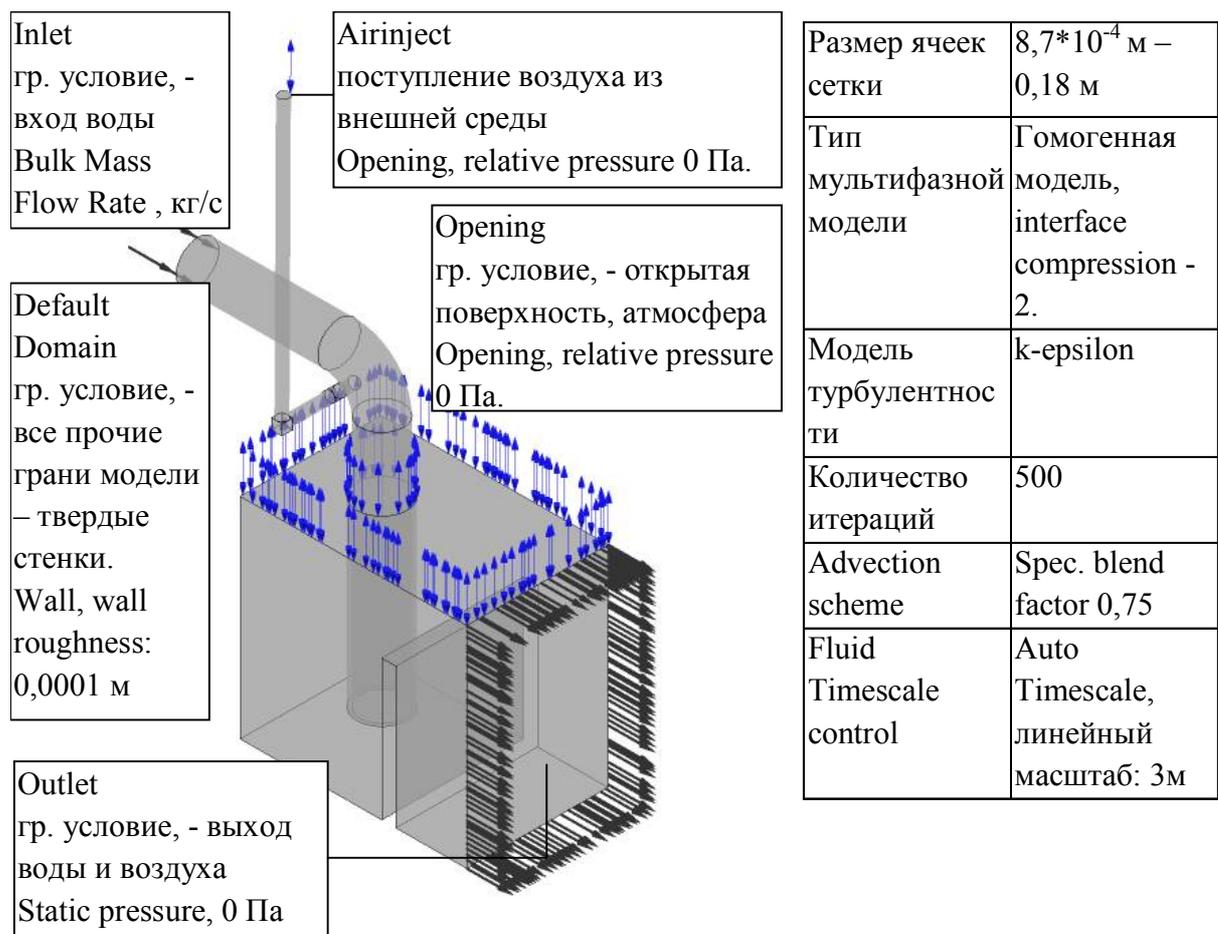


Рисунок 3.4.3.1 – Математическая модель камеры гашения напора, граничные условия задачи и параметры моделирования

В рамках исследования количества эжектированного воздуха в зависимости от количества подаваемой воды было проведено 18 серий опытов. Диапазон расходов воды принимался соответствующим скоростям 1 – 3 м/с (рекомендуемые скорости движения воды в напорных трубопроводах для диаметров 250 – 800 мм по [80]; этот же диапазон скоростей был выбран и для трубопровода диаметром 200 мм для единообразия принимаемых скоростей). Условия моделирования представлены в таблице 3.4.3.1. Диаметр трубопровода-эжектора $d_{эж}$ был назначен 75 мм, а его длина была принята конструктивно – 2 м, шероховатость – 0,0001 м.

Таблица 3.4.3.1 – Серии опытов для определения расхода эжектируемого воздуха в зависимости от Δ и $R_{вх.}$, $L_{ст.}$

№ Серии опытов	Диаметр подводящего трубопровода, d_0 , мм	Диаметр трубопровода- эжектора, $d_{эж}$, мм	Диапазон расходов воды, $Q_{вод}$, л/с	Диапазон заглублений подводящего трубопровода, Δ , мм	Радиус входа $R_{вх}$	($L_{ст}$ - Δ), мм
1	200	75	30 - 105	0 - 800	$0,75 \cdot d_0$	500
2	200	75	30 - 105	0 - 800	$0,5 \cdot d_0$	500
3	200	75	30 - 105	0 - 800	$0 \cdot d_0$	500
4	300	75	75 - 200	0 - 800	$0,75 \cdot d_0$	500
5	300	75	75 - 200	0 - 800	$0,5 \cdot d_0$	500
6	300	75	75 - 200	0 - 800	$0 \cdot d_0$	500
7	400	75	125 - 275	0 - 800	$0 \cdot d_0$	500
8	500	75	200 - 575	0 - 800	$0,75 \cdot d_0$	1000
9	500	75	200 - 575	0 - 800	$0,5 \cdot d_0$	1000
10	500	75	200 - 575	0 - 800	$0 \cdot d_0$	1000
11	600	75	300 - 800	0 - 800	$0 \cdot d_0$	1000
12	600	100	300 - 800	0	$0 \cdot d_0$	1000
13	600	200	300 - 800	0	$0 \cdot d_0$	1000
14	600	300	300 - 800	0	$0 \cdot d_0$	1000
15	600	600	300 - 800	0	$0 \cdot d_0$	1000
16	800	75	500 - 1500	0 - 800	$0 \cdot d_0$	1000
17	800	200	500 - 1500	0 - 800	$0 \cdot d_0$	1000
18	800	200	500 - 1500	0 - 800	$0 \cdot d_0$	1500

Порядок математической обработки результатов исследования представлен на примере первой серии опытов.

1) Формировалась таблица, содержащая данные, полученные в результате математического моделирования.

Таблица 3.4.3.2 – Значения расхода эжектируемого воздуха $Q_{эж}$, л/с, при различных значениях расхода воды $Q_{вод}$ и заглубления Δ .

Δ , мм $Q_{вод}$, л/с	0	100	200	300	400	500	600	700	800
30	13,12236	10,12658	8,531646	6,421941	6,921519	6,244726	5,443882	4,896203	4,150211
45	14,36287	11,55274	10,91139	9,400844	8,455696	7,548523	7,262447	6,437975	6,206751
60	14,39662	12,86076	11,72996	10,40506	9,755274	9,021097	8,265823	7,967089	7,327426
75	15,38397	13,64557	13,39241	11,93249	11,18143	11,1308	10,44726	10,07595	9,780591
90	16,16034	15,35865	14,98734	14,01020	13,32489	12,98734	12,55696	12,12658	10,58228
105	17,02954	16,43882	16,62447	16,02031	15,78059	14,93671	13,83966	11,34177	14,65823

2) Значения в таблице умножились на 1000 с целью увеличения точности выведения коэффициентов.

3) По полученному массиву данных был построен график (см. рис. 3.4.3.2)

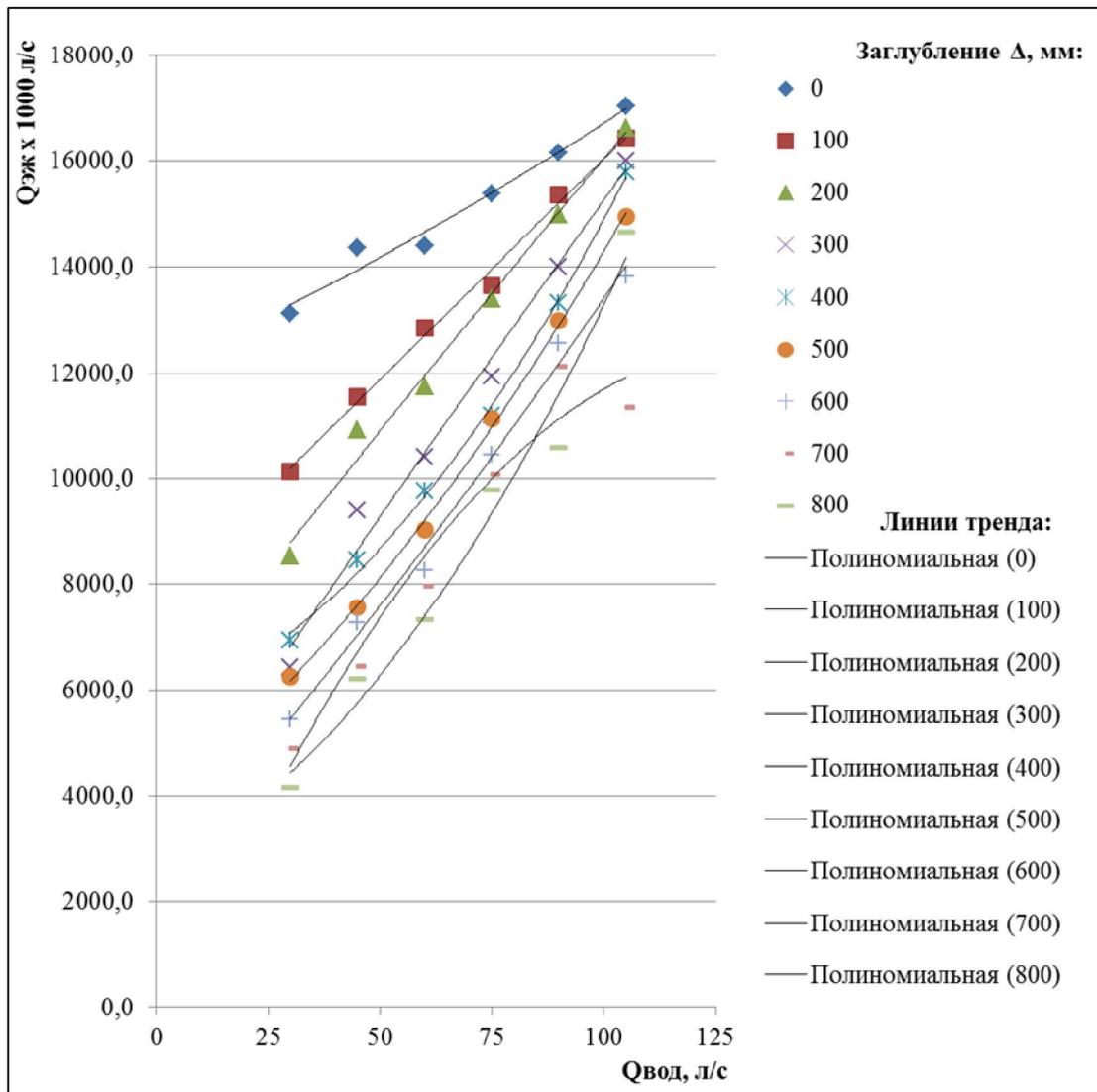


Рисунок 3.4.3.2 – Результаты математического моделирования, зависимость расхода эжектируемого воздуха $Q_{эж}$ от расхода воды $Q_{вод}$.

4) На графике средствами пакета Microsoft Excel были построены линии тренда (квадратичные функции) и получены их уравнения (см. табл. 3.4.3.3)

Таблица 3.4.3.3 – Уравнения линий трендов

Δ , мм	Уравнение линии тренда $Q_{\text{эж}} = A \cdot Q_{\text{вод}}^2 + B \cdot Q_{\text{вод}} + C$
0	$Q_{\text{эж}} = 0,0884066707Q_{\text{вод}}^2 + 37,4281695801Q_{\text{вод}} + 12\,088,7281494877$
100	$Q_{\text{эж}} = -0,0087067176Q_{\text{вод}}^2 + 84,5348603576Q_{\text{вод}} + 7\,669,8010849909$
200	$Q_{\text{эж}} = -0,0482218204Q_{\text{вод}}^2 + 110,0421940928Q_{\text{вод}} + 5\,519,7106690777$
300	$Q_{\text{эж}} = -0,0509008104Q_{\text{вод}}^2 + 127,2814948764Q_{\text{вод}} + 3\,033,8758288125$
400	$Q_{\text{эж}} = 0,6335811399Q_{\text{вод}}^2 + 29,3791440627Q_{\text{вод}} + 5\,617,6009644364$
500	$Q_{\text{эж}} = 0,3780724667Q_{\text{вод}}^2 + 66,8384569017Q_{\text{вод}} + 3\,829,2344786016$
600	$Q_{\text{эж}} = 0,1385707588Q_{\text{вод}}^2 + 95,6622463331Q_{\text{вод}} + 2\,456,5039180228$
700	$Q_{\text{эж}} = -0,7576853526Q_{\text{вод}}^2 + 200,1971066908Q_{\text{вод}} - 756,2748643761$
800	$Q_{\text{эж}} = 0,7000870672Q_{\text{вод}}^2 + 35,2403054049Q_{\text{вод}} + 2\,756,3230861964$

5) После этого была составлена таблица коэффициентов A , B и C для каждого значения заглубления Δ , мм (см. табл. 3.4.3.4). Коэффициенты выведены с точностью до 10 знаков после запятой, что позволяет получить достоверную итоговую зависимость. Уменьшение точности коэффициентов до двух знаков после запятой приводит к значению погрешности более 10%.

Таблица 3.4.3.4 Коэффициенты A , B , C для каждого значения Δ .

Δ , мм	A	B	C
0	0,0884066707	37,4281695801	12 088,7281494877
100	0,0087067176	84,5348603576	7 669,8010849909
200	-0,0482218204	110,0421940928	5 519,7106690777
300	-0,0509008104	127,2814948764	3 033,8758288125
400	0,6335811399	29,3791440627	5 617,6009644364
500	0,3780724667	66,8384569017	3 829,2344786016
600	0,1385707588	95,6622463331	2 456,5039180228
700	-0,7576853526	200,1971066908	- 756,2748643761
800	0,7000870672	35,2403054049	2 756,3230861964

На основании представленных выше данных были построены соответствующие графические зависимости (см. рис. 3.4.3.3), и для этих зависимостей также выведены линии тренда, представляющие собой квадратичные функции. Они также содержат коэффициенты A , B , C перед переменной. Таким образом, для первой кривой (A) коэффициентам присваивается индекс « A », для второй (B) – индекс « B », для третьей (C) – индекс « C ».

В общем виде уравнение зависимости $Q_{\text{эж}}$ от $Q_{\text{вод}}$ и Δ может быть представлено:

$$Q_{\text{эж}} = ((A_A \cdot \Delta^2 + B_A \cdot \Delta + C_A) \cdot Q_{\text{вод}}^2 + (A_B \cdot \Delta^2 + B_B \cdot \Delta + C_B) \cdot Q_{\text{вод}} + (A_C \cdot \Delta^2 + B_C \cdot \Delta + C_C)) / 1000, \quad (3.4.3.1)$$

при этом коэффициенты $A_A - C_C$ зависят от конкретных условий.

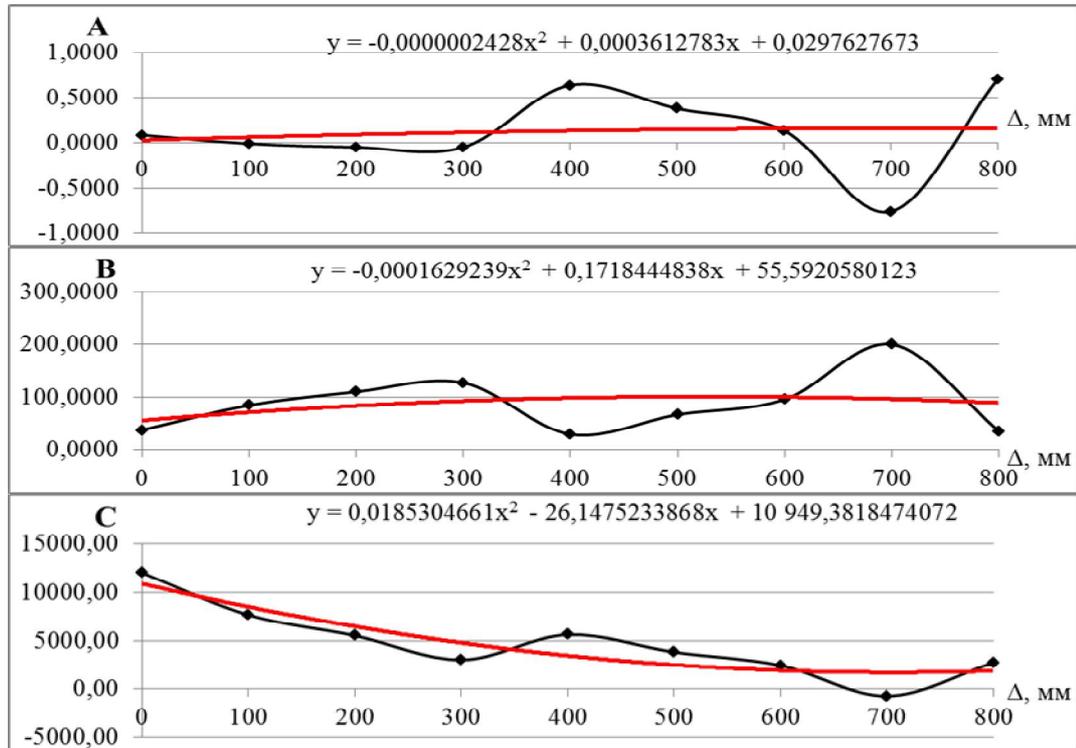


Рисунок 3.4.3.3 – Зависимости значений коэффициентов A , B , C от значения параметра заглабления Δ ; (x в уравнениях линий тренда – Δ)

При подстановке в уравнение (3.4.3.1) полученных коэффициентов, а также значений $Q_{\text{вод}}$ и Δ , образуется массив данных (табл. 3.4.3.5)

Таблица 3.4.3.5 – Значения расхода эжектируемого воздуха $Q_{\text{эж}}$, л/с при различных значениях расхода воды $Q_{\text{вод}}$ и заглабления Δ (обработанные данные)

Δ , мм \ $Q_{\text{вод}}$, л/с	30	45	60	75	90	105
0	12,64393	13,51129	14,39205	15,2862	16,19375	17,11468
100	10,71147	11,85007	13,01724	14,21296	15,43724	16,69007
200	9,047492	10,403	11,80004	13,23862	14,71874	16,24039
300	7,651999	9,170064	10,74046	12,36319	14,03825	15,76565
400	6,524991	8,151276	9,838503	11,58667	13,39578	15,26583
500	5,666468	7,346633	9,094163	10,90906	12,79132	14,74095
600	5,07643	6,756134	8,507443	10,33036	12,22487	14,191
700	4,754875	6,379779	8,078341	9,850562	11,69644	13,61598
800	4,701806	6,217569	7,806859	9,469676	11,20602	13,01589

По данным, представленным в табл. 3.4.3.5, может быть построена трехмерная поверхность (см. рис. 3.4.3.4).

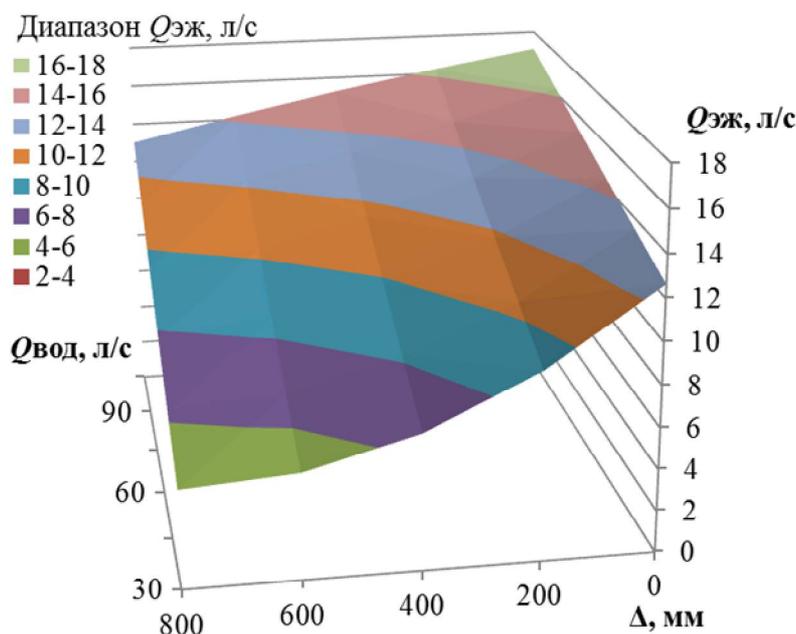


Рисунок 3.4.3.4 – Значения расхода эжектируемого воздуха $Q_{эж}$, при различных значениях расхода воды $Q_{вод}$ и заглубления Δ для серии опытов №1

Из графика на рис. 3.4.3.4 видно, что заглубление оказывает значительное влияние на расход эжектируемого воздуха. Точке максимума соответствует минимальное заглубление при наибольшем поступающем расходе воды.

Таким образом были обработаны все указанные серии опытов (за исключением №10 – 13). Ниже представлена таблица (табл. 3.4.3.5), содержащая коэффициенты уравнения (3.4.3.1) для каждой серии опытов.

На рис. 3.4.3.5 – 3.4.3.7 показаны поверхности, полученные в результате математической обработки данных моделирования. Из представленных результатов видно, что максимальному заглублению во всех случаях соответствует минимальный расход эжектируемого воздуха. Во всех случаях, кроме серии №16, максимальное значение $Q_{эж}$ соответствует условиям заглубления в уровень с водосливной стенкой ($\Delta = 0$ мм) и максимальному расходу поступающей по подводящему трубопроводу жидкости.

Длина стояка также способствует увеличению расхода жидкости, что видно из сравнения результатов серий опытов №17 – №18.

Таблица 3.4.3.5 – Значения коэффициентов, входящих в уравнение (3.4.3.1)

№ серии опытов	A_A	B_A	C_A	A_B	B_B	C_B	A_C	B_C	C_C
1	-0,0000002428	0,0003612783	0,0297627673	-0,0001629239	0,1718444838	55,5920580123	0,0185304661	-26,1475233868	10949,3818474072
2	-0,0000053190	0,0022933016	0,4536582565	0,0002574823	0,0600123712	41,9956083699	0,0135072333	28,2995660036	11461,8083182640
3	0,0000135981	-0,0113399399	2,8224977755	-0,0017054275	1,2485162749	39,7980711272	0,0765705029	-70,5285722897	11522,7469215533
4	0,0000006919	-0,0005348317	0,1131697235	-0,0003961961	0,3380653578	18,6264358908	0,0312069448	-41,2444889348	18069,8286403168
5	0,0000002957	-0,0005603681	0,3296550313	-0,0003297505	0,3715191966	-20,2075664420	0,0346212134	-47,5136615183	19070,0443494622
6	-0,0000009069	0,0005963471	0,3602235739	-0,0004578714	0,1664147533	190,0120518019	0,0504240617	-42,8180468467	2546,9704276035
7	-0,0000009533	-0,0003726126	0,6192775338	0,0000297791	0,4432803754	-148,3324377853	0,0105628525	-81,2046332774	37419,3990570914
8	-0,0000003625	0,0002481491	-0,1118485988	0,0000771652	-0,0685501210	114,2159457313	0,0263872504	-55,5992819350	33220,8521101834
9	-0,0000008659	0,0009573926	-0,3809110480	0,0004729142	-0,6393211918	320,6985045496	-0,0421587756	47,7983854301	-8201,3042854269
10	-0,0000001480	-0,0005513199	0,3323123894	0,0001413354	0,2791898253	-53,7534442244	-0,0210035894	-93,3940935805	48133,9368762976
11	-0,0000018608	0,0014197064	-0,0679923362	0,0021458506	-1,7000782743	190,3053560664	-0,4908957634	320,4216137088	15762,4920347894
16	0,0000003003	-0,0002073621	0,0022378261	-0,0009359969	0,7373567467	-103,4613045724	0,6068412286	-572,0472670714	164263,0404503580
17	-0,0000000854	-0,0000282230	0,0413569921	0,0002788809	-0,1587805692	56,6298200293	0,0376016506	-139,9466196289	53620,7149315431
18	-0,0000010116	0,0008858028	-0,1125647981	0,0025585265	-2,3488994446	452,8681994316	-1,1001795536	877,4558980238	-90958,2235425800

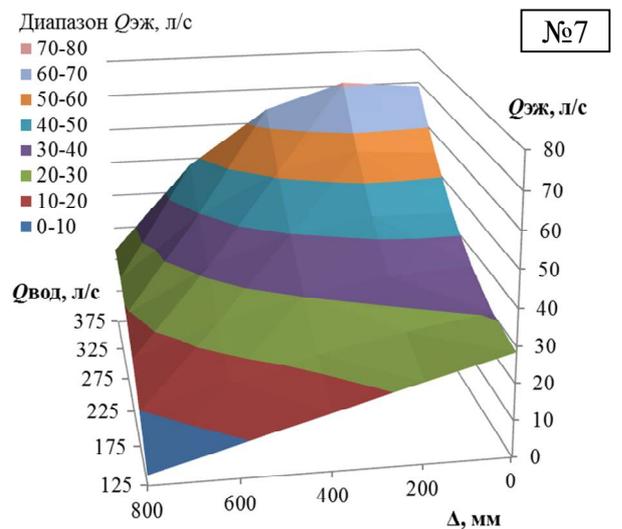
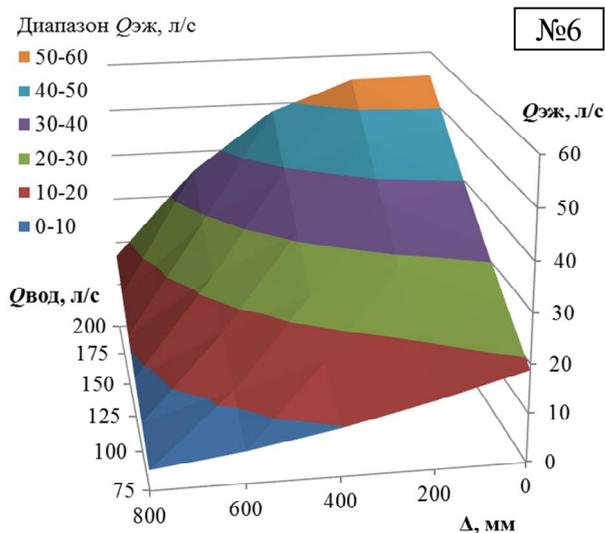
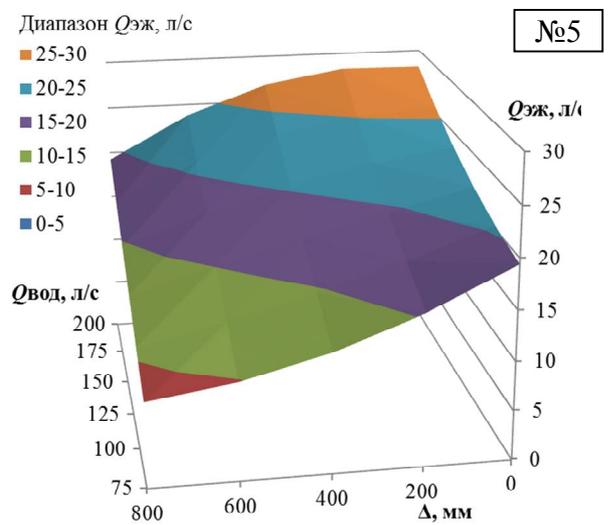
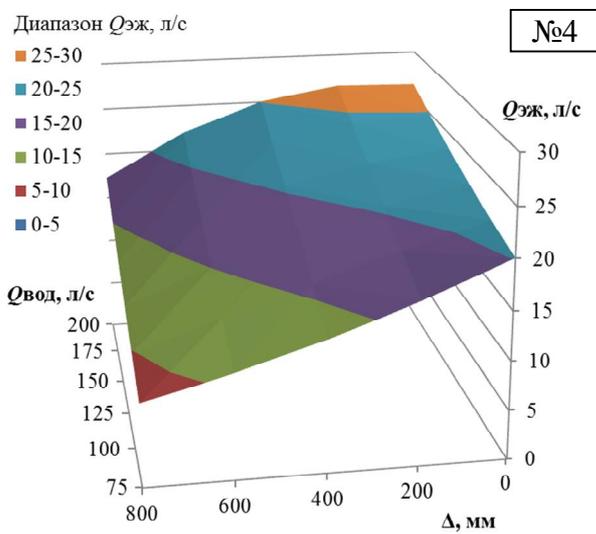
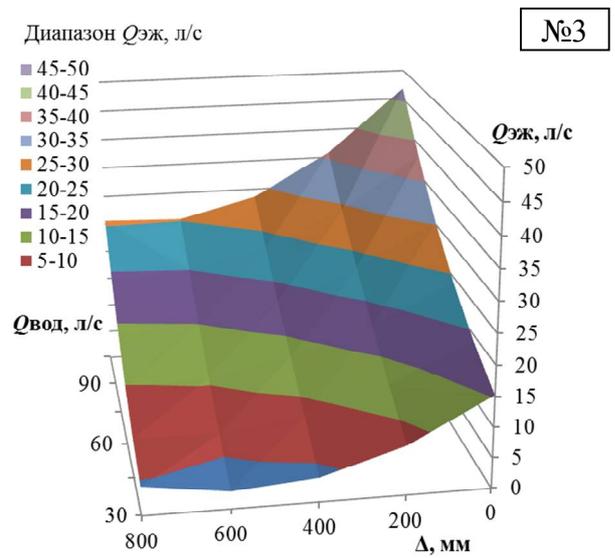
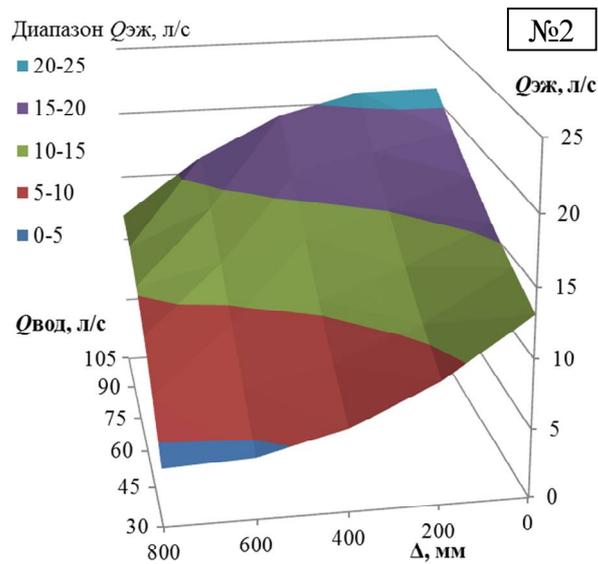


Рисунок 3.4.3.5 – Значения расхода эжектируемого воздуха $Q_{эж}$, при различных значениях расхода воды $Q_{вод}$ и заглубления Δ для серий опытов №2 - №7

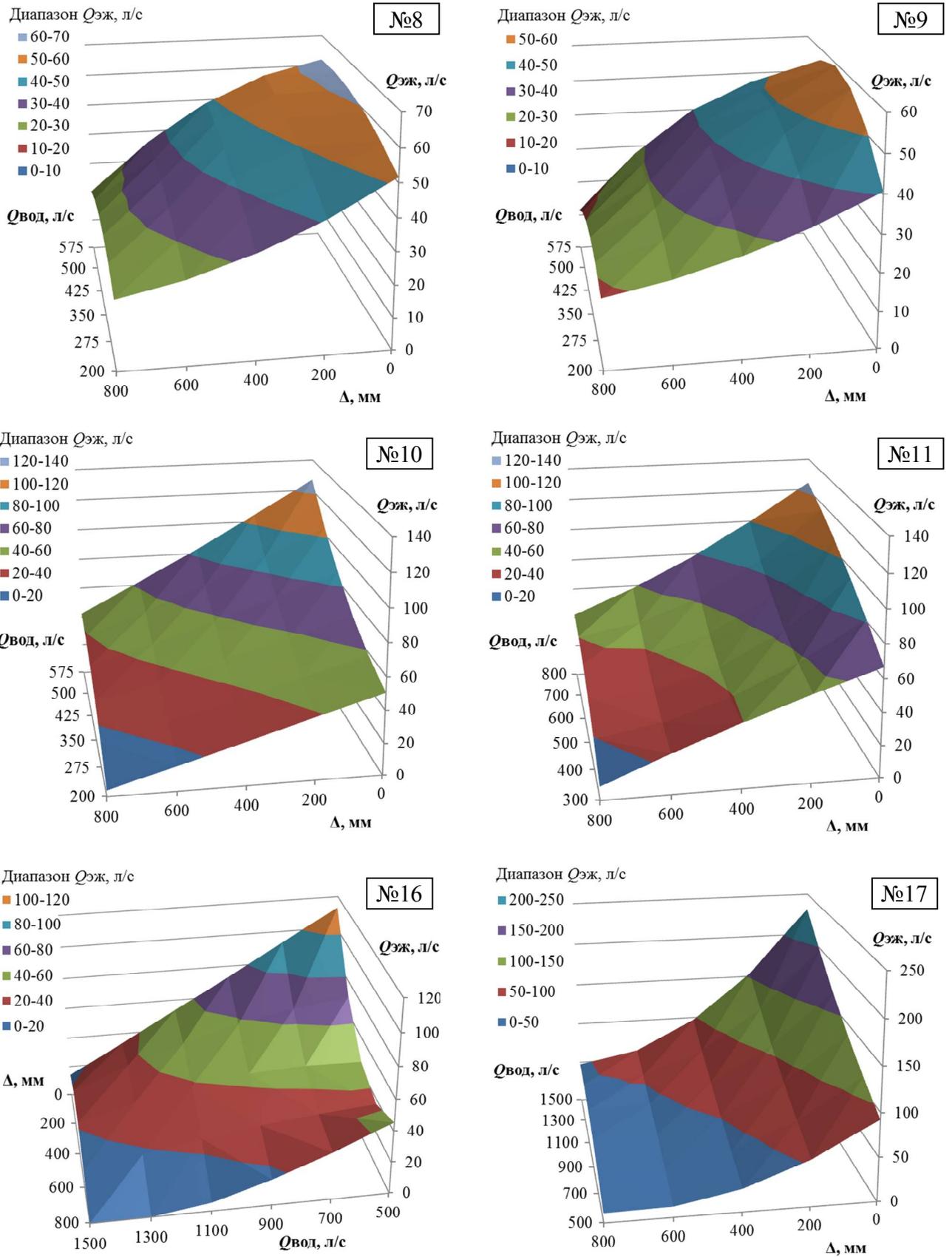


Рисунок 3.4.3.6 – Значения расхода эжектируемого воздуха $Q_{эж}$, при различных значениях расхода воды $Q_{вод}$ и заглубления Δ для серий опытов №8-11, 16-17

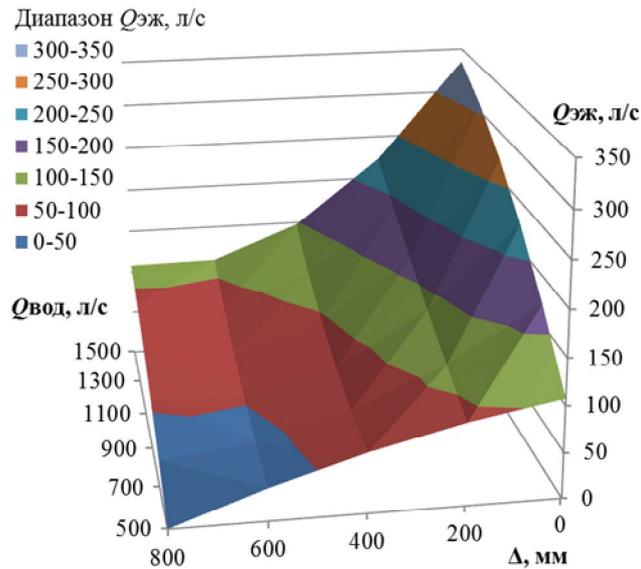


Рисунок 3.4.3.7 – Значения расхода эжектируемого воздуха $Q_{эж}$, при различных значениях расхода воды $Q_{вод}$ и заглубления Δ для серии опытов №18

По результатам серий опытов №1 – №3, №4 – №6, №8 – 10 может быть оценено влияние радиуса входа $R_{вх}$ на расход эжектируемого воздуха $Q_{эж}$. В данных сериях были промоделированы камеры гашения напора с диаметром подводящего трубопровода $d_0 = 200$ мм, 300 мм, 500 мм. Значения $R_{вх}$ были выбраны 0 (подсоединение горизонтального трубопровода к стояку под прямым углом), а также $R_{вх} = 0,5d_0$ и $R_{вх} = 0,75d_0$ в соответствии с ГОСТ [27, 28]. Диаметр трубопровода-эжектора $d_{эж}$ был назначен 75 мм. Зависимости $Q_{эж}$ от $Q_{вод}$ при конкретных значениях Δ для камер гашения напора с разными $R_{вх}$ приведены на рис. 3.4.3.8 – 3.4.3.10.

Во всех случаях видно, что расход эжектируемого воздуха для камер $R_{вх} = 0,5d_0$ и $R_{вх} = 0,75d_0$ имеет близкие значения при любом $Q_{вод}$ и Δ . При этом, при расходе воды, соответствующем скорости в подводящем трубопроводе 1 м/с (минимальном для всех рассмотренных случаях), вариант с $R_{вх} = 0d_0$ оказывается наименее выгодным. Однако при увеличении расхода поступающей жидкости, камера гашения напора с $R_{вх} = 0d_0$ работает значительно более эффективно.

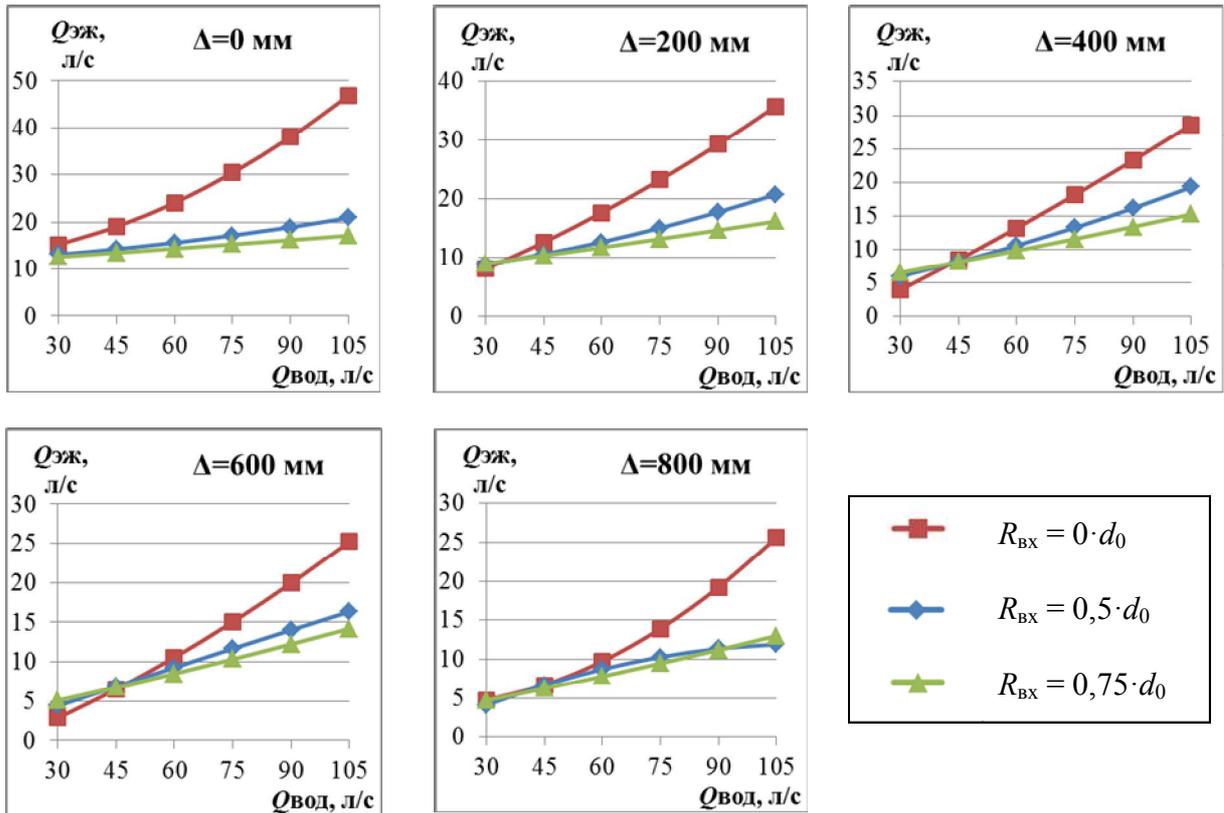


Рисунок 3.4.3.8 – Зависимости $Q_{\text{эж}}$ от $Q_{\text{вод}}$ при различных значениях Δ для КГН с $d_0 = 200$ мм (серии опытов №1 – №3)

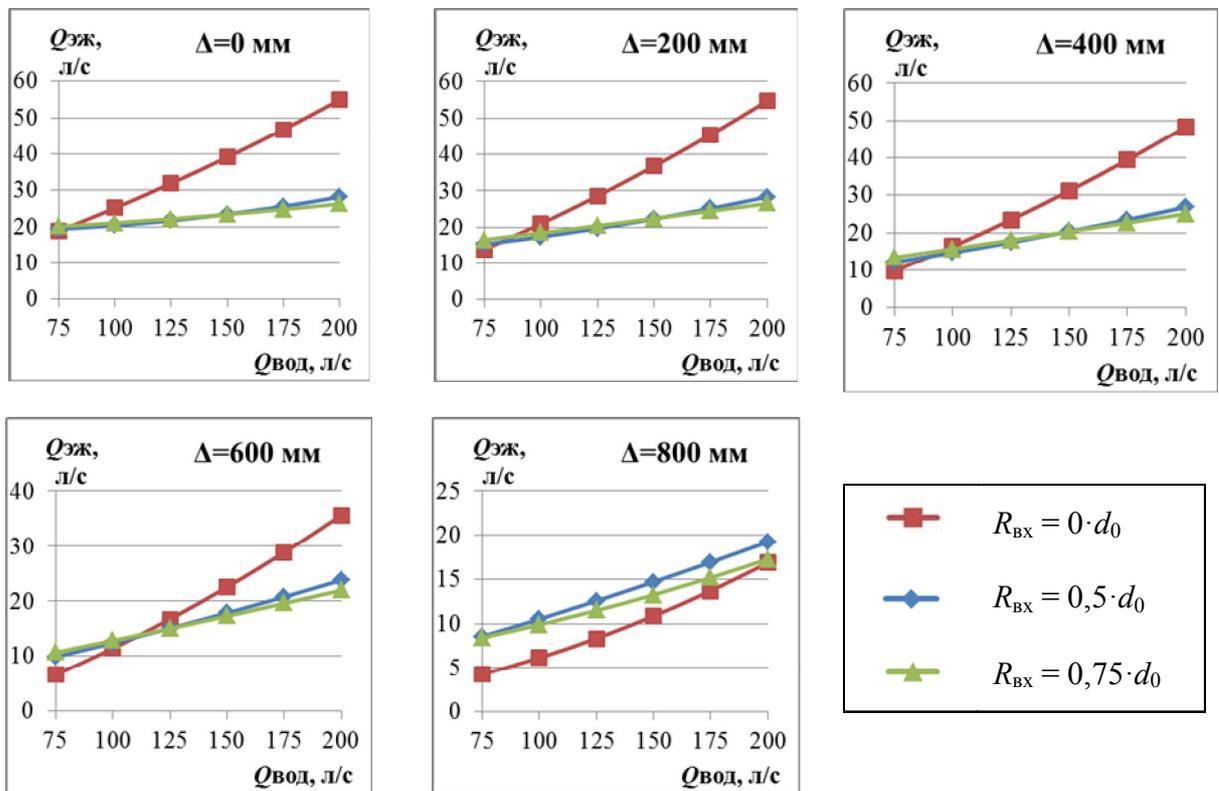


Рисунок 3.4.3.9 – Зависимости $Q_{\text{эж}}$ от $Q_{\text{вод}}$ при различных значениях Δ для КГН с $d_0 = 300$ мм (серии опытов №4 – №6)

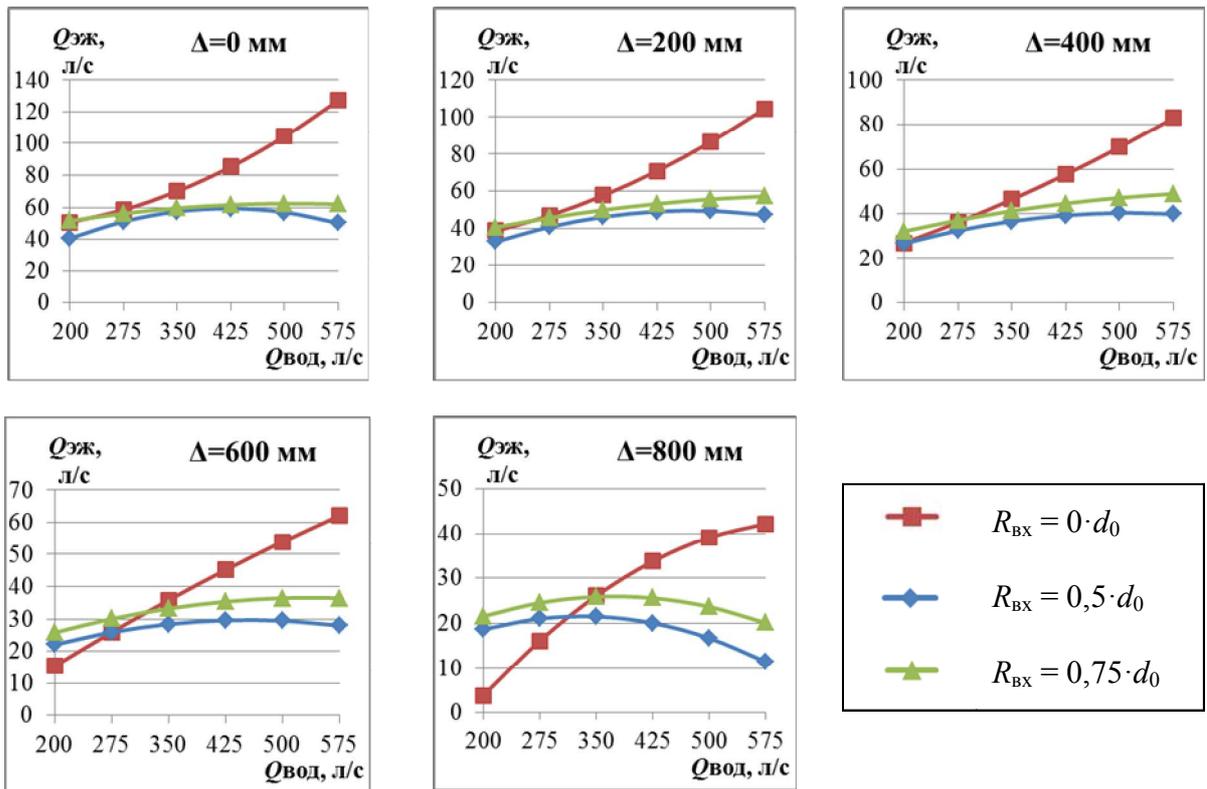


Рисунок 3.4.3.10 – Зависимости $Q_{\text{эж}}$ от $Q_{\text{вод}}$ при различных значениях Δ для КГН с $d_0 = 500$ мм (серии опытов №8 – №10)

Диаметр трубопровода-эжектора $d_{\text{эж}}$ определяет сопротивление этого трубопровода и, потому, напрямую влияет на расход эжектируемого воздуха. Серии опытов № 10 – 15 были направлены на выявление наибольшего возможного диаметра трубопровода эжектора относительно диаметра подводящего трубопровода (в данном случае – $d_0 = 600$ мм).

Сравнение вариантов было проведено при $\Delta = 0$ мм. Результаты моделирования представлены на рис. 3.4.3.11. Следует отметить, что при значениях $d_{\text{эж}} = 300$ мм, $d_{\text{эж}} = 600$ мм, в трубопровод-эжектор оказывался частично заполнен сточной жидкостью, что не является допустимым. Оптимальным представляется соотношение $d_{\text{эж}} = 1/3 \cdot d_0$.

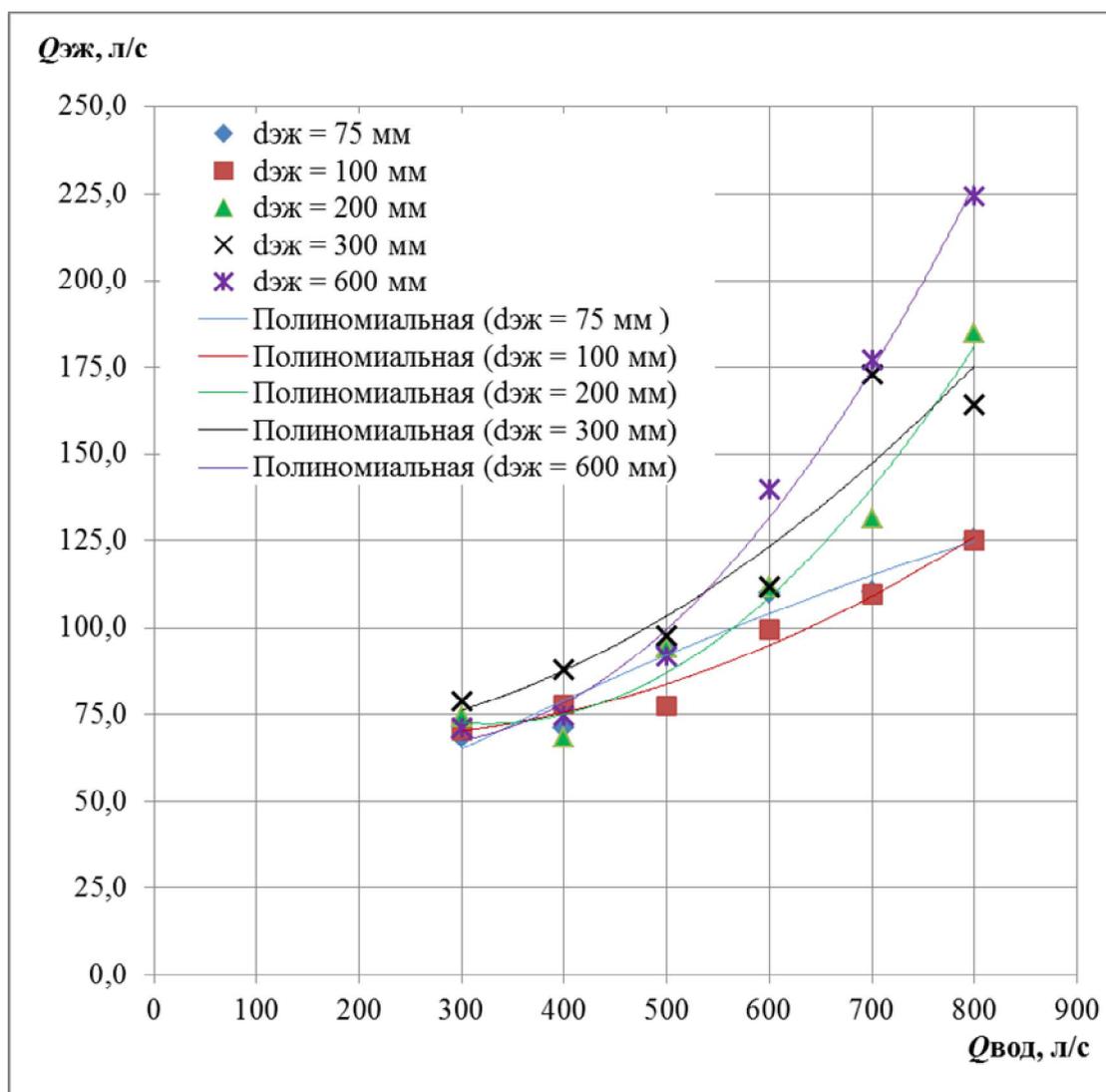


Рисунок 3.4.3.11 – зависимость $Q_{эж}$ от $Q_{вод}$ при различных значениях $d_{эж}$ для КГН с $d_0 = 600$ мм (серии опытов №10 – №15)

Высота резервуара-гасителя КГН, формируемая водосливной стенкой высотой T_s , определяется необходимой глубиной воды в нем T . В резервуаре-гасителе происходит гашение кинетической энергии падающего потока находящуюся в нем жидкостью. Необходимая высота резервуара-гасителя может быть принята из условия снижения скорости до следующих требуемых величин, в соответствии с допустимыми скоростями движения в канализационных коллекторах, приведенных в [83]:

- для камеры гашения напора из железобетона без футеровки: 2 м/с,
- для камеры гашения напора с футеровкой (стеклопластиком/полиэтиленом): 3 м/с.

На рис. 3.4.3.12 – 3.4.3.13 показаны векторы скоростей воды и снижение значения скорости при движении воды сверху вниз в КГН с диаметром подводящего трубопровода $d_0 = 200 - 600$ мм высотой $T_S = 2000$ мм, $d_0 = 800$ мм высотой 3000 мм.

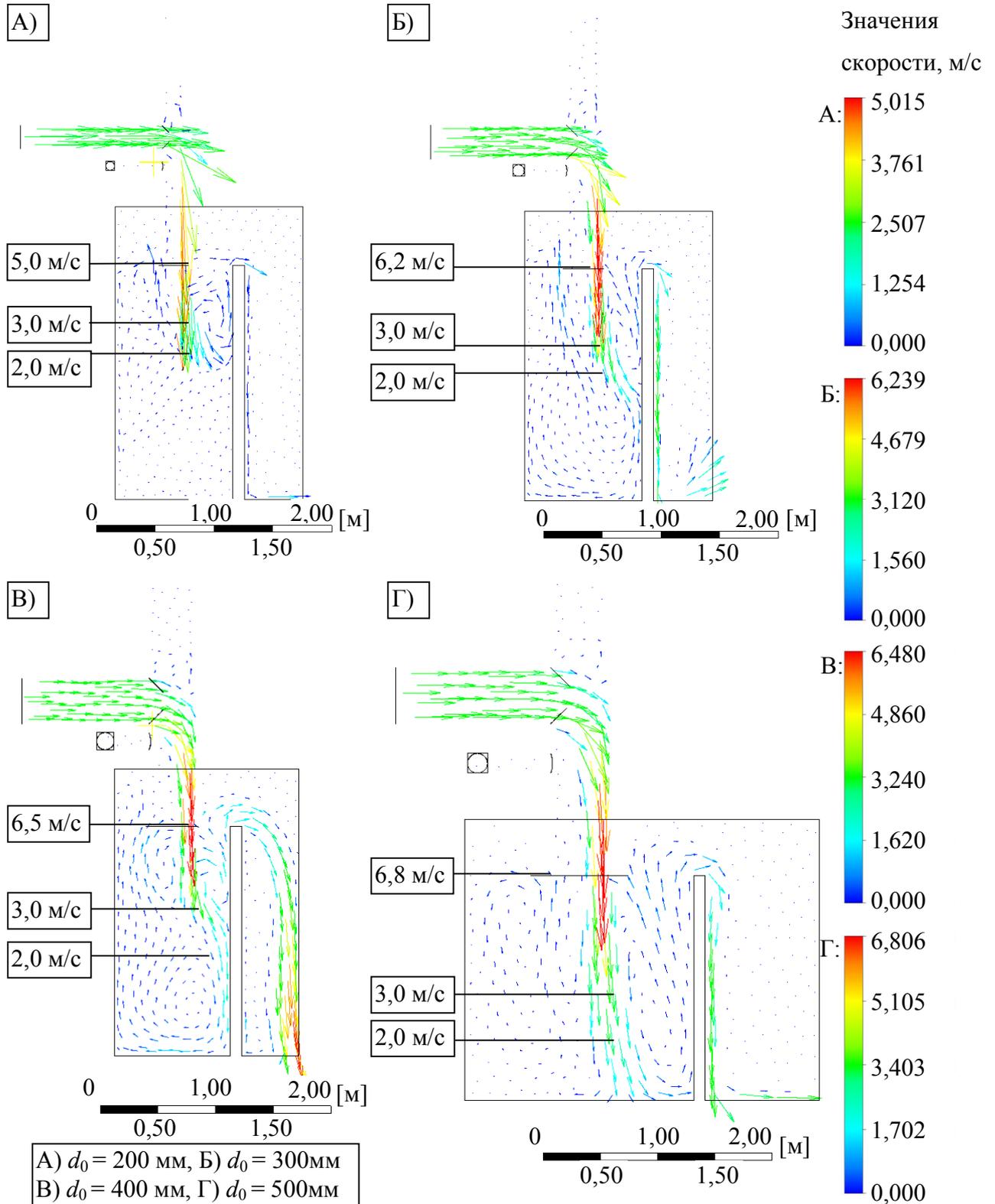


Рисунок 3.4.3.12 – вектора скорости жидкости в камерах гашения напора

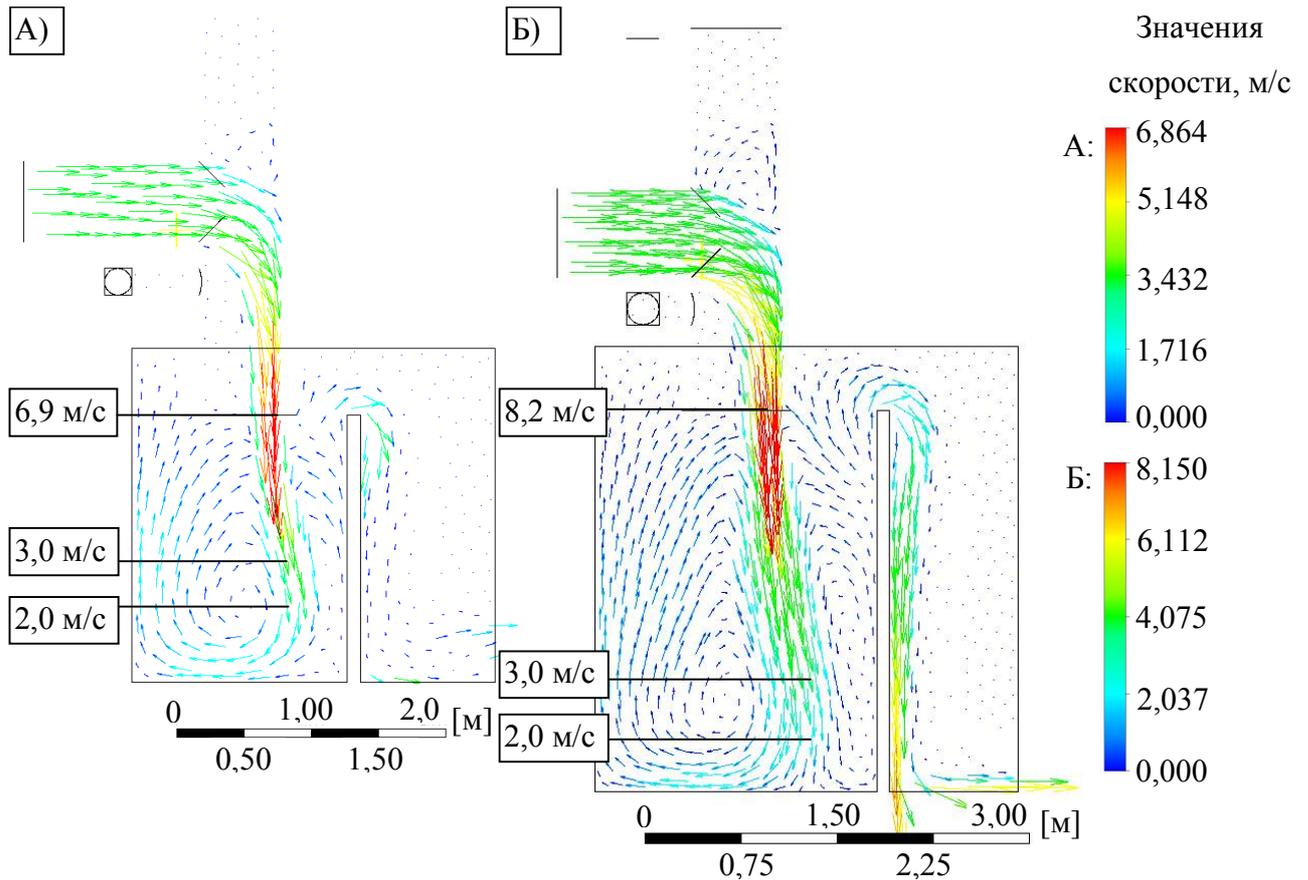


Рисунок 3.4.3.12 – вектора скорости жидкости в камерах гашения напора $d_0 = 600$ мм (А), $d_0 = 800$ мм (Б)

Газонасыщение – это процент объема жидкости, провзаимодействовавшей с эжектируемым воздухом в резервуаре-гасителе камеры гашения напора. Как было ранее показано в разделе 2.3.2, этот параметр значительно влияет на расчет концентрации кислорода в сточной жидкости после камеры гашения напора.

Для оценки газонасыщения были промоделированы камеры гашения напора с максимально возможным диаметром трубопровода-эжектора ($1/3 \cdot d_{\text{эж}}$) при диаметрах подводящего трубопровода $d_0 = 200 - 800$ мм.

Газонасыщение в долях ед., было определено на основе определения процента от площади сечения, проведенного по центру резервуара-гасителя, который имеет значение объемной доли воздуха $>0,05$, считая эту площадь участвующей в массообменном процессе. На рис. 3.4.3.13 показан пример подсчета газонасыщения для КГН с $d_0 = 300$ мм, $d_{\text{эж}} = 100$ мм, $L \times B = 1000 \times 1000$ мм, $T_S = 1000$ мм.

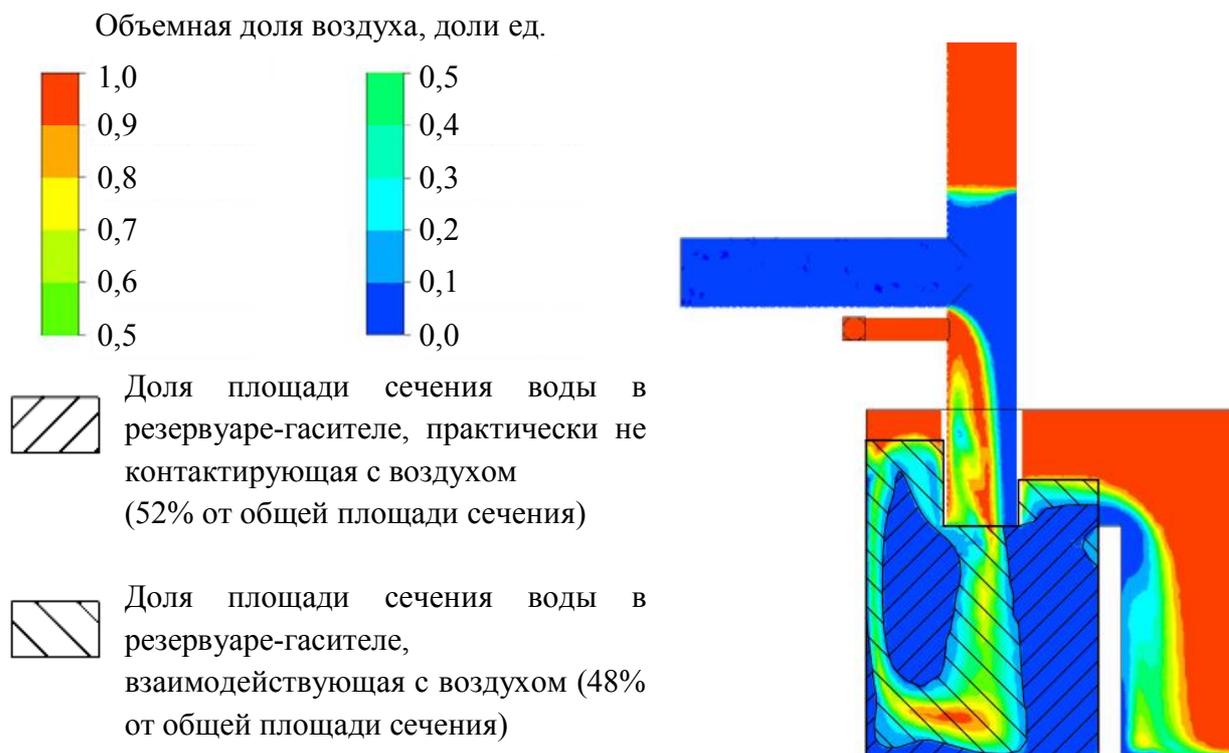


Рисунок 3.4.3.13 – определение газонасыщения для резервуара-гасителя камеры гашения напора

Таблица 3.4.3.6 – результаты определения значения газонасыщения для КГН с $d_0 = 200 - 800$ при разных значениях $Q_{\text{вод}}$

Диаметр подводящего трубопровода, мм	200	300	400	500	600	800
Диаметр трубопровода-эжектора, мм	75	100	150	175	200	250
Длина резервуара-гасителя L , мм	1000	1000	1000	1500	1600	2200
Ширина резервуара-гасителя B , мм	1000	1000	1000	1500	1600	2200
Высота водосливной стенки T_S , мм	800	1000	1300	1400	1500	2550
Максимальный расход воды, л/с	63	200	375	575	800	1500
Расход эжектируемого воздуха при максимальном расходе воды, л/с	24,0	60,3	81,7	170,7	184,7	236,8
Газонасыщение при максимальном расходе воды ε , доли ед.	0,39	0,48	0,29	0,57	0,63	0,33
Средний расход воды, л/с	45	140	250	400	565	1005
Расход эжектируемого воздуха при среднем расходе воды, л/с	18,5	37,4	43,5	75,9	99,8	163,8
Газонасыщение при среднем расходе воды ε , доли ед.	0,36	0,41	0,24	0,30	0,58	0,27
Минимальный расход воды, л/с	25	70	125	200	300	500
Расход эжектируемого воздуха при минимальном расходе воды, л/с	13,5	14,9	24,8	68,5	71,0	81,6
Газонасыщение при минимальном расходе воды ε , доли ед.	0,25	0,40	0,37	0,41	0,26	0,23

На основании данных, полученных в результате математического моделирования, были составлены рекомендации автора инженерам, проектирующим камеры гашения напора на водоотводящих сетях, и представлены в разделе 3.5.

3.5 Методика расчета геометрических параметров камеры гашения напора

Настоящая методика основывается на данных, полученных в результате физического и математического моделирования, а также требований основных нормативных документов в области водоснабжения и водоотведения и представляет собой рекомендации инженерам к проектированию и расчету камер гашения напора.

Конструктивно камера гашения напора состоит из резервуара-гасителя и лотка гасителя, разделенными водосливной стенкой и включает в свой состав подводящий напорный трубопровод и отводящий самотечный, а также трубопровод-эжектор.

Проектирование камер гашения напора автором рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1) Определение параметров подводящего трубопровода и трубопровода эжектора

Диаметр подводящего трубопровода назначается в зависимости от максимального расхода в соответствии с рекомендациями табл.24 [80]. При этом при наличии нескольких вариантов предпочтение стоит отдавать трубопроводу большего диаметра.

Диаметр трубопровода-эжектора назначается исходя из соотношения $d_{\text{эж}} = 1/3 \cdot d_0$. Для диаметров подводящего трубопровода $d_0 = 200 - 800$ мм, диаметр трубопровода-эжектора $d_{\text{эж}}$ может быть назначен по таблице 3.5.1.

Радиус входа $R_{\text{вх}}$ надлежит выбирать равным $0 \cdot d_0$, а заглубление стояка под уровень жидкости Δ принимать равным 0 мм, т.е. устанавливать его в уровень с водосливной стенкой.

Над входной воронкой рекомендуется выводить вертикальный трубопровод вверх на величину $\sim 3 \cdot d_0$ во избежание пульсационных явлений.

Таблица 3.5.1 – Диаметр трубопровода-эжектора в зависимости от диаметра подводящего трубопровода

Диаметр подводящего трубопровода, мм	Максимальный расход воды, л/с	Диаметр трубопровода-эжектора, мм	Расход эжектируемого воздуха при $\Delta = 0$ мм, л/с
200	63	75	24,0
300	200	100	60,3
400	375	150	81,7
500	575	175	170,7
600	800	200	184,7
800	1500	250	236,8

2) Определение размеров камеры гашения напора в плане

Резервуар-гаситель для обеспечения наилучших условий барботирования (что повышает газонасыщение сточной жидкости) должен приниматься минимально возможных размеров, обеспечивающих его надежное функционирование и удобство обслуживания. Минимальные размеры резервуара-гасителя в плане могут быть регламентированы требованиями основных нормативных документов [79 – 81] для наружных сетей водоснабжения и канализации, учитывающие диаметры подводящих и отводящих трубопроводов, расстояния между подводящими трубопроводами и расстояниями от трубопроводов до внутренних поверхностей строительных конструкций камеры гашения напора. При этом необходимо учитывать количество напорных трубопроводов (1, 2 и более, приходящих в КГН).

Таблицы 3.5.2 – 3.5.7 сопровождаются поясняющими схемами (рис. 3.5.1, 3.5.2) и содержат рекомендации по размерам камер гашения напора в плане в зависимости от принимаемой инженером формы – круглой или прямоугольной, а также от количества подводящих трубопроводов – 1 или 2.

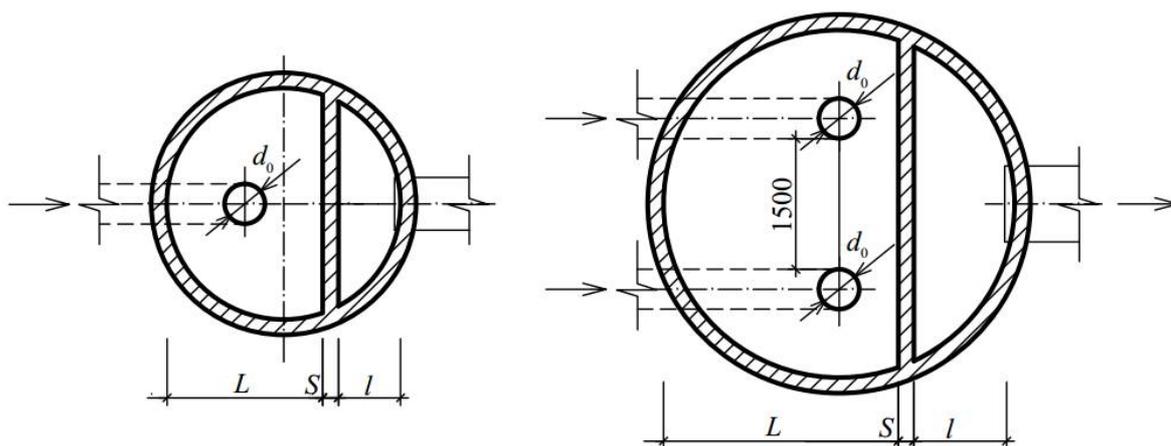


Рисунок 3.5.1 – Камеры гашения напора, круглые в плане

Таблица 3.5.2 – Рекомендуемые размеры КГН, круглых в плане, на один напорный трубопровод, стандартного размера

Диаметр подводящего трубопровода, мм	Максимальный расход, л/с	Диаметр круглого колодца, мм	Длина резервуара гасителя, L , мм	Длина лотка гасителя, l , мм
200	63	1500	1000	400*
		2000	1000	900
300	200	2000	1000	900
400	375	2000	1000	900
500	575	2500	1500	900
600	800	2500	1600	800
800	1500	3500	2200	1200

*Длину лотка-гасителя необходимо проверить на отлет струи. В случае невыполнения условия (3.5.1) принять колодец диаметром 2000 мм с длиной резервуара-гасителя 1000 мм.

Примечание: толщина водосливной стенки S принята конструктивно – 100 мм.

Колодцы диаметром 2500, 3500 мм выполняются в виде полиэтиленовых или стеклопластиковых емкостей.

Таблица 3.5.3 – Рекомендуемые размеры КГН, круглых в плане, на два напорных трубопровода

Диаметр подводящего трубопровода, мм	Максимальный расход, л/с	Диаметр круглого колодца, мм	Длина резервуара гасителя, L , мм	Длина лотка гасителя, l , мм
200	126	2500	1650	750
300	400	3000	1950	950
400	750	3000	2000	900
500	1150	3500	2500	900

Колодцы диаметром 2500, 3000, 3500 мм выполняются в виде полиэтиленовых или стеклопластиковых емкостей. Применение емкостей большего диаметра не рационально ввиду сложности транспортировки.

Для устройства прямоугольных камер гашения напора за основу могут быть взяты строительные конструкции типовых тепловых камер по типовой серии [78].

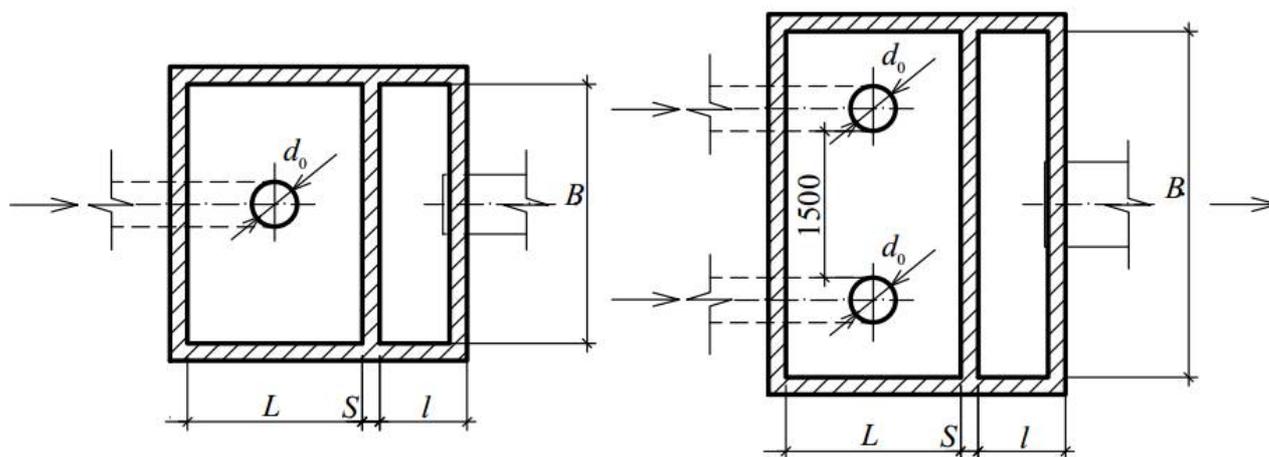


Рисунок 3.5.2 – Камеры гашения напора, прямоугольные в плане

Таблица 3.5.4 – Рекомендуемые размеры КГН, прямоугольных в плане, на один напорный трубопровод, проектируемых на основе типовых тепловых камер

Диаметр подводящего трубопровода, мм	Максимальный расход, л/с	Размеры типовой тепловой камеры (Длина x Ширина)	Длина резервуара-гасителя, мм	Ширина резервуара-гасителя, мм	Длина лотка-гасителя, мм
200	63	1800 x 1800	1000	1800	700
300	200	1800 x 1800	1000	1800	700
400	375	1800 x 1800	1000	1800	700
500	575	2600 x 2600	1500	2600	1000
600	800	2600 x 2600	1600	2600	900
800	1500	3000 x 3000	2200	3000	700*
		4000 x 2500	2200	2500	1300

*Длину лотка-гасителя необходимо проверить на отлет струи по условию 3.5.1.

Примечание: толщина водосливной стенки S принята конструктивно – 100 мм.

Таблица 3.5.5 – Рекомендуемые размеры КГН, прямоугольных в плане, на два напорных трубопровода, выполняемых из сборных железобетонных элементов

Диаметр подводящих трубопроводов, мм	Максимальный расход, л/с	Размеры типовой тепловой камеры (Длина x Ширина)	Длина резервуара-гасителя, L , мм	Ширина резервуара-гасителя, B , мм	Длина лотка-гасителя, l , мм
200	126	3000 x 3000	1000	3000	1900
		4000 x 2500	1000	4000	1400
300	400	3000 x 3000	1000	3000	1900
		4000 x 2500	1000	4000	1400
400	750	3000 x 3000	1000	3000	1900
		4000 x 2500	1000	4000	1400
500	1150	3000 x 3000	1500	3000	1400
		4000 x 2500	1500	4000	900
600	1600	3000 x 3000	1600	3000	1300
		4000 x 2500	1600	4000	800
800	3000	3000 x 3000	2200	3000	700*
		4000 x 4000	2200	4000	1700

*Длину лотка-гасителя необходимо проверить на отлет струи по условию 3.5.1.

В данном случае ширина и длина лотка-гасителя получается нерационально завышенной. Поэтому наиболее рациональным для большинства задач монтаж камеры из монолитного железобетона требуемых размеров. Ниже представлены таблицы для подбора резервуара-гасителя. Длину лотка-гасителя следует определять из формулы (3.5.2) и округлять до значения, кратного 100 мм.

Таблица 3.5.6 – Рекомендуемые размеры КГН, прямоугольных в плане, на один напорный трубопровод, выполняемых из монолитного железобетона

Диаметр подводящего трубопровода, мм	Максимальный расход, л/с	Длина резервуара-гасителя, L , мм	Ширина резервуара-гасителя, B , мм	Длина лотка-гасителя, l , мм
200	63	1000	1000	Расч.
300	200	1000	1000	Расч.
400	375	1000	1000	Расч.
500	575	1500	1500	Расч.
600	800	1600	1600	Расч.
800	1500	2200	2200	Расч.

Таблица 3.5.7 – Рекомендуемые размеры КГН, прямоугольных в плане, на два напорных трубопровода, выполняемых из монолитного железобетона

Диаметр подводящего трубопровода, мм	Макси-мальный расход, л/с	Длина резервуара-гасителя, L , м	Ширина резервуара-гасителя, B , мм	Длина лотка-гасителя, l , мм
200	126	1000	2500	Расч.
300	400	1000	2700	Расч.
400	750	1000	2900	Расч.
500	1150	1500	3500	Расч.
600	1600	1600	3700	Расч.
800	3000	2200	4500	Расч.

Для предотвращения поступления загрязненного воздуха камеры гашения в коллектор, перед входом в коллектор устраивается заградительная резиновая перегородка. В связи с этим лоток-гаситель должен быть выполнен достаточной длины, соответствующей условию непопадания траектории струи, стекающей с водосливной грани в отводящий трубопровод.

$$l > l_{от} \quad (3.5.1)$$

где l – Длина лотка-гасителя, м,

$l_{от}$ – дальность отлета струи.

Дальность отлета струи [90], м, определяется по формуле:

$$l_{от} = \frac{4}{3} \sqrt{H_г \cdot \left(T_S + \frac{H_г}{3} \right)} \quad (3.5.2)$$

где T_S – высота водосливной стенки, м;

$H_г$ – напор на водосливе, может быть найден из формулы [96]:

$$H_г = \left(\frac{Q_г}{\sigma_{п} \cdot \varepsilon' \cdot m_0 \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (3.5.3)$$

где $Q_г$ – расход через водослив, м³/с;

$\sigma_{п}$ – коэффициент подтопления; для неподтопленного водослива $\sigma_{п} = 1$;

ε' – коэффициент бокового сжатия. Согласно [96], может быть принят равным 1,0 для прямоугольных КГН, и 0,85 для круглых в плане КГН.

m_0 – коэффициент расхода водослива; необходимо учесть, что в зависимости от значений напора на водосливе, водослив может работать и как водослив с широким порогом, и как водослив практического профиля, и для этих случаев коэффициент m_0 имеет различные значения;

b – ширина водосливного отверстия, м;

Скоростным напором на водосливе вследствие особенностей движения воды в пределах резервуара-гасителя КГН можно пренебречь.

3) Определение вертикальных размеров камеры гашения напора

Высота резервуара-гасителя определяется высотой водосливной стенки T_S . Ниже в табл. 3.5.8 представлено ее рекомендуемое значение в зависимости от наличия / отсутствия футеровки строительных конструкций КГН.

Таблица 3.5.8 – Рекомендуемое значение T_S для КГН с $d_0 = 200-800$ мм.

Диаметр подводящего трубопровода, мм	200	300	400	500	600	800
Максимальный расход воды, л/с	63	200	375	575	800	1500
Высота водосливной стенки T_S , мм, для КГН, защищенной футеровкой	500	700	1000	1100	1200	2100
Высота водосливной стенки T_S , мм, для КГН, имеющей открытую бетонную поверхность	800	1000	1300	1400	1500	2550

4) Определение расчетных характеристик КГН

Расход эжектируемого воздуха может быть укрупненно принят равным 20% от расхода воды.

Более точно он может быть определен по зависимости 3.4.3.1 с подстановкой коэффициентов из таблицы 3.4.3.5.

Значение газонасыщения укрупненно может быть принято в пределах 0,23-0,48, в соответствии с расчетами, представленными в таблице 3.4.3.6.

Выводы по главе 3

1. Проведен литературный обзор и составлена общая классификация приемно-разгрузочных камер.
2. Предложены и запатентованы новые конструкции приемно-разгрузочных камер
3. Разработаны эффективные конструкции камер гашения напора, позволяющие осуществлять насыщение сточной жидкости кислородом воздуха, тем самым позволяя нейтрализовать процесс микробиологической коррозии
4. Проведено физическое моделирование камеры гашения напора и экспериментально подтверждена возможность аэрирования жидкости воздухом за счет организации его естественной эжекции на подводящем трубопроводе камеры гашения напора, а также выявлены основные закономерности этого процесса.
5. Осуществлено математическое моделирование камеры гашения напора в программном комплексе ANSYS 14.5 и получены зависимости расхода эжектируемого воздуха от расхода воды при различных значениях заглубления стояка, радиуса входной воронки подводящего трубопровода, высоты стояка и диаметра трубопровода-эжектора. Также определены значения газонасыщения и показана эффективность гашения кинетической энергии жидкости в пределах резервуара-гасителя камеры гашения напора.
6. По итогам физического и математического моделирования составлена методика расчета для проектирования камер гашения напора для инженера, позволяющая определить геометрические размеры и расчетные параметры работы сооружения.

ГЛАВА 4 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ВЫБОРЕ МЕТОДА ЗАЩИТЫ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ

4.1 Комплекс «Камера гашения напора – газоочистная установка»

Использование камер гашения напора модернизированных конструкций, снабженных устройством для эжектирования воздуха и насыщения сточных вод кислородом, будет эффективным для защиты сооружений только в сочетании с отводом грязного воздуха и недопущением его в коллектор после КГН.

Выброс в атмосферу загрязненного воздуха невозможен [23], поэтому необходимо предусматривать его очистку при помощи специальной газоочистной установки (см. рис. 4.1.1). В данном случае на рис. 4.1.1. показано инженерное решение с использованием в качестве газоочистной установки плазма-каталитического реактора.

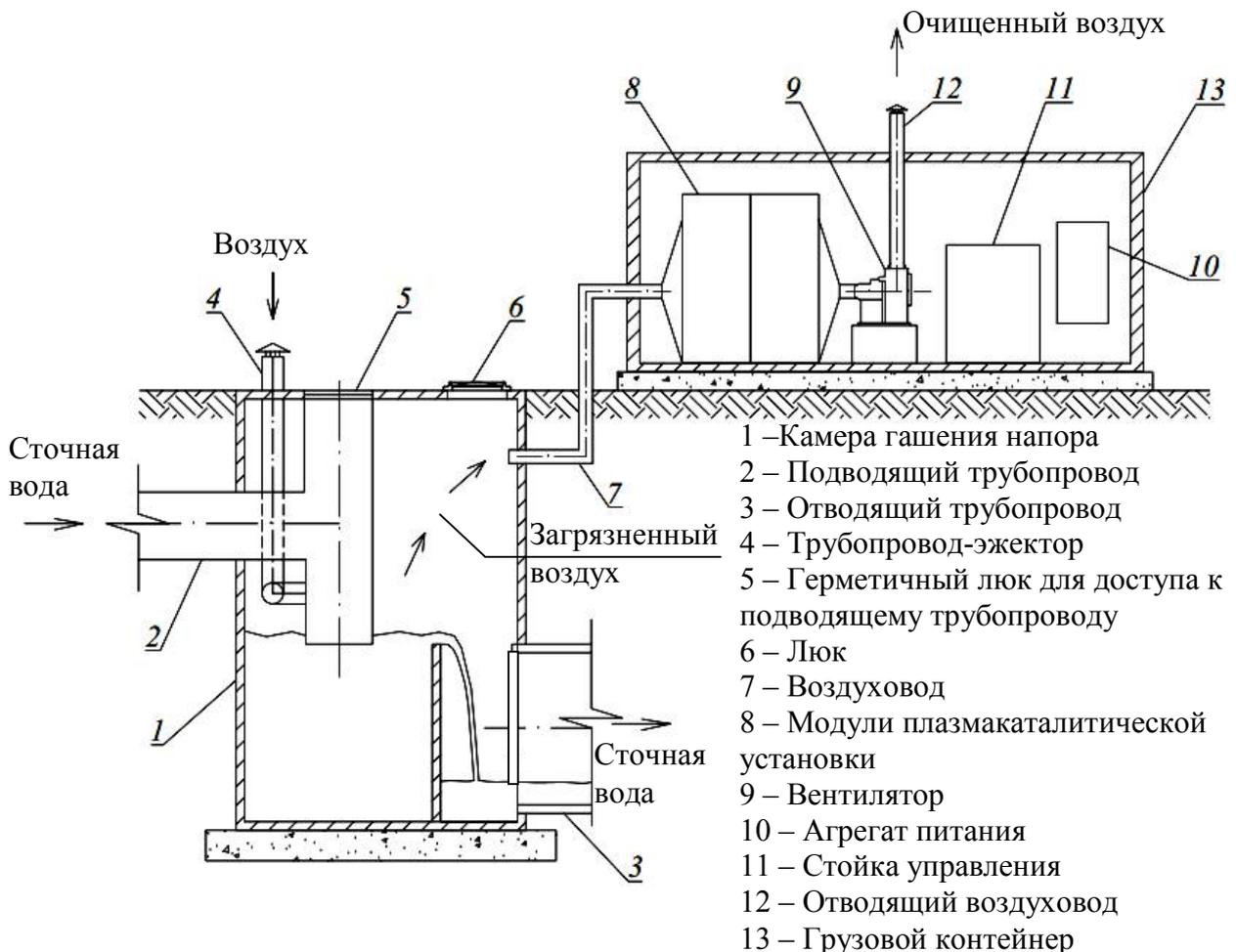


Рисунок 4.1.1 – Комплекс «камера гашения напора – газоочистная установка»

Очистка воздуха на подобных установках должна выполняться до предельно допустимых концентраций в воздухе населенных мест по [23].

На основе анализа электронных источников – сайтов компаний-производителей [22, 65, 89] и запросов у них технической документации, была составлена сводная таблица применяемых видов газоочистных установок и устройств на системах канализации (4.1.1).

Таблица 4.1.1 – Применяемые на системах канализации газоочистные установки

п/п	Газоочистная установка	Фирма-производитель	Производительность, м ³ /ч	Потребная мощность установки, кВт	Аэродинамическое сопротивление, Па	Расходные материалы
1	2	3	4	5	6	7
1	Плазкат-АЭРО	ООО «Электроэкология»	От 1000 (один модуль)	4	До 1200	-
2	Картридж деодорирующий	ГК «Грин Плэнет»	500	Не требует электроэнергии	1500	Требуется замена сорбента каждые 6-12 месяцев
3	Биофильтр ОПВС кассетного типа	ООО «Воздухоочистка»	10 – 1000	Не требует электроэнергии	2000	Замена биомассы через 1-3 года
4	Биофильтр ОПВС модульного типа	ООО «Воздухоочистка»	до 10000	Не требует электроэнергии	2000	Замена биомассы через 1-3 года
5	Сорбционно-плазмо-каталитический очиститель воздуха «СТОПКР»	ООО «Воздухоочистка»	до 50000	1 - 3 Вт·час/м ³	1500	-

1	2	3	4	5	6	7
6	Фильтр ЦУФ-2000-400-И	ООО «СНиП»	2000	Не требует электро- энергии	Нет данных	Замена сорбента раз в 1 год, кап. ремонт раз в 5 лет.

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» испытывает газоочистные установки на своих сооружениях. Предприятием были испытаны плазмо-каталитическая установка «СТОПКР», биофильтр ОПВС, а также фильтр ЦУФ-2000-400-И, которые доказали свою эффективность. Отмечается отсутствие неприятных запахов в местах установки указанного оборудования [77].

Следует отметить, что все представленные установки обладают большим значением аэродинамического сопротивления, и, вследствие этого, требуют устройства системы принудительной вентиляции для корректной работы. Кроме того, фильтры требуют замены загрузки, в то время как для работы установок по плазма-каталитической технологии необходима электрическая энергия. Сравнение затрат на применение указанных технологий в долгосрочной перспективе против единовременных крупных вложений легло в основу экономического расчета, представленного в разделе 4.2.

4.2 Сравнение способов защиты канализационного коллектора от коррозии

Различных технических задач может быть множество, и в конкретном случае самой эффективной или единственно возможной может оказаться любая технология. В данном разделе рассматривается упрощенная задача по защите коллектора определенной длины и диаметра (см. рис. 4.2.1), и на основании экономического расчета сравниваются между собой следующие способы защиты сооружения от коррозии:

- 1) Использование комплекса «камера гашения напора – газоочистная установка»;
- 2) Защита коллектора методом «Труба в трубе» с использованием труб фирмы «Hobas»;
- 3) Покрытие стенок тоннеля материалом Конусит КК-10.

Оценка производится по затратам (капитальным и эксплуатационным) для трубопроводов разного диаметра и длины на различные периоды времени (до 100 лет).



Рисунок 4.2.1 – К постановке задачи

Решаемая задача может быть сформулирована следующим образом. Имеется железобетонная камера гашения напора и железобетонный отводящий коллектор. Рассматривается 4 варианта расхода, на который рассчитывается данная система. Диаметр коллектора определяется величиной расчетного расхода и приведен в табл. 4.2.1.

Таблица 4.2.1 Рассматриваемые варианты

№ варианта	Расчетный расход, л/с	Диаметр коллектора, мм
Вариант 1	750	800
Вариант 2	1150	1000
Вариант 3	1600	1300
Вариант 4	3000	2000

Задача: оценить стоимость защиты вышеуказанного коллектора от коррозии по трем различным способам за разные периоды времени (10 – 100 лет) при различной его протяженности.

1) Первый способ. Использование комплекса «камера гашения напора – газоочистная установка»

Для первого варианта оцениваются капитальные затраты: устройство камеры гашения напора из монолитного железобетона с футеровкой, установка грузового контейнера и размещение в нем установки для очистки воздуха, а также эксплуатационные, связанные с работой газоочистной установки и вентилятора. В качестве газоочистной станции была выбрана установка «Плазкат-АЭРО» фирмы ООО «Электроэкология».

Капитальные затраты

Капитальные затраты для данного варианта оценивались с учетом стоимости оборудования, которое должно быть установлено для очистки воздуха, выделяющегося в камере гашения напора (см. табл. 4.2.2). Расходы эжектируемого воздуха для каждого варианта определены по результатам моделирования. Стоимость сооружения камеры гашения напора как сооружения в расчет не принималась, т.к. по условию поставленной задачи эти затраты будут иметь место во всех сравниваемых вариантах.

Таблица 4.2.2 – Капитальные затраты на устройство комплекса «КГН – газоочистная установка»

Вариант	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Параметр				
Расход сточной жидкости, л/с	750	1150	1600	3000
Расход эжектируемого / отправляемого на очистку воздуха, л/с (м ³ /ч)	163,4 (588,4)	341,4 (1229,0)	369,4 (1329,8)	473,6 (1705,0)
Диаметр двух напорных трубопроводов, мм	400	500	600	800
Диаметр отводящего коллектора, мм	800	1000	1300	2000
Длина КГН, мм	2000	2500	2600	3200
Ширина КГН, мм	2900	3500	3700	4500

Высота КГН, считая от поверхности земли, мм	4000	4100	4200	5100
Площадь поверхности КГН, которая должна быть защищена, м ²	56,6	74,4	81,0	126,2
Дополнительное оборудование				
Количество модулей газоочистной установки (производительность модуля – 1000 м ³ /ч)	1	2	2	2
<i>Стоимость газоочистной установки по коммерческому предложению, руб</i>	1122720,50	1534000,00	1534000,00	1534000,00
Мощность газоочистной установки, кВт	3	5	5	5
Модель вентилятора	ВЦ-5-35 №3,55	ВЦ-5-35 №3,55	ВЦ-5-35 №3,55	ВЦ-5-35 №3,55
Мощность вентилятора, кВт	0,7	1,1	1,1	1,1
<i>Стоимость вентилятора по Прайс-листу Завода «Вентилятор» от 03.06.2015 [58], руб</i>	34325,00	35646,00	35646,00	35646,00
Грузовой контейнер для размещения оборудования	Стандартный (ISO-контейнер) 20 фут. Тип VH			
<i>Стоимость грузового контейнера [45], руб</i>	160000,00	160000,00	160000,00	160000,00
Суммарный расход электроэнергии (за один час) на работу установки и вентилятора, Э _i , кВт·ч	3,7	6,1	6,1	6,1
<i>Итоговая стоимость дополнительного оборудования, руб</i>	1317045,50	1729646,00	1729646,00	1729646,00

Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты включают в себя стоимость электроэнергии, затрачиваемой на работу газоочистной станции, амортизационные отчисления, текущий ремонт и неучтенные расходы.

А) Стоимость электроэнергии, руб. за перекачку жидкости в штатном режиме по каждому из вариантов, была найдена по формуле:

$$C_{Эi} = Э_i \cdot a, \text{ руб.}, \quad (4.2.1)$$

где $Э_i$ – расход электроэнергии, кВт·ч, для каждого из вариантов

где a – стоимость 1 кВт·ч, принимаемая для Санкт-Петербурга равной 3,84 руб [57].

Б) Амортизационные отчисления

В соответствии с технической документацией ООО «Электроэкология», срок службы газоочистной установки составляет 10 лет. В связи с этим амортизационные отчисления принимаются равными 10% от стоимости газоочистной установки и вентилятора и составляют

- для варианта 1: 115704,55 руб.

- для вариантов 2, 3, 4: 156964,60 руб.

В) Зарплата обслуживающего персонала

Обслуживание камеры гашения напора и газоочистной установки выполняется бригадой рабочих, которая может быть принята составом 8 человек, включающая в свой состав 7 рабочих 5-го разряда и 1 инженера. Заработная плата рабочих в соответствии с расценками, представленными в [91], была вычислена исходя из нормы 226,59 руб/ч, инженера – 60000 руб/мес.

Зарплата бригады за 1 год	Зарплата за 1 год с учетом отчислений в размере 30%	Зарплата с учетом коэффициента, учитывающего количество обслуживаемых сооружений (0,05)
$(226,59 \cdot 8 \cdot 365 + 60000 \cdot 12) =$ 1381642,80 руб	1796135,00 руб.	89806,75 руб

Поскольку в ведении подобной бригады может находиться в среднем порядка 20 сооружений.

Г) Текущий ремонт

Отчисления на текущий ремонт оборудования приняты в соответствии с рекомендациями [106, 107] для оборудования составляют 3,8% от его стоимости.

- для варианта 1: 43968,00 руб.

- для вариантов 2, 3, 4: 59647,00 руб.

Суммарно эксплуатационные затраты в год составляют:

- для варианта 1: 373941,40 руб/год

- для варианта 2, 3, 4: 511612,60 руб/год

2) Второй способ. Защита коллектора методом «Труба в трубе» с использованием труб фирмы «Нобас».

Футеровка коллектора стеклопластиковыми трубами по методу «Труба в трубе» позволяет решить проблему коррозии на рекордно долгий срок (заявляемый срок службы труб фирмы «Нобас» составляет 100 лет), однако это связано с очень большими капитальными затратами. Стоимость устройства трубопровода по четырем вариантам диаметра (800, 1000, 1300 и 2000 мм) в зависимости от его протяженности вместе с работами расценена следующим образом: стоимость погонного метра труб в евро (см. Приложение Г), умноженная на протяженность и на коэффициент 1,5 (рекомендация производителя при определении укрупненных затрат на релайнинг). Курс евро принят по состоянию на 04.09.2015 (74,95 руб за 1 евро).

3) Третий способ. Покрытие стенок тоннеля материалом Конусит КК-10

Одним из возможных эффективных способов защиты коллектора является нанесение защитного полимерсиликатного состава Конусит КК-10 производства

фирмы MC Vauchemie. Стоимость обработки коллектора рассчитана исходя из стоимости обработки 1 м² поверхности.

Стоимость обработки 1 м² поверхности определена по объекту-аналогу «Продолжение Главного коллектора канализации северной части СПб» [67] в соответствии с локальному сметным расчетом ЛСР №85.0434-2428-КЖЗ.ЛСМ-2 «А». Расчет представлен в табл. 4.2.3.

Таблица 4.2.3 – Определение стоимости обработки 1 м² поверхности коллектора защитным составом Конусит КК-10

Стоимость в базисном уровне цен 2001 года на 1 м ² покрытия:	11 742 164 руб. / 10 207,3 м ² = 1 150,37 руб.
Стоимость в текущем уровне цен III кв. 2015г. [64]:	1 150,37 x 6,15 x 1,03 = 7 287,02 руб.
С учетом обслуживающих процессов (освещение, вентиляция, дежурные слесари и т.д.):	7 287,02 руб. + 2 914,81 руб. (40% от стоимости СМР) = 10 201,83 руб.
С учетом лимитированных затрат на устройство временных зданий и сооружений, зимнего удорожания, а также НДС 18%:	10 201,83 x 1,051 x 1,031 x 1,18 = 13 044,32 руб.

На рис. 4.2.2 представлено сравнение трех способов защиты коллектора длиной 250 метров диаметром 800 – 2000 мм на протяжении периода времени 100 лет. Линии, соответствующие применению способа 1 (комплекс «КГН – газоочистная установка) имеют возрастающий характер за счет эксплуатационных затрат. Эксплуатационных затрат для двух других способов при условии высокого уровня проведения строительных работ не должны быть, и поэтому графически способы 1 и 2 представляются в виде горизонтальных прямых линий, отражающих конечную стоимость защиты коллектора конкретной длины и диаметра.

Из графика видно, что на начальном этапе для всех вариантов диаметров коллектора наиболее выгодным оказывается использование комплекса «КГН – газоочистная установка», однако с течением времени выгоднее становятся другие

способы защиты. В табл. 4.2.4 представлена продолжительность времени, которая требуется для способов 2 и 3, чтобы стать выгоднее способа 1.

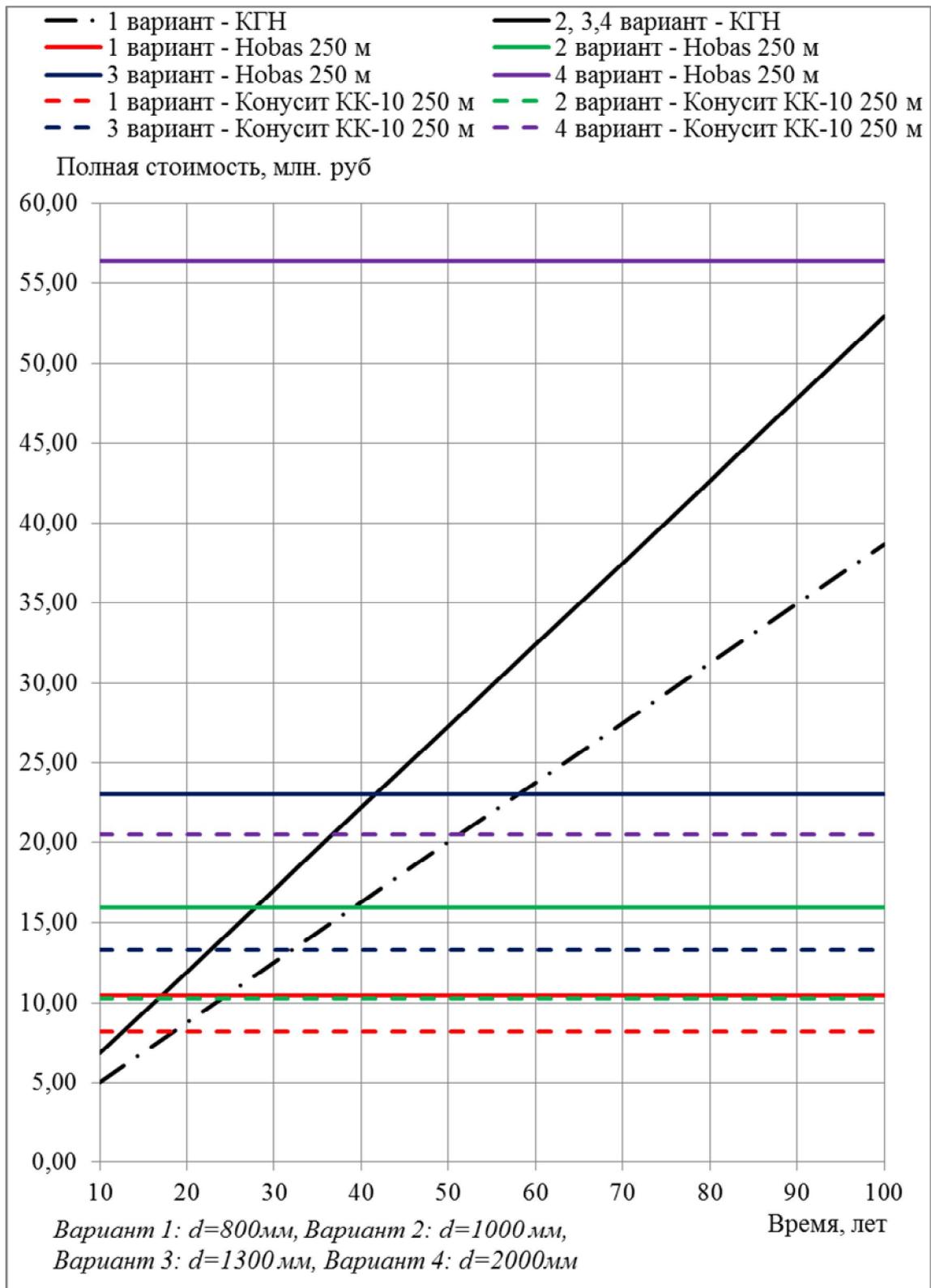


Рисунок 4.2.2 – Сравнение стоимости способов защиты канализационного коллектора протяженностью 250 м за различные периоды времени

Таблица 4.2.4 – Время, требующееся, чтобы способ оказался выгоднее комплекса «КГН – газоочистная установка» для коллектора длиной 250 м

Способ защиты Вариант диаметра	Футеровка коллектора трубопроводами «Hobas»	Покрытие стенок тоннеля материалом «Конусит КК-10»
Вариант 1 ($d = 800$ мм)	25 лет	18 лет
Вариант 2 ($d = 1000$ мм)	28 лет	7 лет
Вариант 3 ($d = 1300$ мм)	42 года	23 года
Вариант 4 ($d = 2000$ мм)	-	37 лет

Из представленных данных следует, что для коллекторов небольшой протяженности способ 1 («КГН – газоочистная установка») может быть использован как временное решение, позволяющее решить проблему коррозии до момента, когда у эксплуатирующей организации появятся средства на устройство защиты по способам 1 или 2. При этом во всех случаях защита трубопровода по способу 2 (футеровка стеклопластиковыми трубами «Hobas») оказывается более затратной, чем покрытие стенок тоннеля материалом «Конусит КК-10» (способ 3). В тоже время именно способ 2 выступает наиболее надежным из всех рассматриваемых.

На рис. 4.2.3 представлено сравнение способов защиты коллектора различной протяженности (от 250 до 2000 м) за 100 лет. Из графика видно, что при определенных значениях протяженности коллектора способ 1 оказывается наиболее выгодным, несмотря на все возможные эксплуатационные расходы. В табл. 4.2.5 представлено значение протяженности коллектора, при котором способ 1 оказывается экономически эффективнее способов 2 и 3.

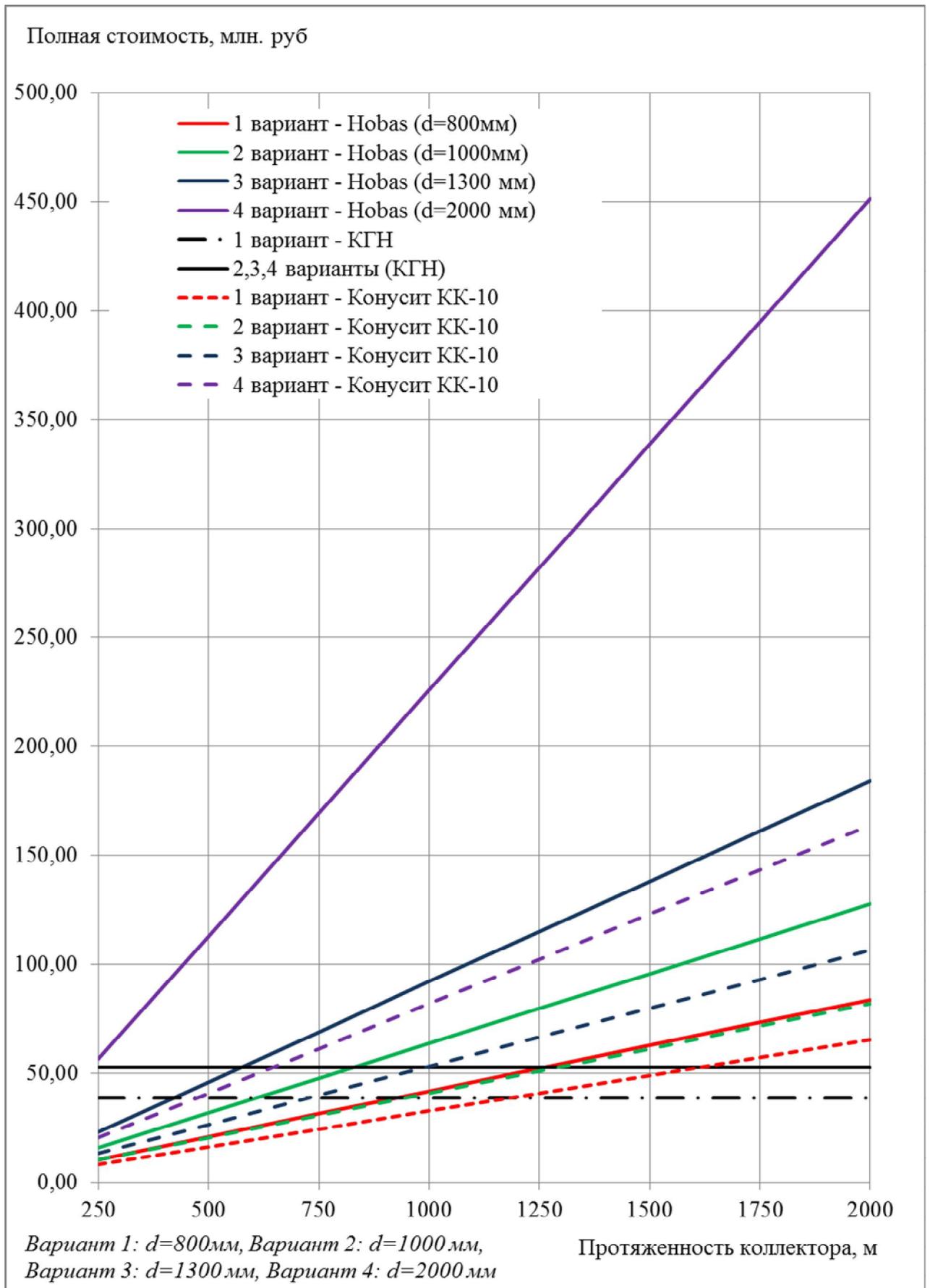


Рисунок 4.2.3 – Сравнение способов защиты канализационного коллектора различной протяженности за 100 лет

Таблица 4.2.5 – Протяженность коллектора, при которой способ оказывается менее выгодным, чем использование способа «КГН – газоочистная установка»

Способ защиты Вариант диаметра	Футеровка коллектора трубопроводами «Hobas»	Покрытие стенок тоннеля материалом «Конусит КК-10»
Вариант 1 ($d = 800$ мм)	915 м	1165 м
Вариант 2 ($d = 1000$ мм)	835 м	1275 м
Вариант 3 ($d = 1300$ мм)	585 м	975 м
Вариант 4 ($d = 2000$ мм)	-	650 м

Из представленных данных видно, что на протяжении 100 лет предлагаемый автором способ для трубопроводов протяженностью в среднем более 1 км оказывается более эффективным. Причем чем больше диаметр коллектора, тем выгоднее становится использовать предлагаемое решение. Однако необходимо отметить, что прогноз на ближайшие 100 лет в условиях постоянно изменяющихся технологий не может быть точным. Поэтому все три варианта защиты, рассмотренные настоящей диссертационной работой, могут быть применены, и выбор зависит от конкретных условий. В целом, защита с использованием комплекса «Камера гашения напора – газоочистная установка» является самым выгодным для большинства случаев, но и самым рискованным. Применение стеклопластиковых труб для футеровки коллекторов является мероприятием, обеспечивающим полную защиту от коррозии, дающим гарантированный отличный результат. Но данный способ требует наибольших капиталовложений. Среднюю нишу по стоимости занимает покрытие стенок коллектора материалом «Конусит КК-10», однако в данном случае на первый план выходит качество выполнения строительных работ, и в случае нарушения технологии все средства будут потрачены впустую. Кроме того, в данном случае не гарантируется служба в течение 100 лет.

Отдельно необходимо выделить вопрос импортозамещения, актуальный на сегодняшний день для Российской Федерации. Применение комплекса «Камера

гашения напора – газоочистная установка» возможно с использованием исключительно отечественных материалов и оборудования.

Защита камеры гашения напора

Помимо канализационного коллектора, следующего за камерой гашения напора, в защите от коррозии нуждается сама КГН. Здесь возможны два способа – футеровка ее поверхности полиэтиленовыми листами, или защита стенок материалом Конусит КК-10. Ниже предлагается таблица (табл. 4.2.6), содержащая стоимость обоих методов защиты (в ценах, актуальных на август 2015 года). Данные по стоимости футеровки камеры полиэтиленовыми листами были предоставлены автору фирмой ООО «ФТК РОСТР». Стоимость покрытия материалом «Конусит КК-10» определена из стоимости 1 м² поверхности, представленного в табл. 4.2.3 Стоимость приведена для четырех вариантов КГН (см. табл. 4.2.2)

Таблица 4.2.6 – Стоимость защиты камеры гашения напора от коррозии

	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
Длина, мм	2000	2500	2600	3200
Ширина, мм	2900	3500	3700	4500
Высота, считая от поверхности земли, мм	4000	4100	4200	5100
Площадь поверхности КГН, которая должна быть защищена, м ²	56,6	74,4	81,0	126,2
Футеровка ПЭ листами (с работой), руб	189450,00	251244,00	312991,00	400608,00
Покрытие стенок материалом «Конусит КК-10» (с работой), руб	738308,50	970497,40	1056590,00	1646193,20

Из представленных данных видно, что наиболее выгодно использовать для защиты камеры гашения напора футеровку полиэтиленовыми листами.

Выводы по главе 4

1. Представлено полное инженерное решение по защите канализационного коллектора методом аэрации сточной жидкости – комплекс «Камера гашения напора – газоочистная установка.

2. Проведено экономическое сравнение способов защиты коллектора и доказана экономическая эффективность применения комплекса «Камера гашения напора – газоочистная установка для трубопроводов небольшой протяженности – на период времени 20 – 40 лет, как временное решение, и на период 100 лет – как постоянное решение для трубопроводов большей протяженности (более 1 км).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена эффективная конструкция камеры гашения напора, которая, выступая в комплексе с газоочистной станцией, позволяет насыщать сточную жидкость кислородом воздуха, и, тем самым, нейтрализовывать процесс микробиологической (газовой) коррозии в коллекторе после КГН. Задача по поиску оптимальной конструкции решена при помощи средств физического моделирования и математического моделирования.

Ниже представлены основные выводы по проведенным исследованиям.

Проблема микробиологической (газовой) коррозии широко изучается по всему миру, однако это сложный процесс, и многие факторы коррозии остаются не до конца оцененными. Кроме того, существующие методы борьбы с коррозией являются дорогостоящими мероприятиями и, потому, поиск альтернативных решений интересен как с научной, так и с экономической точек зрения.

В работе проведена серия полевых исследований на канализационных шахтах. Проведен мониторинг изменения состава газовой среды сооружений, а также микробиологические и химические анализы. В результате предложена методика определения аварийности канализационного сооружения по его конструктивным и технологическим особенностям.

Составлена сводная классификация способов борьбы с микробиологической (газовой) коррозией. Проведено исследование пассивных методов – нанесения защитных составов на бетон в условиях действующей камеры гашения напора.

Рассмотрен метод аэрации сточной жидкости, как один из альтернативных методов борьбы с коррозией. Показана возможность устройства узла насыщения стоков кислородом воздуха в пределах камеры гашения напора на канализационной сети. Представлена методика расчета, аналогичная разработанной В.М.Васильевым для канализационной шахты.

В работе составлена классификация типов приемно-разгрузочных камер. Предложены и запатентованы новые конструктивные решения, которые могут

быть использованы в системах водоснабжения и водоотведения. Рассмотрены основные типы камер гашения напора на канализационных сетях и выявлены их недостатки.

Разработана новая эффективная конструкция камеры гашения напора. Проведено физическое моделирование КГН, установлены основные зависимости протекания процесса эжекции воздуха.

С помощью программного комплекса ANSYS были созданы математические модели камер гашения напора, основанные на решении систем уравнений Навье – Стокса, осредненных по Рейнольдсу, методом конечных элементов. Для проверки получаемых на моделях результатов были построены модели созданной в рамках диссертационного исследования физической установки, а также модели канализационных трубчатых перепадов по данным В.М. Васильева и М.И. Алексеева. Во всех случаях получена хорошая сходимость натуральных и модельных данных.

Математическое моделирование позволило выявить наилучшее сочетание гидравлических элементов и определить оптимальные размеры камеры гашения напора. В частности, показано, что наивыгоднейшим соединением между подводящим горизонтальным трубопроводом и стояком является соединение под прямым углом, значение заглубления стояка под уровень жидкости – в уровень с водосливной стенкой, значение диаметра трубопровода эжектора – $1/3$ от диаметра подающего трубопровода. По результатам моделирования составлена методика расчета геометрических и гидравлических параметров камер гашения напора для инженеров.

В работе проведена экономическая оценка методов борьбы с коррозией, где традиционным успешно применяемым методам (футеровка коллектора по методу «Труба в трубе» и нанесение защитного состава на поверхность бетона) противопоставлен предлагаемый автором – аэрация сточной жидкости в камере гашения напора, с одновременным отводом загрязненного воздуха на очистку, и показана экономическая эффективность использования данного способа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Абрамович, И. А. Уберечь коллекторы от газовой коррозии / И.А. Абрамович, Э.А. Ситницкая, И.Г. Кораблев // Городское хозяйство Украины. – 1984. – №2. – С. 9-12.
- 2 Алексеев, М. И. Исследование перепадов на канализационной сети : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / М. И. Алексеев ; науч. рук. работы Н. Ф. Федоров, Ю. Д. Шутов ; Мин-во высшего и среднего специального образования РСФСР, Ленинградский Ордена трудового Красного знамени инженерно-строительный институт. - СПб., 1972. - 202 с. : ил.
- 3 Ахмадуллин, Р. Р. Повышение долговечности железобетона в условиях сероводородной коррозии : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Ахмадуллин Р. Р. - Уфа, 2006. – 147 с.
- 4 Белов, И. А. Моделирование турбулентных течений : учебное пособие / И. А. Белов, С. А. Исаев ; Балт. гос. техн. ун-т. - СПб., 2001. - 108 с.
- 5 Биологический фактор как причина разрушения канализационных сетей / Г. Я. Дрозд, Н. В. Сытниченко, И. В. Сатин, Я. А. Гусенцова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. - №1. - С. 22-26.
- 6 В Воронеже на детской площадке произошел прорыв коллектора [Электронный ресурс] // TV Губерния : интернет-канал. - [Б. м.] : АО «Студия «Губерния», 2013-2015. – Режим доступа : http://tv-gubernia.ru/novosti/v_voronezhe_na_detskoj_plowadke_proizoshel_proryv_kollektora/ (дата обращения 06.01.2015).
- 7 Васильев, В. М. Выбор конструкции приемно-разгрузочных камер (камер гашения) после напорных водоводов и их расчет / В. М. Васильев, Ю. В. Столбихин // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2012. - №2/3 (50/51). – С.48-61.
- 8 Васильев, В. М. Выбор конструкции приемных камер после напорных водоводов и их расчет / В.М. Васильев, Ю.В. Столбихин // Актуальные проблемы современного строительства: 64-я Международная научно-

- техническая конференция молодых ученых. В 3 ч. Ч. 1. / С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. — СПб., 2011. – С. 249.
- 9 Васильев, В. М. Выбор конструкции приемных камер после напорных водоводов и их расчет / В. М. Васильев, Ю. В. Столбихин // Молодые исследователи – регионам : материалы всероссийской научной конференции. Т. 1. - Вологда, 2012. - С. 432-434.
 - 10 Васильев, В. М. Выбор оптимального варианта транспортирования жидкости по водоводам большой протяженности по территории с наличием резкого перепада высотных отметок / В. М. Васильев, Ю. В. Столбихин // Актуальные проблемы строительства и архитектуры : материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов. Ч. 2 / М-во образования и науки, С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. - СПб., 2012. - С. 38-40.
 - 11 Васильев, В. М. Газовыделение в перепадных устройствах и участках коллектора при движении по ним сточной жидкости / В. М. Васильев, О. М. Ильина // Новые технологии и материалы в подземном строительстве : альманах научно-технической информации. - 1995. - Вып. 1. - С.3-7.
 - 12 Васильев, В. М. К вопросу о надежности канализационных коллекторов глубокого заложения / В. М. Васильев // Подземное пространство мира. - 1993. - № 5-6. - С. 32-33
 - 13 Васильев, В. М. Массообменные кислородные процессы на трубчатых перепадах при вентиляции канализационного коллектора и их влияние на коррозию бетона / В. М. Васильев, О. М. Ильина // Новые технологии и материалы в подземном строительстве : альманах научно-технической информации. - 1995. - Вып. 1. - С. 8-12.
 - 14 Васильев, В. М. Методы антикоррозионной защиты тоннельных коллекторов и сооружений на них / В. М. Васильев, М. Н. Клементьев, Ю. В. Столбихин // Водоснабжение и санитарная техника. - 2015. - №1. - С. 58-66.

- 15 Васильев, В. М. Микробиологическая коррозия канализационных сооружений // В. М. Васильев, Ю. В. Столбихин / Молодые исследователи – регионам : материалы всероссийской научной конференции. Т.1. - Вологда, 2013. - С. 357-358.
- 16 Васильев, В. М. Повышение эффективности работы канализационных коллекторов и сооружений на них при совместном движении сточных вод и газов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.04) / Васильев В. М. – СПб., 1996. - 343 с.
- 17 Васильев, В. М. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии / В. М. Васильев, Г. А. Панкова, Ю. В. Столбихин // Водоснабжение и санитарная техника – 2013. - № 9. – С.67 – 76.
- 18 Васильев, В. М. Современное представление о микробиологической биодеструкции бетона и металлов при эксплуатации канализационных коллекторов / В. М. Васильев, Е. Ю. Дмитриева // Инженерно-экологические системы: материалы Международной научно-практической конференции 10-12 октября 2012 г. / С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб., 2012. – С. 24-26.
- 19 Васильев, В. М. Техническая эксплуатация системы канализационных тоннелей: учеб. пособие / В. М. Васильев, П. П. Бессолов, О. Н. Булгаков, М. Б. Лившиц, В.Т. Шаповалов. – СПб.: СПбГАСУ, 2002.- 59 с.
- 20 Васильев, В. М. Условия применения приемно-разгрузочных камер (камер гашения) после напорных водоводов и их расчет / В. М. Васильев, Ю. В. Столбихин // Технологии мира. – 2012. - № 06(44). – С. 27-34.
- 21 Великий Новгород остался без воды из-за прорыва канализации [Электронный ресурс] // BFM.RU : [сайт]. – [Б. м.] : ООО «БФМ.РУ», 2007 – 2015. – Режим доступа : <http://www.bfm.ru/news/273805> (дата обращения: 04.01.2015).
- 22 Газоочистка [Электронный ресурс] // Грин Плэнет : [офиц. сайт]. - [Б. м.] :

- GREENPLANET, 2010-2015. - Режим доступа : <http://www.greenplanet.su/#/gas/> (дата обращения: 28.08.2015).
- 23 ГН 2.1.6.695-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ecobest.ru/snip/folder-2/list-46.html>.
- 24 ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации вредных веществ (ПДК) в воздухе рабочей зоны [Электронный ресурс] : гигиенические нормативы. – Введ. 2003-06-15. – Режим доступа : http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/42/42033/index.php.
- 25 ГН 2.2.5.2100-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Дополнение №2 к ГН 2.2.5.2100-03 [Электронный ресурс] : гигиенические нормативы. – Введ. 2006-11-01. – Режим доступа : http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/48/48155/.
- 26 Горелик, И. Н. Газовая коррозия канализационного коллектора г. Егорьевска / И. Н. Горелик, Э. А. Ситницкая, В. А. Штейнберг // Водоснабжение и санитарная техника. – 1984. - №12. - С. 3-4.
- 27 ГОСТ 17375-2001 (ИСО 3419-81). Отводы крутоизогнутые типа 3D ($R \approx 1,5DN$) : Конструкция : Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. - Взамен ГОСТ 17375-83 ; введ. 2003-01-01. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Изд-во стандартов, сор. 2002. – 18 с.
- 28 ГОСТ 30753-2001 (ИСО 3419-81). Отводы крутоизогнутые типа 2D ($R \approx DN$) : Конструкция : Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. – Введ. 2003-01-01. – Минск, [2002]. – 6 с
- 29 ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Электронный ресурс]. – Введ. 2011-

- 01-01. – Режим доступа : <http://gostinform.ru/snipy/gost-r-53778-2010.shtml>.
- 30 Грибанькова, А. А. Микробиологическая коррозия мягкой стали в водно-солевых средах, содержащих сульфатредуцирующие бактерии / А. А. Грибанькова, М. А. Мямина, С. М. Белоглазов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. - 2011. - Вып. 7. - С. 23-29.
- 31 Диденко, Е. А. Влияние состава транспортируемых сточных вод на состояние канализационных трубопроводных систем / Е. А. Диденко, Я. Л. Хромченко, В. А. Светлополянский // Водоснабжение и санитарная техника. - 2002. - № 5. - С.33 – 35.
- 32 Дмитриева, Е. Ю. Микроорганизмы-биодеструкторы подземных канализационных сооружений / Е. Ю. Дмитриева // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2013. - №1. – С. 20-44.
- 33 Дрозд, Г. Я. Бетонные и железобетонные канализационные коллекторы / Г. Я. Дрозд // Водоснабжение и санитарная техника. – 1988. - №2. - С. 8-10.
- 34 Дрозд, Г. Я. Коррозионное разрушение, прогнозирование степени агрессивности эксплуатационной среды и обеспечение надежности канализационных коллекторов на стадии проектирования / Г. Я. Дрозд // Вода и экология: проблемы и решения. – 2013. - №1. – С. 40-58.
- 35 Дублер канализационного коллектора в районе площади Мужества : научно-технический отчет / ООО «ПИ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ» ; рук. Васильев В. М. ; исполн. : Васильев Ф. В., Рибун А. В., Малков А. В., Столбихин Ю. В. [и др.]. - СПб, 2011. - ?? с.
- 36 аппа, М. А. Современные подходы при расчете сооружений биологической очистки с удалением соединений азота и фосфора [Электронный ресурс] / М. А. Есин // Науковий вісник будівництва : збірник наукових праць. —2010. – Вип. 57. — Режим доступа : http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Nvb/2010_57/esin.pdf (дата обращения

- 23.11.13).
- 37 Запущена восстановленная камера гашения напора...[Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rostreid.ru/zapushchena-vosstanovlennaya-kamera-gasheniya-napora-na-ulitse-moskovskoi> (дата обращения: 16.05.2014).
- 38 Иоффе, И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: учебник для техникумов / И. Л. Иоффе. – Л: Химия, 1991. – 352 с.
- 39 Калюжный, С. В. Микробные топливные элементы / С. В. Калюжный, В. В. Федорович // Химия и жизнь - XXI век. - 2007. - № 5. – С. 36-39.
- 40 Канализация : учебник для вузов / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов. - Изд. 5-е, перераб. и доп. - М. : Стройиздат, 1975. - 632 с.
- 41 Канализование Петербурга: Большой город, грандиозные проекты // Строительство и городское хозяйство в СПб. и ЛО. – 2008. - № 7 (105). - С. 146-148.
- 42 Карюхина, Т. А. Химия воды и микробиология : учеб. для техникумов / Т. А. Карюхина, И. Н. Чурбанова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1995. — 208 с.
- 43 Колодец водобойный канализационный [Электронный ресурс] : чертежи для повторного применения / Мосгорисполком, Ордена Трудового Красного Знамени Главное Архитектурно-планировочное Управление г. Москвы, Ордена Трудового Красного Знамени Управление по проектированию жилищно-гражданского и коммунального строительства «Моспроект-1». - М, 1980. – [16 л. черт.] – Режим доступа : <http://meganorm.ru/Data2/1/4293783/4293783175.pdf>.
- 44 Колодец гаситель напора – PKS – D 1000 – DLE [Электронный ресурс] // Армацентр : [сайт]. – Режим доступа: <http://www.armacentre.ru/jung-pumpen/kanalizatsionnye-nasosy-i-nasosnye-stantsii-dlya-ustanovki-vne->

- zdanij/ nasosnaya-stantsiya-pks-d-1000-dlyanasosov-multistream-i-multifree-55-detail.html (дата обращения: 31.10.2014).
- 45 Контейнер 20 футовый [Электронный ресурс] // КонтМодуль : Продажа и аренда контейнеров, блок контейнеров, модульных зданий и бытовок : [сайт]. – СПб.: Контейнеры, бытовки, блок-контейнеры - продажа, аренда, производство, 2011-2015. – Режим доступа: <http://www.contmodule.ru/konteyner-20-futov> (дата обращения 28.08.2015)
- 46 Кривошеев, И. А. Выбор модели турбулентности при расчете потерь давления в проточной части ГТД с использованием программного комплекса ANSYS CFX / И. А. Кривошеев, А. Ю. Чечулин, А. Ю. Хохлова // Вестник УГАТУ. – 2011. - Т.15, №2 (42). - С 68-73.
- 47 Махиненко, Е. Взаимодействие железа с концентрированными кислотами (№ 54439) [Электронный ресурс] / Е. Махиненко, П. Беспалов. - Режим доступа: <http://school-collection.edu.ru/catalog/res/a1337a04-a2fb-d1d2-daa-f78f7369049f/?fullView=1> (дата обращения: 17.07.2014).
- 48 Мелитополь. Часть коллектора "съела" газовая коррозия [Электронный ресурс] // Индустриалка: оперативно о главном : [сайт]. – Режим доступа : <http://iz.com.ua/zaporoje/17559-melitopol.-chast-kollektora-sela-gazovaya-korroziya.html> (дата обращения 05.01.2015).
- 49 Мониторинг-исследование технического состояния канализационного объекта Выборского тоннельного канализационного коллектора в интервале от шахты №123 до шахты №122Б : отчет о научно-исследовательской работе / ООО «ПИ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ» ; рук. Васильев В. М. ; исполн. : Рибун А. В., Столбихин Ю. В. - СПб, 2014. - ?? с.
- 50 На Калиновой из-за прорыва под землю ушла часть двора многоэтажки [Электронный ресурс] // Комментарии: Днепропетровск : [сайт] - Режим доступа : <http://dnepr.comments.ua/news/2013/03/11/121011.html> (дата обращения 06.01.2015).

- 51 На улице Пушкина ведутся аварийно-восстановительные работы [Электронный ресурс] // НОВОГОР. Прикамье : [сайт]. - [Б. м.] : НОВОГОР, 2007-2015. – Режим доступа : <http://www.novogor.perm.ru/news/2013-07-18-3204> (дата обращения 06.01.2015).
- 52 Нагибина, Т. С. Влияние канальных газов на разрушение Люберецкого кирпичного канала / Т. С. Нагибина // Очистка сточных вод : сборник работ / Академия коммунального хозяйства при СНК РСФСР ; ред. проф. С. Н. Строганов. – М. ; Л. : ОНТИ. - Госстройиздат НКТП СССР, 1934. – С. 21-25.
- 53 Насосная станция перекачки [Электронный ресурс] // Новостройка.Ру : Недвижимость. Строительство. Обустройство : [сайт]. – [Б. м.] : Новостройка.Ру, 2015. – Режим доступа : <http://novostrojka.ru/content/view/3218/33/> (дата обращения: 22.01.2015).
- 54 О антикоррозионной защите канализационных коллекторов [Электронный ресурс]: письмо от 09 августа 1993 года № ВА-235/13 / Министерство строительства Российской Федерации. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/901717155>.
- 55 О необходимости совершенствования строительных норм и правил / Г. Я. Дрозд, Н. В. Сытниченко, Я. А. Гусенцова, Н. И. Зотов, В. Н. Маслак // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. - №1. - С. 18 – 20.
- 56 О необходимости совершенствования строительных норм и правил / Г. Я. Дрозд, Н. В. Сытниченко, Я. А. Гусенцова, Н. И. Зотов, В. Н. Маслак // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. - №1. - С. 18 – 20.
- 57 Об установлении тарифов на электрическую энергию, поставляемую населению и приравненным к нему категориям потребителей, по Санкт-Петербургу на 2015 год (с изменениями на 1 апреля 2015 года) [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [сайт]. - [Б. м.] : ЗАО «Кодекс», 2012-2014. -

Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/537967431>

- 58 Общий прайс-лист Завода ВЕНТИЛЯТОР [Электронный ресурс] // Завод «Вентилятор» : [сайт]. - СПб. : ООО «Завод ВЕНТИЛЯТОР, 2013-2015. - Режим доступа : <http://ventilator.spb.ru/prajslist/> (дата обращения: 28.08.2015).
- 59 Орлов В. А. Оценка эффективности реновации трубопроводов профильными полимерными трубами и защитными оболочками в условиях возможного теплового расширения и дефектов тела трубы / В. А. Орлов, Д. И. Шлычков, Е. В. Коблова // Вестник МГСУ. – 2011. - № 6. - С. 615-624.
- 60 Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / А. А. Айсаев [и др.]. – СПб. : Стройиздат СПб, 1999. – 424 с.
- 61 Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга : сборник / Водоканал СПб ; общ. ред. Ф. В. Кармазинов. - 2-е изд., доп. и перераб. - СПб. : Новый журнал, 2002. - 683 с.
- 62 Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков. - Л. : Химия. Ленинградское отделение, 1987. - 572 с.
- 63 Панкова, Г. А. Опыт эксплуатации канализационных тоннелей Санкт-Петербурга / Г. А. Панкова, М. Н. Клементьев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. - №3. - С. 55 – 61.
- 64 Письмо Минстроя и ЖКХ РФ №25760-ЮР/08 от 13.08.2015 г. Рекомендуемые к применению в III квартале 2015 года индексы изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства, изменения сметной стоимости проектных и изыскат. работ [Электронный ресурс] // МонтажСпецСтрой : [сайт]. – [Б. м.] : ООО «МонтажСпецСтрой», 1992—2015. –Режим доступа : <http://www.mss-tver.ru/letters/2015-3>.
- 65 Плазмокаталитическая технология очистки воздуха (газоочистка)

- [Электронный ресурс] // Электроэкология : [офиц. сайт]. – СПб. : ООО "Электроэкология", [2015]. – Режим доступа : <http://ele-spb.ru/main/?q=node/36> (дата обращения: 28.08.2015).
- 66 По факту обрушения канализационного коллектора в Рязани возбуждено уголовное дело [Электронный ресурс] // Волжское межрегиональное природоохранное следственное управление Следственного комитета Российской Федерации : [сайт]. – [Б. м.] : Волжское межрегиональное природоохранное следственное управление Следственного комитета Российской Федерации, 2014. - Режим доступа: <http://vmpsu.sledcom.ru/news/detail.php?news=9785&print=Y> (дата обращения 06.01.2015).
- 67 Положительное заключение ФГУ «Главгосэкспертиза России» №435-08/ГГЭ-5523/07 от 24.06.2008 г.) по объекту «Продолжение Главного коллектора канализации северной части СПб».
- 68 Постановление Правительства РФ от 29 июля 2013 г. №644 "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации" // Департамент жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства города Москвы : [сайт]. – Режим доступа : <http://dgkh.mos.ru/legislation/lawacts/971433/>.
- 69 ПОТ Р М-025-2002. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации водопроводно-канализационного хозяйства [Электронный ресурс]. – Введ. 2003-01-01. – Режим доступа : http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/42/42323/.
- 70 Приемная камера гашения: пат. № 124 703 Рос. Федерация : МПК E03F 5/00. E03B 11/00 / Мурашев С. В., Ромодин К. М., Васильев В. М., Столбихин Ю. В. ; заявитель и патентообладатель ЗАО "Центр исследований и интеллектуальной собственности "АКВАПАТЕНТ", ООО "ГК "Инженерные экосистемы". - № 2012113157/13 ; заявл. 05.04.2012 ;

- опубл. 10.02.2013, Бюл. № 4. – 2 с.: ил.
- 71 Приемная камера гашения: пат. № 124 704 Рос. Федерация : МПК E03F 5/00. E03B 11/00/ Мурашев С. В., Ромодин К. М., Васильев В. М., Столбихин Ю. В. ; заявитель и патентообладатель ЗАО "Центр исследований и интеллектуальной собственности "АКВАПАТЕНТ", ООО "ГК "Инженерные экосистемы". - № 2012113160/13 ; заявл. 05.04.2012 ; опубл. 10.02.2013, Бюл. № 4. – 2 с.: ил.
- 72 Приемная камера гашения: пат. № 124 909 Рос. Федерация : МПК E03F 5/00. E03B 11/00 / Мурашев С. В., Ромодин К. М., Васильев В. М., Столбихин Ю. В. ; заявитель и патентообладатель ЗАО "Центр исследований и интеллектуальной собственности "АКВАПАТЕНТ", ООО "ГК "Инженерные экосистемы". - № 2012113158/13 ; заявл. 05.04.2012 ; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5. – 2 с.: ил.
- 73 Прорыв канализации в Киеве: яма на дороге глубиной 7 метров [Электронный ресурс] // Ліга. Новости [сайт]. – [Б. м.] : Информационное агентство ЛІГАБізнесІнформ, 2007-2015. – Режим доступа : http://news.liga.net/photo/capital/715528-proryv_kanalizatsii_v_kieve_yama_na_doroge_glubinoy_7_metrov.htm#1 (дата обращения 06.01.2015).
- 74 Протасовский, Е. М. Очистка высококонцентрированных по органическим загрязнениям сточных вод с использованием ступенчатых аэрационных систем : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Е. М. Протасовский ; науч. рук. работы С.М. Шифрин, Б.Г. Мишуков ; Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, Ленинградский Ордена трудового Красного знамени инженерно-строительный институт. – СПб., 1980. – 259 с.
- 75 Розенталь, Н. К. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод / Н. К. Розенталь // Бетон и железобетон. Оборудование, материалы, технология. – 2011. - № 1. - С. 96-

- 103.
- 76 Романов, С. В Уральске произошло обрушение канализационного коллектора [Электронный ресурс] / С. Романов // *Zakon.kz* : [сайт]. - [Б. м.] : Информационное агентство *Zakon.kz*, 1999 – 2015. – Режим доступа : <http://www.zakon.kz/4548050-v-uralske-proizoshlo-obrushenie.html> (дата обращения 06.01.2015).
- 77 Рублевская, О. Н. Мероприятия по предотвращению распространения неприятных запахов на объектах ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» / О. Н. Рублевская // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2013. - №10. – С. 46 – 55
- 78 Серия 3.903 КЛ-13. Теплоснабжение. Сборные железобетонные камеры на тепловых сетях. Выпуск 1-2. - Л.: ЛЕНГИПРОИНЖПРОЕКТ, 1978. – 67 с.
- 79 СП 18.13330.2011. Генеральные планы промышленных предприятий : актуализированная редакция СНиП II-89-80 : изд. офиц. – Введ. 2011-05-20. - М.: Минрегион России, 2011 – 46 с
- 80 СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 : изд. офиц. – Введ. 2013-01-01. - М.: Минрегион России, 2012. – 123 с.
- 81 СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения : актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 : изд. офиц. – Введ. 2013-01-01. - М.: Минрегион России, 2012. – 85 с.
- 82 СТО 36554501-008-2007. Обеспечение сохранности подземных водонесущих коммуникаций при строительстве (реконструкции) подземных и заглубленных объектов [Электронный ресурс] : стандарт организации. – Введ. 2007-03-13. - М., 2007. – 38 с. - Режим доступа : <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293845/4293845782.pdf>.
- 83 СТО НОСТРОЙ 2.17.66-2012. Коллекторы и тоннели канализационные. Требования к проектированию, строительству, контролю качества и приемке работ / Национальное объединение строителей. - М. : ООО

Издательство «БСТ», 2013. - 92 с.

- 84 Столбихин, Ю. В. Исследование процесса эжекции воздуха в камере гашения напора / Ю. В. Столбихин // Вестник гражданских инженеров. - 2015. – №3 (50). – С. 202-210
- 85 Столбихин, Ю. В. Классификация конструкций приемно-разгрузочных камер и условия их применения / Ю. В. Столбихин // Инженерно-экологические системы: материалы Международной научно-практической конференции 10-12 октября 2012 г. / С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб., 2012. – С. 33-37
- 86 Столбихин, Ю. В. Теоретические основы процессов разрушения железобетонных канализационных коллекторов и сооружений на них / Ю. В. Столбихин // Ремонт и восстановление бетонных конструкций на сооружениях сточных вод : тезисы докладов 3-й конференции, г. Сочи, 2014 г. – Сочи, 2014 . -С. 20-21.
- 87 Стопичев, А. В Белгороде на Михайловском шоссе обрушилась часть дорожного полотна [Электронный ресурс] / А. Стопичев // БелПресса : [сайт]. – [Б. м.] : БелПресса, 2013-2015. - Режим доступа : <http://www.belpressa.ru/news/news/v-belgorode-na-mihajlovskom-shosse-obrushilas-chast-dorozhnogo-polutna/> (дата обращения 06.01.2015).
- 88 Типовые конструкции зданий и сооружений. Серия 4.902-3. Приемные камеры канализационных очистных сооружений при напорном поступлении сточных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gostrf.com/normadata/1/4293842/4293842761.htm>.
- 89 Установка сорбционно-плазмо-каталитической очистки газов [Электронный ресурс] // Воздухоочистка : [офиц. сайт]. – СПб. : ООО «Воздухоочистка», [2015]. – Режим доступа : http://www.air-cleaning.ru/c_stopkr.php (дата обращения: 28.08.2015).
- 90 Ухин, Б. В. Гидравлика: учебник / Б. В. Ухин, А. А. Гусев. - М.: ИНФРА-М, 2010. – 432 с.

- 91 Федеральные единичные расценки на капитальный ремонт оборудования // Ценообразование и сметное нормирование в строительстве. – 2015. - №6 (387). – С. 153-154.
- 92 Федосов, А. Рухнули под землю [Электронный ресурс] / А. Федосов // Российская газета. Столичный выпуск. - 2012. - № 5674. – Режим доступа : <http://rg.ru/2012/01/10/briansk.html> (дата обращения: 14.03.2013).
- 93 Храбрый, А. И. Численное моделирование нестационарных турбулентных течений жидкости со свободной поверхностью : дис. ... канд. физ-мат. наук : 01.02.05 / А. И. Храбрый. - СПб, 2014. – 154 с.
- 94 Цай, Н. Как создавали «русло» экологической революции / Н. Цай // Строительство и городское хозяйство в СПб. и ЛО. – 2013. - № 8 (146). - С. 100-102.
- 95 Циклаури, Д. С. Гидрокомпрессоры: моногр. / Д. С. Циклаури. - М.: ГОССТРОЙИЗДАТ, 1960. – 71 с.
- 96 Чугаев, Р. Р. Гидравлика / Р. Р. Чугаев. - М. ; Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 528 с.
- 97 Чупин, Р. В. Оптимальная реконструкция канализационных сетей // Р. В. Чупин, Нгуен Туан Ань // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. - № 2. - С. 58-68.
- 98 Шиповская, Д. Яма, в которую провалился ПАЗ, образовалась из-за прорыва трубы [Электронный ресурс] / Д. Шиповская. – Режим доступа: <http://m.moe-online.ru/news/view/256345.html> (дата обращения 06.01.2015).
- 99 A Collaborative Investigation of Microbial Corrosion of Concrete Sewer Pipe in Australia [Электронный ресурс] / T. Wells et al. – Режим доступа : https://score.org.au/knowledge-base/publications/theme-1-corrosion/10Wells_ozw12Final00280.pdf.
- 100 Aerobic–anaerobic microbial wastewater transformations and reaeration in an air-injected pressure sewer / N. Tanaka, T. Hvitved-Jacobsen, T. Ochi, N. Sato // Water Environ. Res. – 2000. - № 72. - P. 665–674.

- 101 ANSYS CFX [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cae-expert.ru/product/ansys-cfx> (дата обращения: 25.06.2015).
- 102 ANSYS CFX-Solver Theory Guide. - [S. l.]: ANSYS, Inc., 2009. - 261 p.
- 103 Bocquet P. Lutte contre la formation d'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement et traitement des sulfures à l'air comprimé / P. Bocquet, A. Derville // TSM. - Vol. 1. - P. 25-35.
- 104 Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete / J. Monteny, E. Vincke, et al. // Cement and Concrete Research. - 2000. - № 30 (4). - P. 623-634.
- 105 Deterioration of reinforced concrete in sewer environments / A. K. Parande et al. // Municipal Engineer. - 2005. - № 159 (1). - P. 11-20.
- 106 Effect of mixture design parameters and wetting-drying cycles on resistance of concrete to sulfuric acid attack / Hewayde E, Nehdi M, et al. // Journal of Materials in Civil Engineering. - 2007. - № 19 (2). - P. 155 – 163.
- 107 Firer, D. Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications / D. Firer, E. Friedler, O. Lahav // Science of the environment. – 2008. - № 392. - P. 145-156.
- 108 Insenerisusteemid. Kanalisatsioon [Электронный ресурс] // Irmari. Insenerisusteemid [сайт]. – [Б. м.] : Irmari OÜ, 2015. – Режим доступа : <http://www.irmari.ee/article/read/sewerage.html> (дата обращения: 22.01.2015).
- 109 Interactions of nutrients, moisture and ph on microbial corrosion of concrete sewer pipes / T. Mori, T. Nonaka et al. // Water research. - 1992. - № 26 (1). - P. 29-37.
- 110 Kaempfer, W. Polymer modified mortar with high resistance to acid to corrosion by biogenic sulfuric acid / W. Kaempfer, M. Berndt // Proceedings of the IXth ICPIC Congress, Bologna, Italy. – Bologna, 1998. - P. 681 – 687.
- 111 Kaloly, Welther. Vizsgalotok csatornahalozatok szagartalmának.

- “Kornyezetvedelem Analitikaja (12) Tudományos Ulesszak” - on, elhagzott elosdas alapján // Szomdattely. - 1985. - № 9. - P. 23 - 25.
- 112 Microbial corrosion of concrete sewer pipes, H₂S production from sediments and determination of corrosion rate / T. Mori, M. Koga, et al. // Water Science and Technology. - 1991. - № 23. - P. 1275-1282.
- 113 Microbial fuel cells for sulfide removal / K Rabaey, K.V. Sompel, L. Maignien, N. Boon, P. Aeltermann, H.T. Pham, J. Vermeulen, M. Verhaege, P. Lens, W. Verstraete // Environ. Sci. Technol. – 2006. - № 40. - P. 5218–5224.
- 114 Muller, M. Dedicated to Innovation. 50 Years MC-Bauchemie / M. Muller, R. Muller ; MC-Bauchemie Muller GmbH & Co.KG. - Bottrop, Germany, 2011. – 453 p.
- 115 Occurrence of sulphate reducing bacteria in the human intestinal flora and in the water environment / H. Leclerc, C. Oger, H. Beerens, D. A. Mossel // Water Research. 1979. - № 14(3). - P. 253-256.
- 116 Richman, M. Microbial system control odors in Florida collection systems / M. Richman // Water Environ Technol. – 1997. - № 9. - P. 20-22.
- 117 Sewer Collapse in Tucson, Arizona, September 2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sewerhistory.org/grfx/misc/spdwy1.htm> (дата обращения: 05.01.2015).
- 118 Sinkhole caused by collapse of a sewer in Philadelphia // Popular Mechanics. - June 1923. - P. 831.
- 119 Studley, E. Experimental of city of Los Angeles / E. Studley // Sewege wors. - 1939. - № 2. - P. 70 - 264.
- 120 Third body pulled from giant sinkhole [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nbcnews.com/id/17303991/ns/world_news-americas/t/third-body-pulled-giant-sinkhole/#.VKrVrSusVzg (дата обращения: 05.01.2015).
- 121 Vasiljev, V. Microbiological Corrosion of Underground Sewage Facilities of Saint Petersburg / V. Vasiljev, N. Lapsev, J. Stolbichin // World Applied

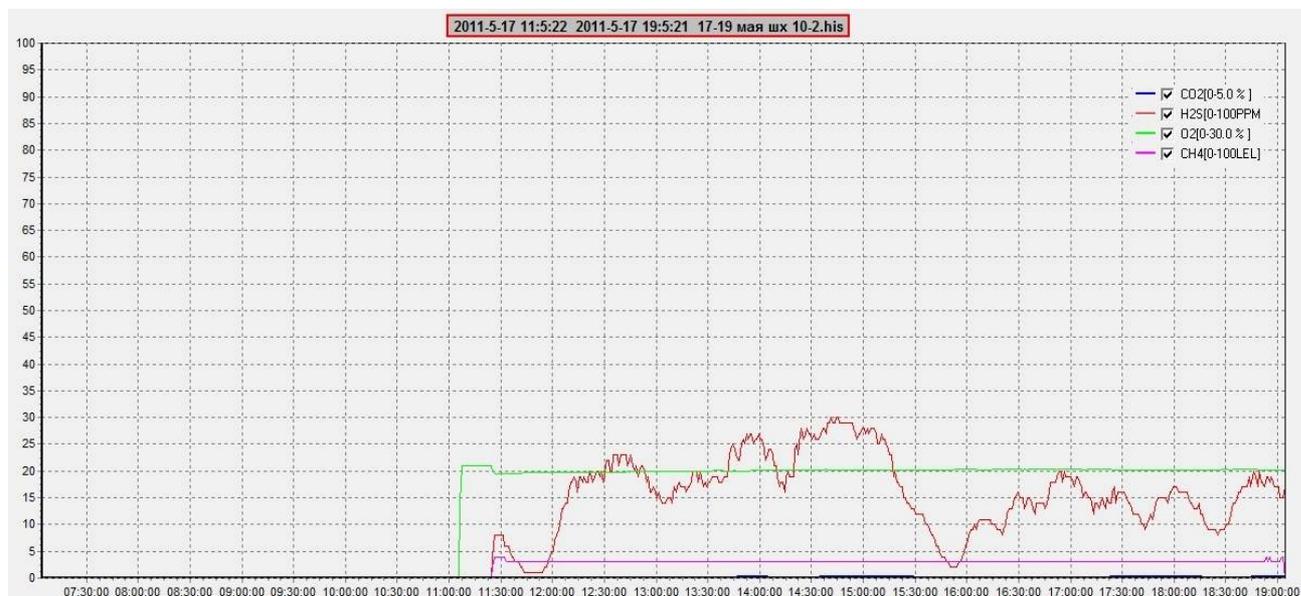
Sciences Journal. – 2013. - № 23 : Problems of Architecture and Construction.
– P. 184-190.

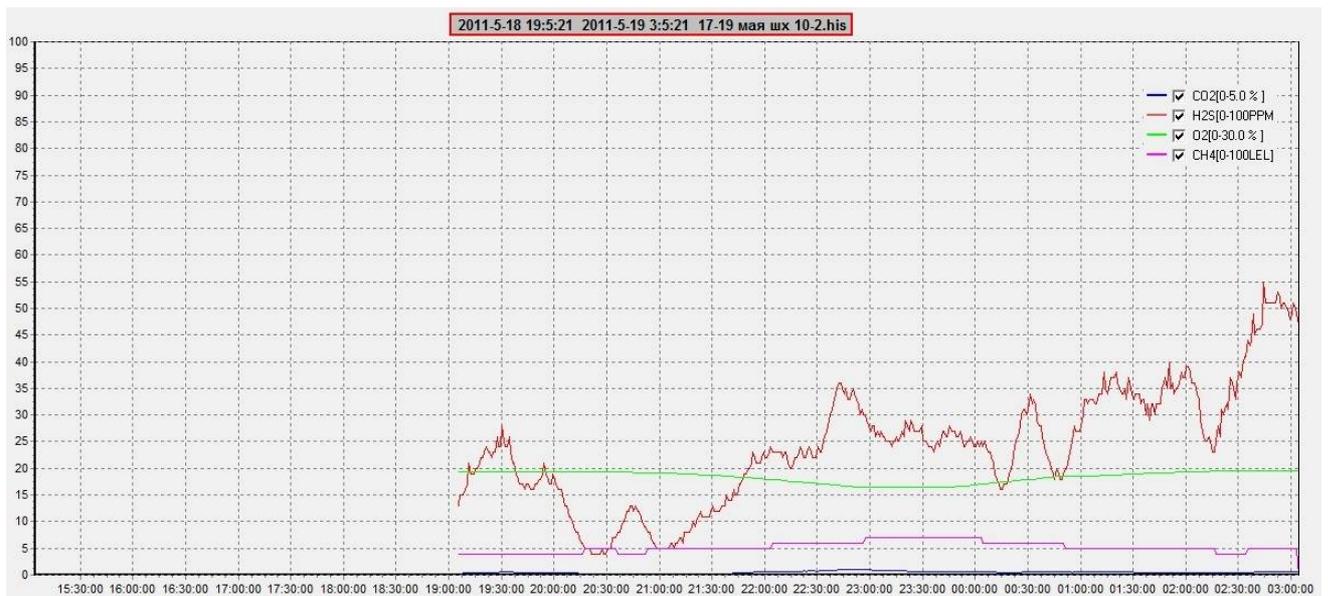
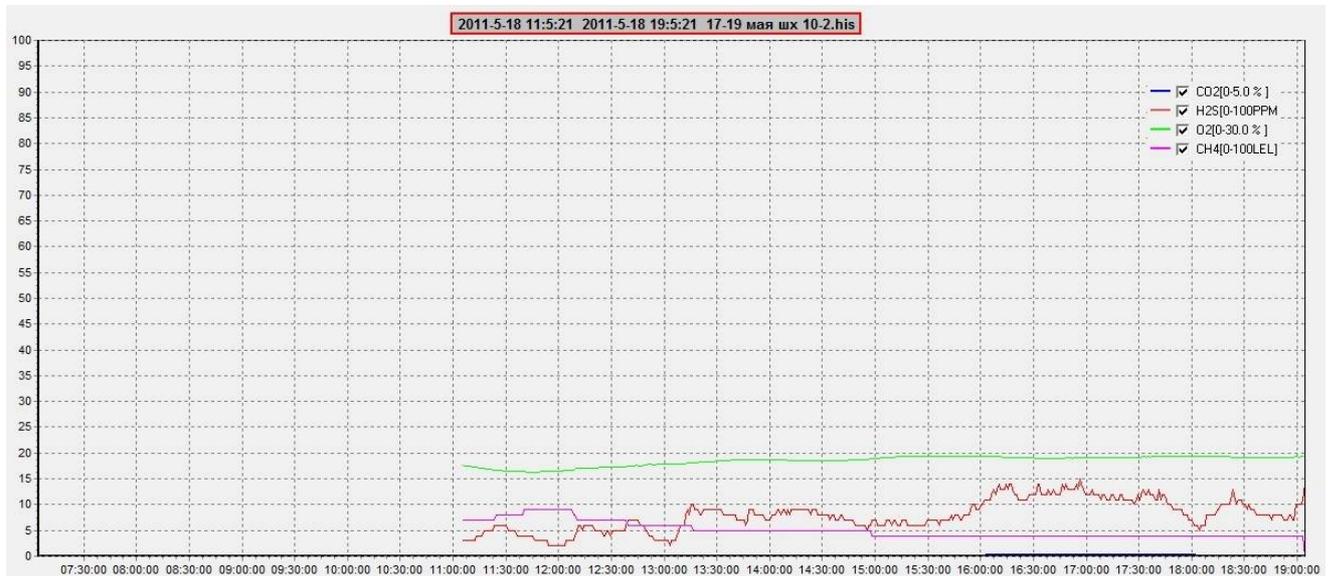
- 122 Vasilyev, V. Inspecting and monitoring the technical condition of sewage collectors / V. Vasilyev, Y. Stolbikhin // Trans Tech Publications, Switzerland, Applied Mechanics and Materials. – 2015. - Vols. 725-726. – P. 1319-1324.
- 123 Wells, P. A. Factors involved in the long term corrosion of concrete sewers (Paper 54) / P. A. Wells, R. E. Melchers // Corrosion and Prevention 2009: The Management of Infrastructure Deterioration : conference Proceedings, Coffs Harbour, Australia, Nov 2009. - Coffs Harbour, 2009. - P. 15 – 18.
- 124 Zhang, L. Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review / L. Zhang, P. De Schryver, B. De Gusseme, et al // Water Research. - 2008. - №42. - P. 1 – 12.

Графики изменения концентраций газов в шахтах

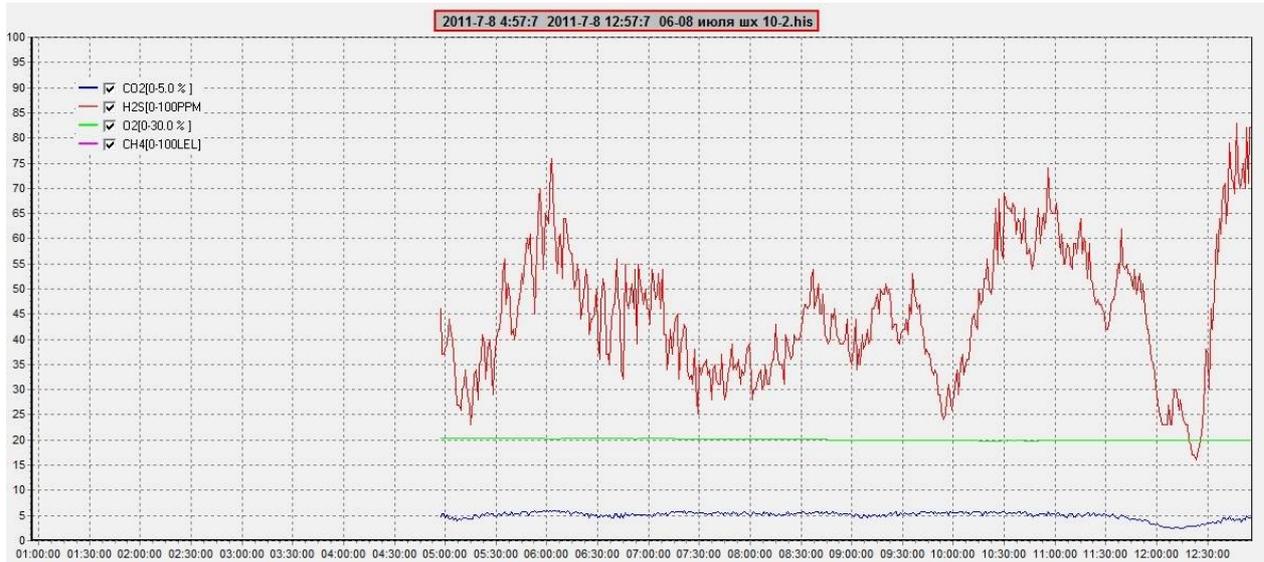
Шахта №10

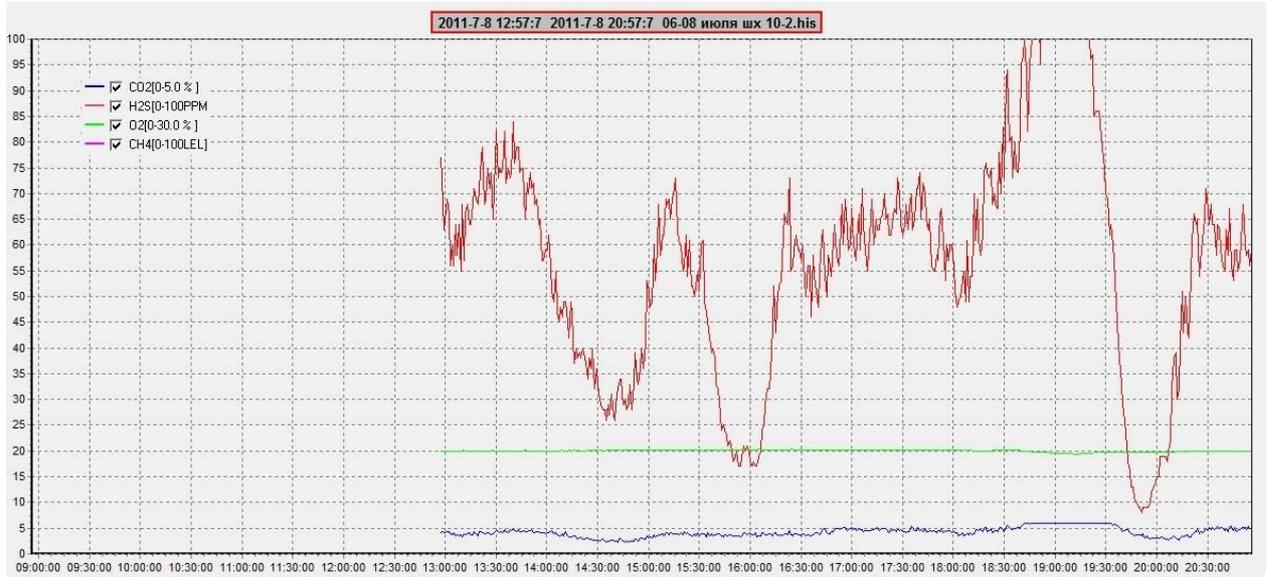
I опыт. Изменение концентраций газов в период с 11:05:22 (17.05.2011) по 03:05:21 (19.05.2011).





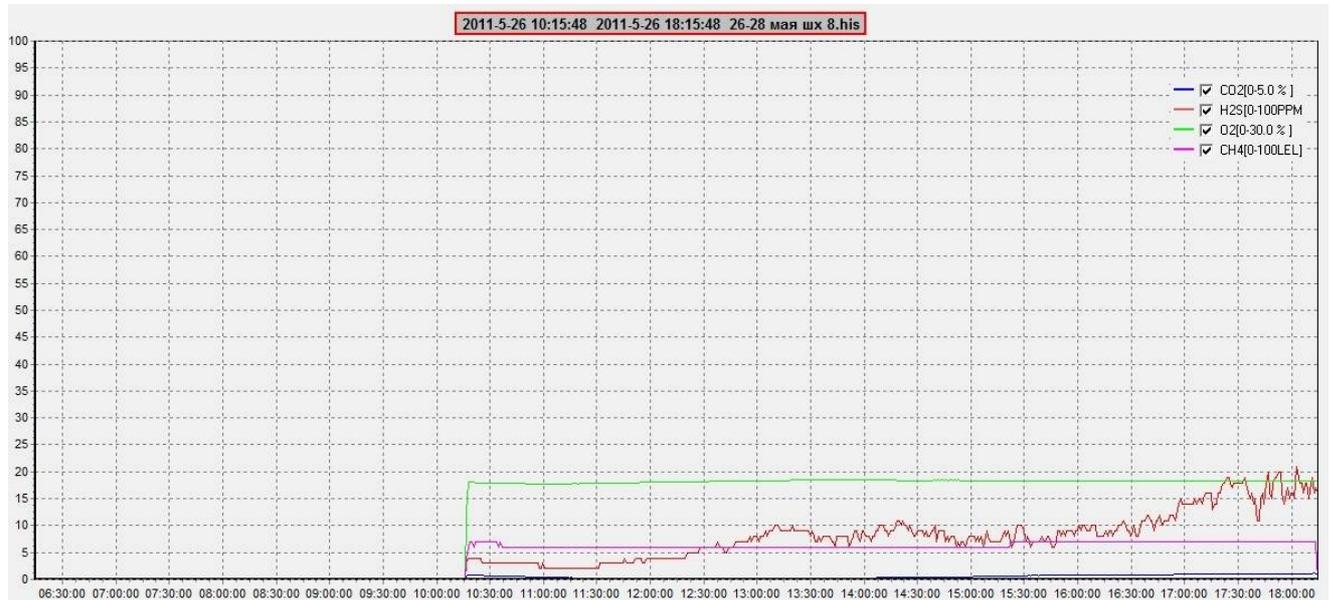
II опыт. Изменение концентраций газов в период с 20:57:07 (07.07.2011) по 04:38:50 (09.07.2011)

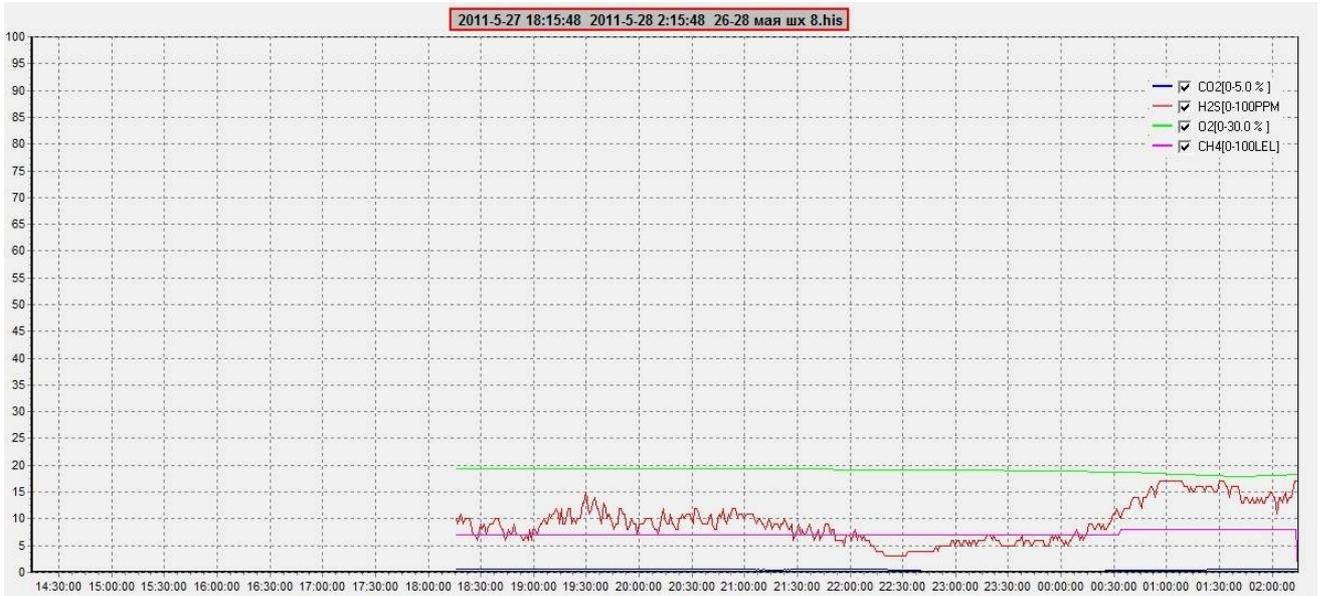
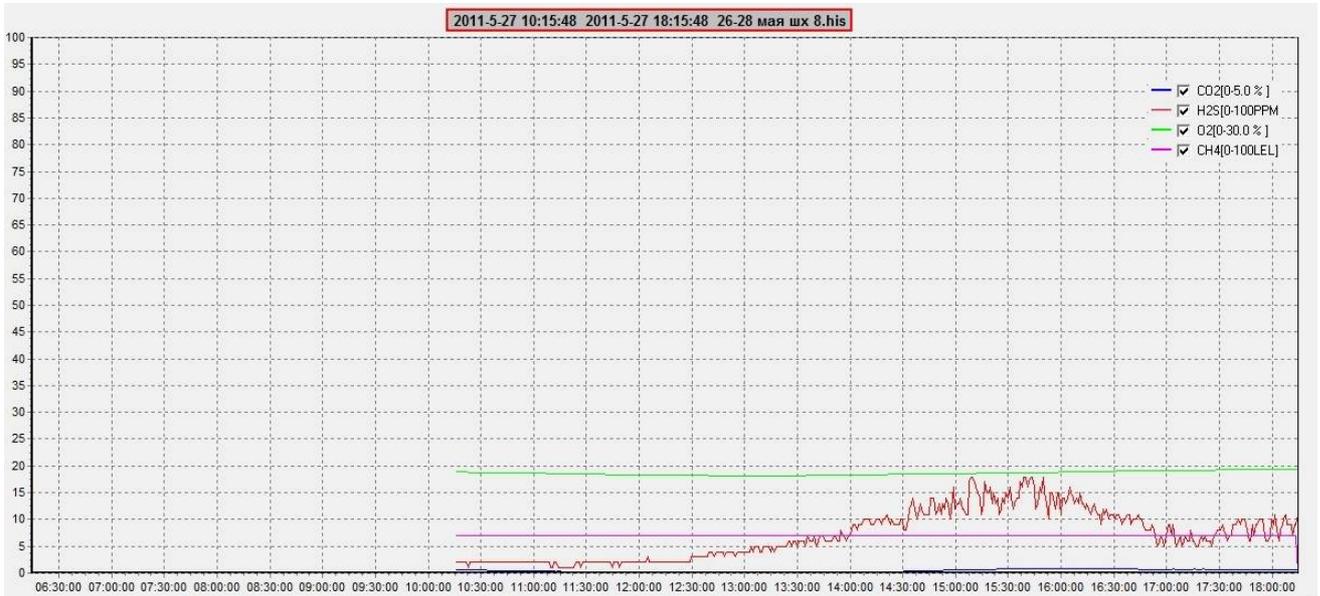
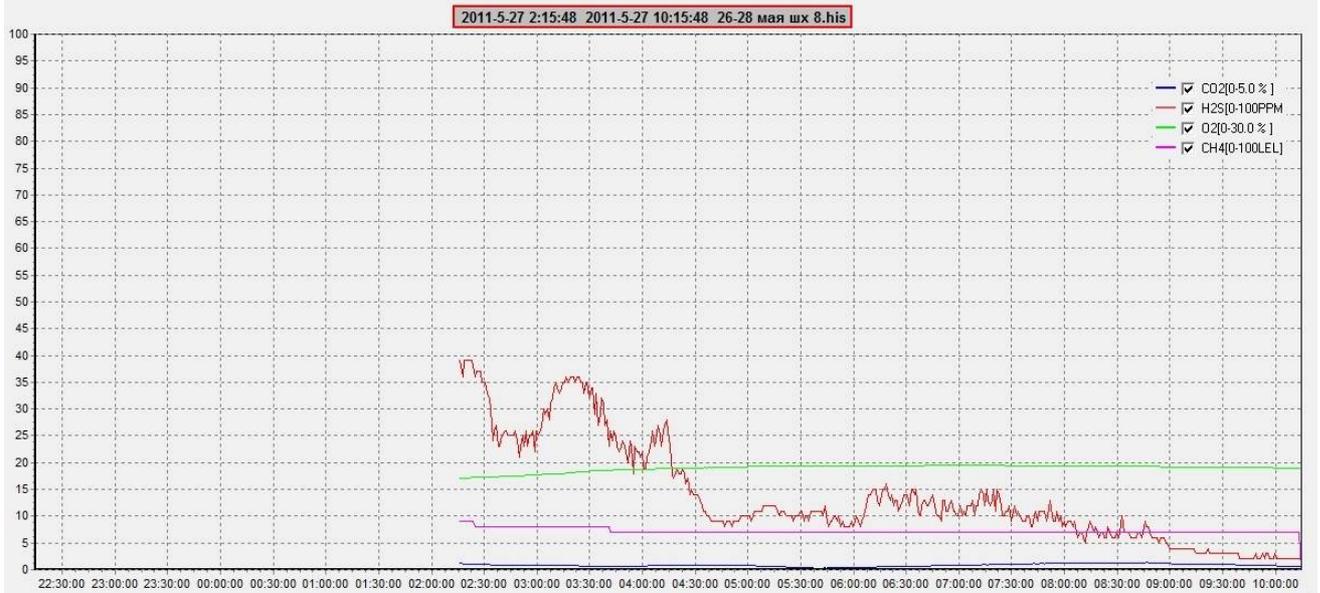




Шахта №8

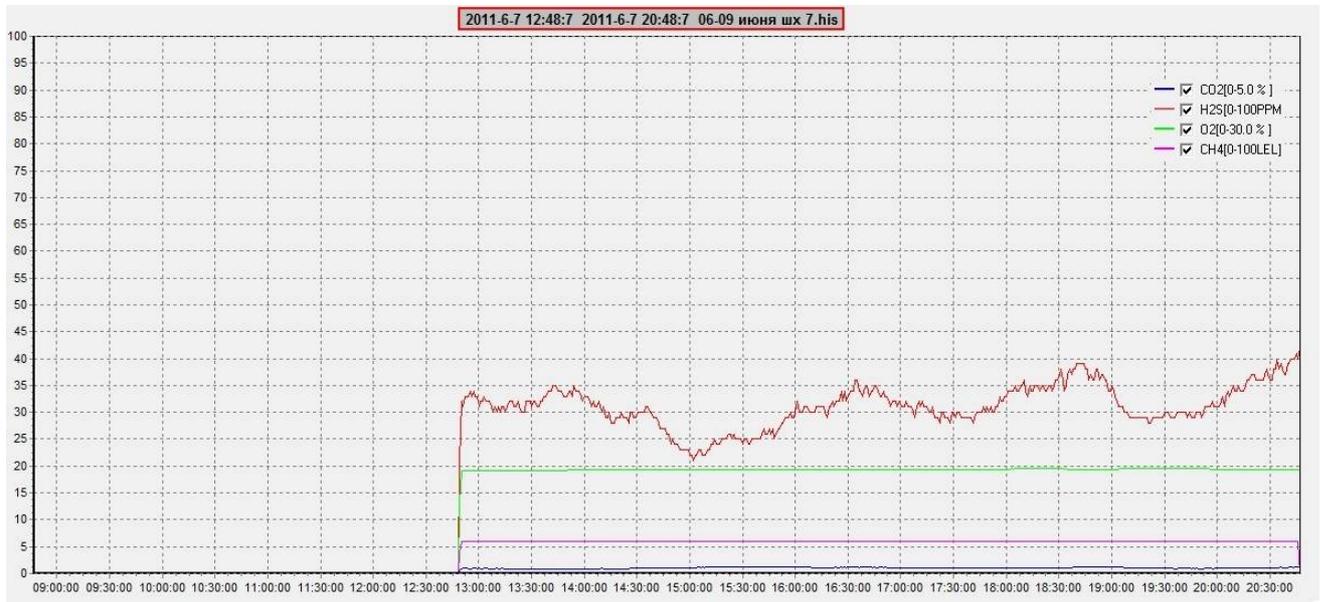
Изменение концентраций газов в период с 10:15:48 (26.05.2011) по 02:15:48 (28.05.2011).

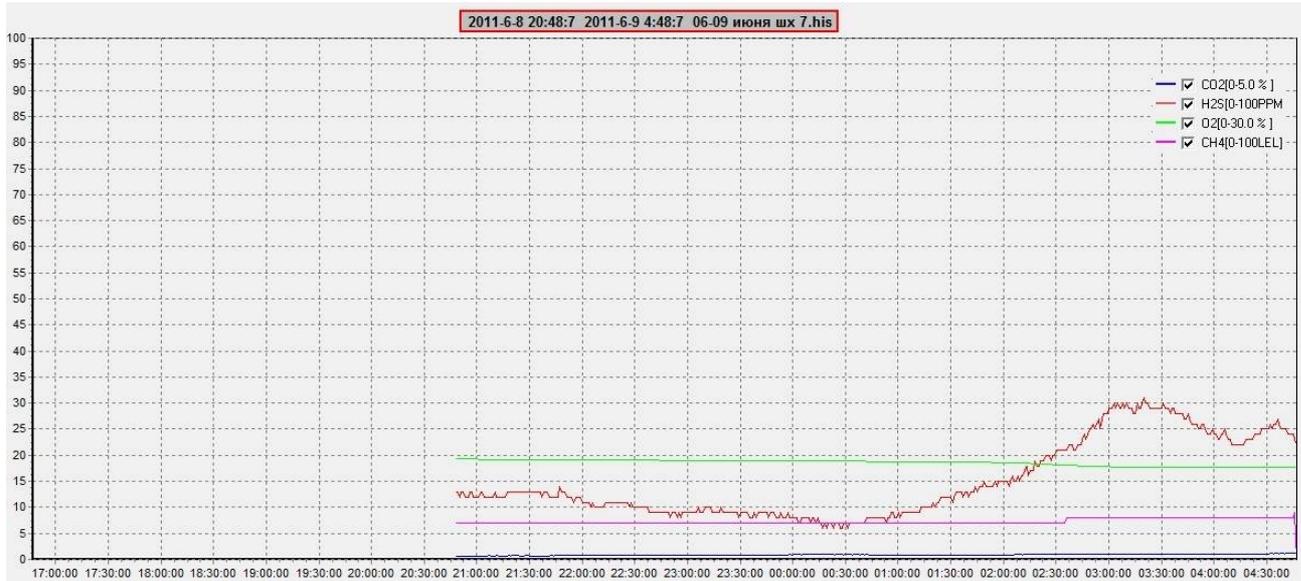
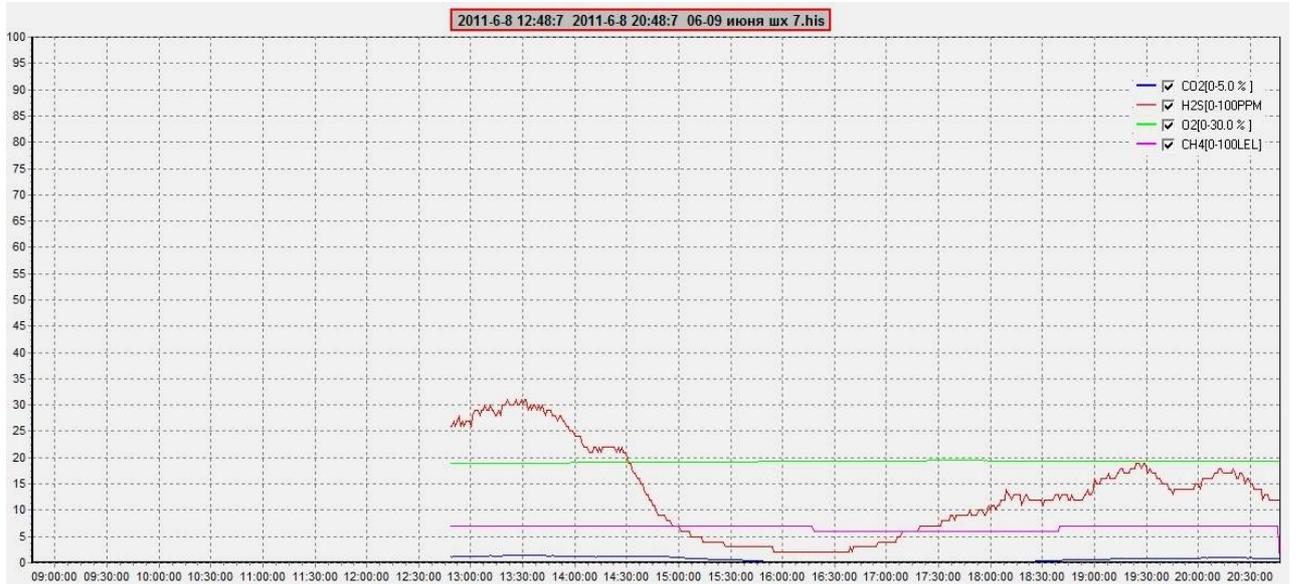
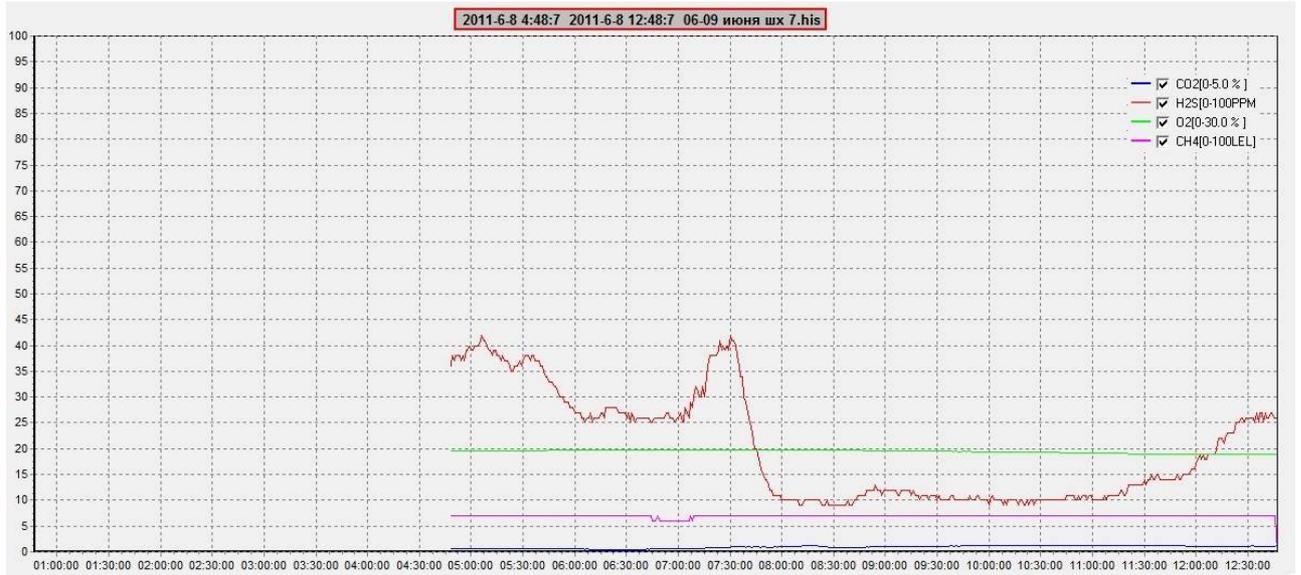




Шахта №7

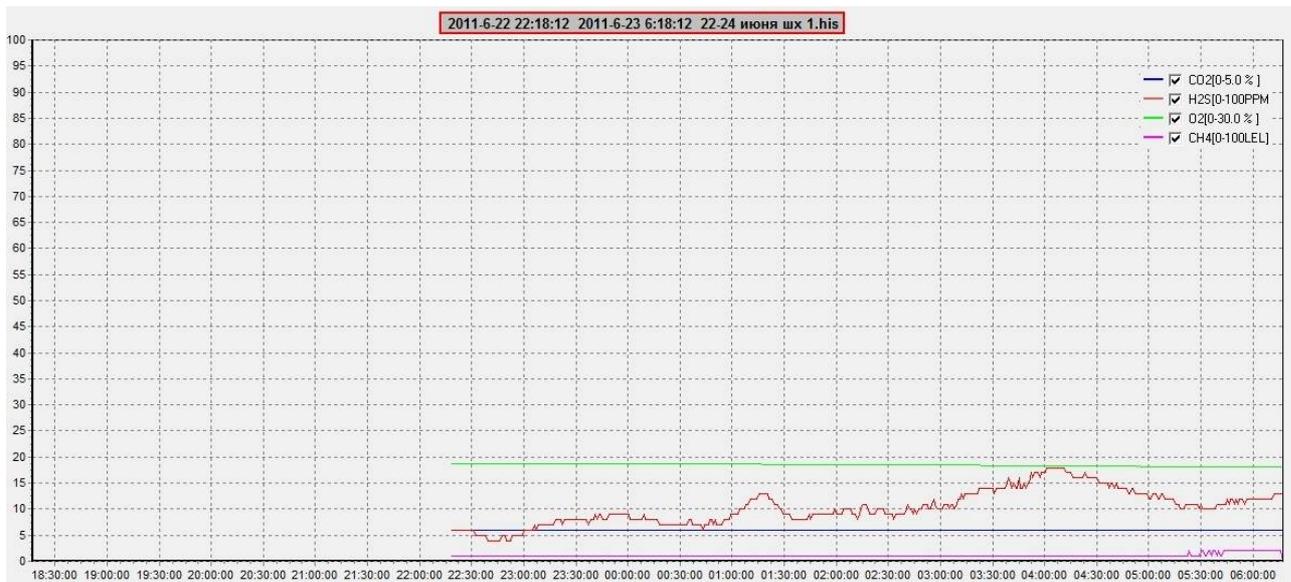
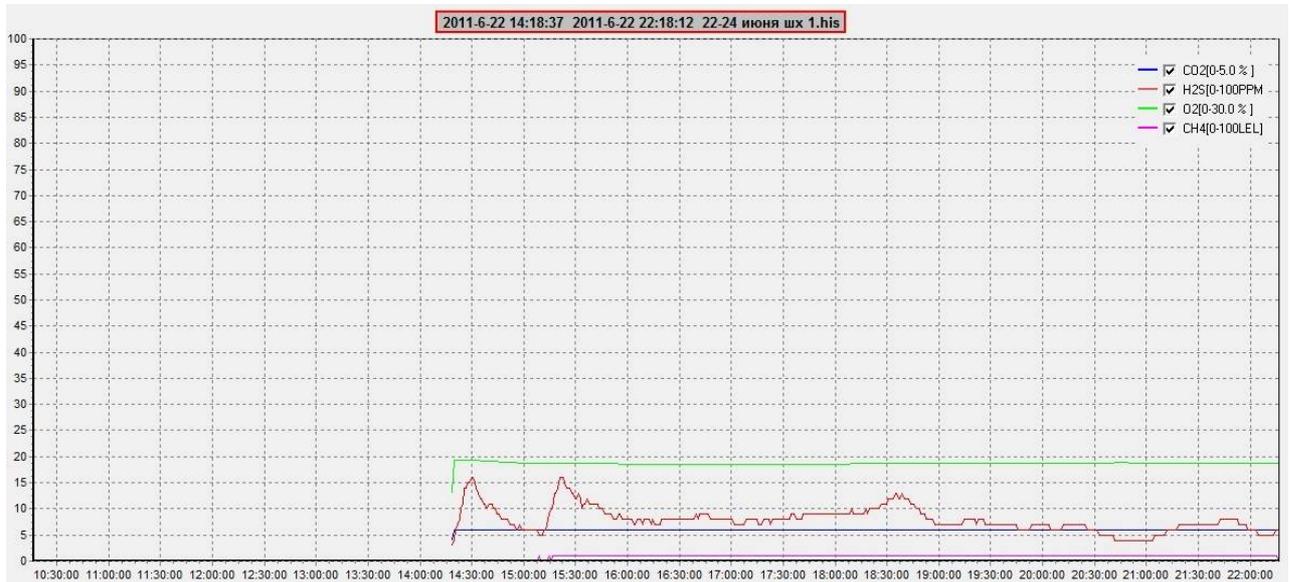
Изменение концентраций газов в период с 12:48:07 (07.06.2011) по 04:48:08 (09.06.2011).

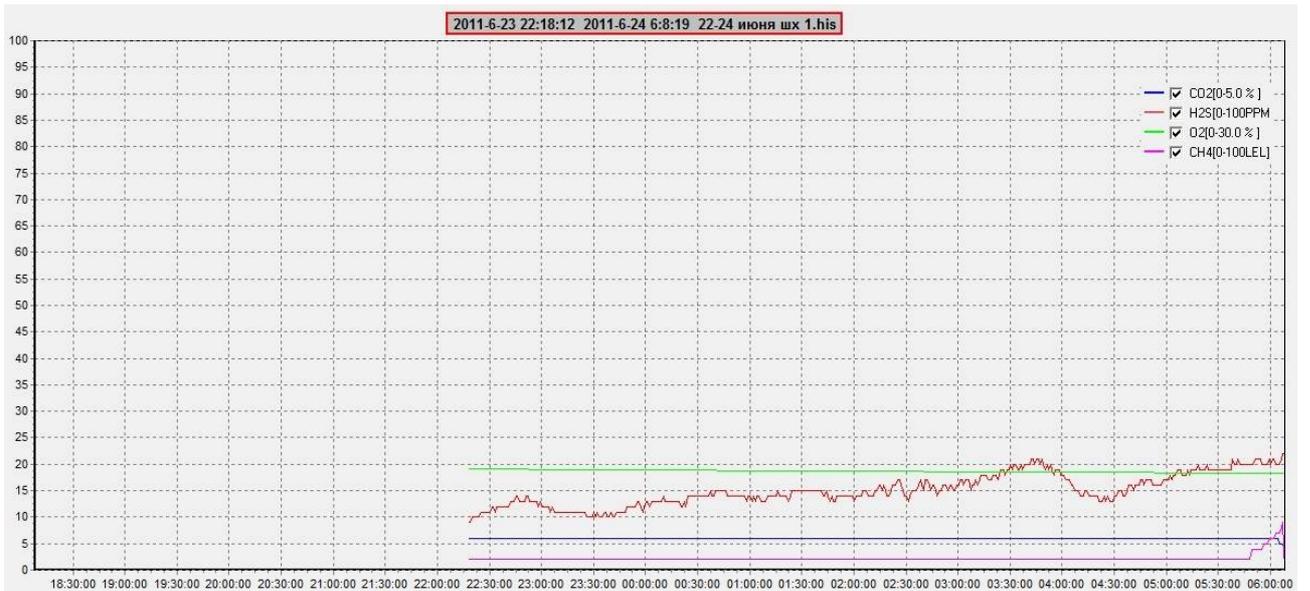
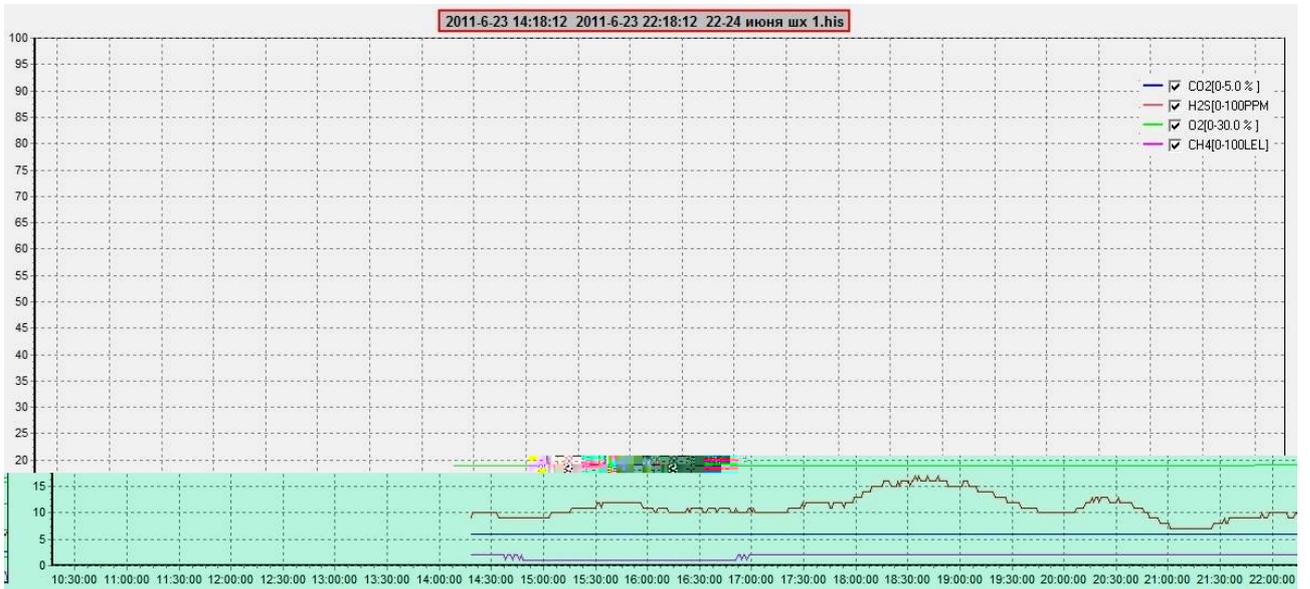
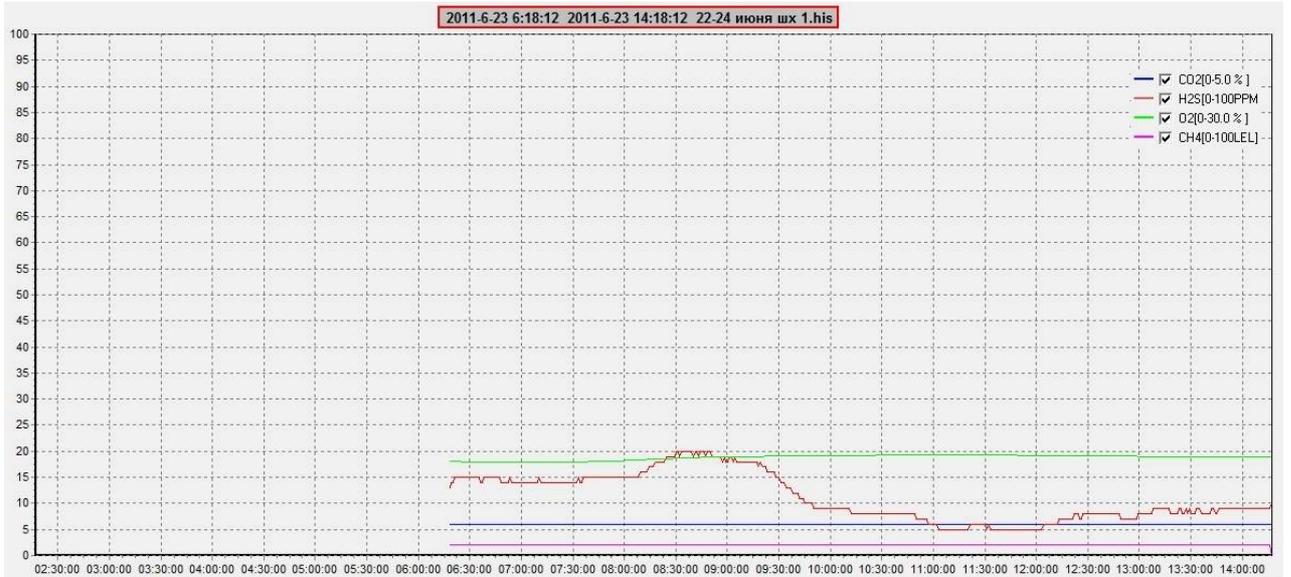




Шахта №1

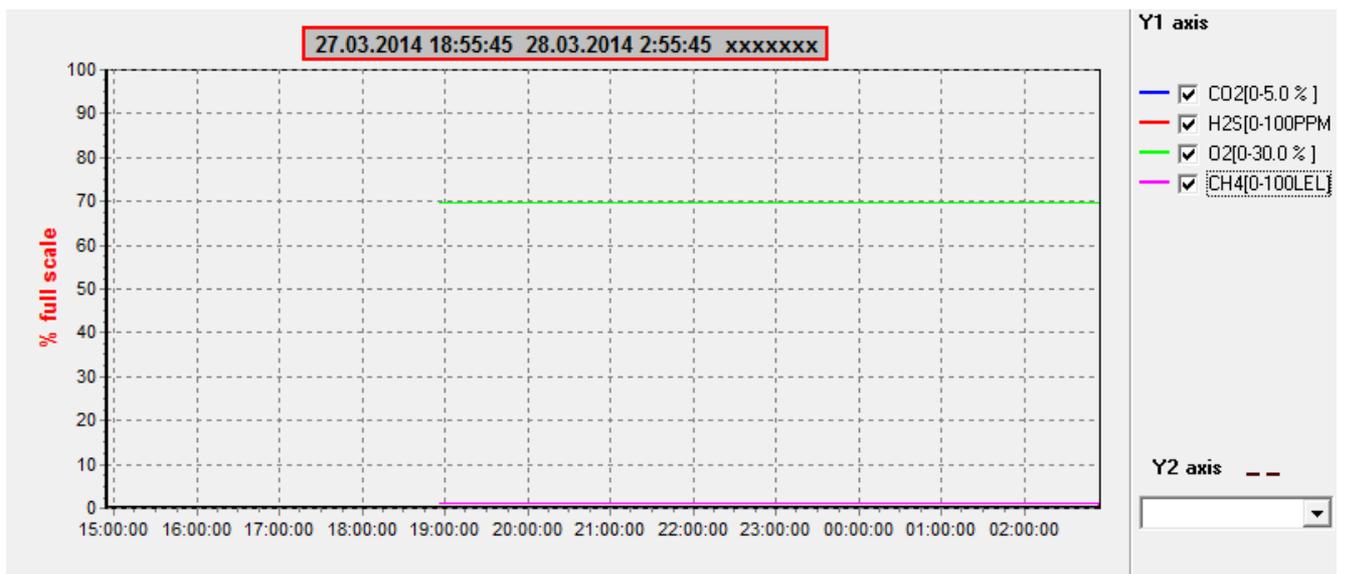
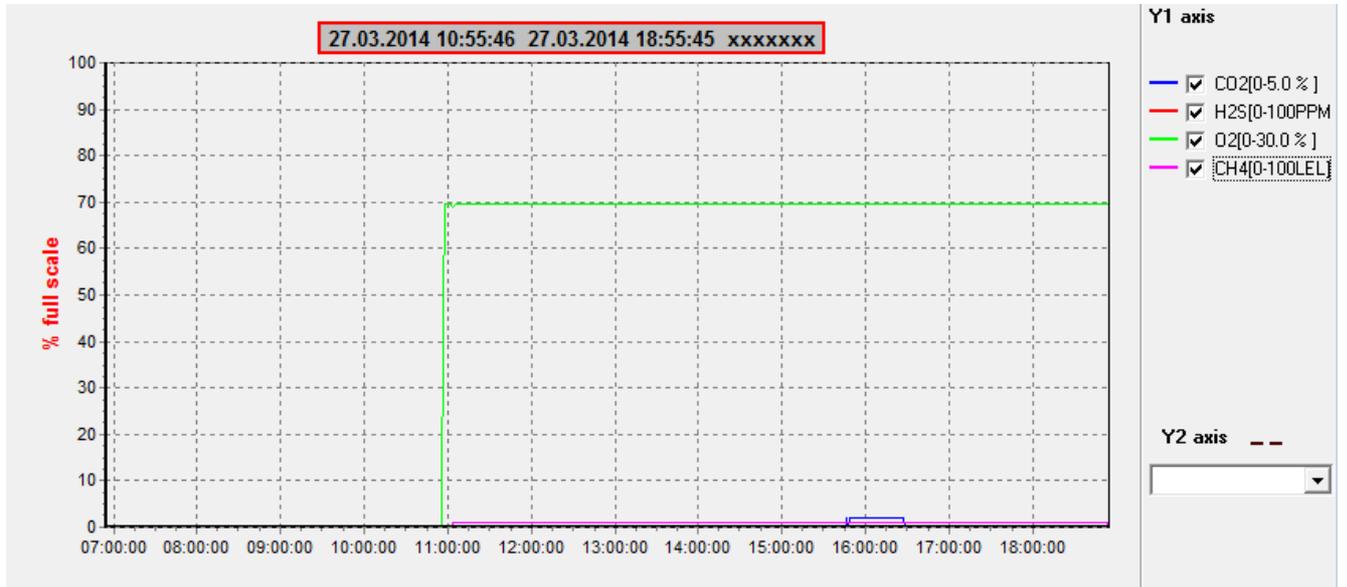
Изменение концентраций газов в период с 14:18:37 (22.06.2011) по 06:08:19 (24.06.2011).

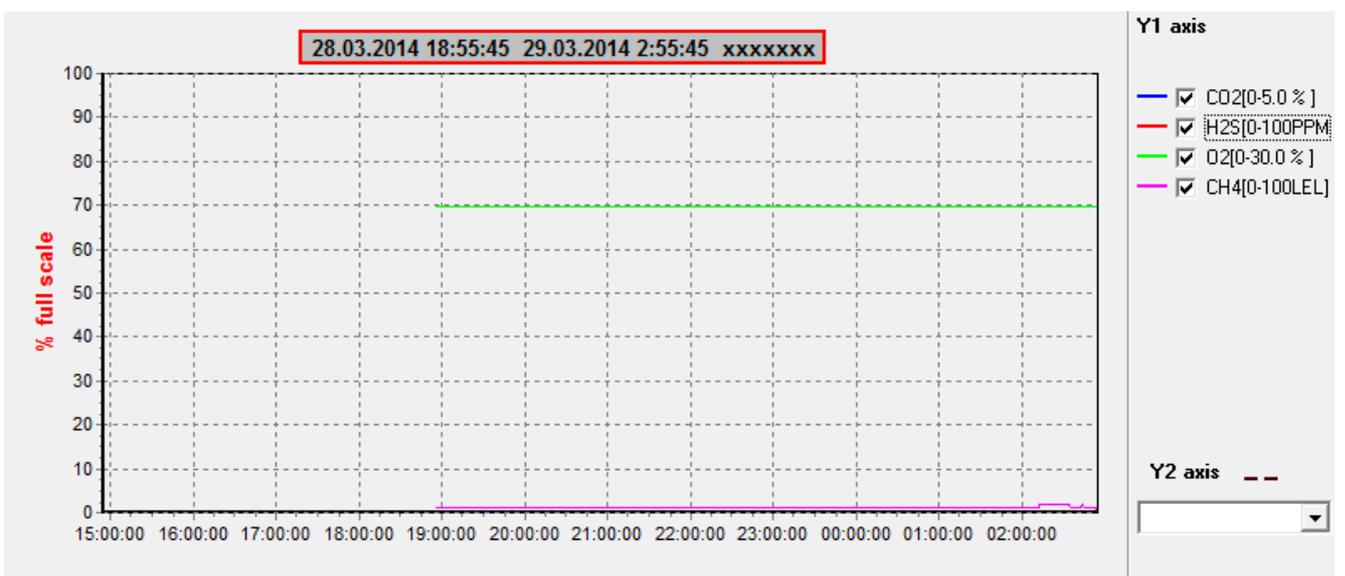
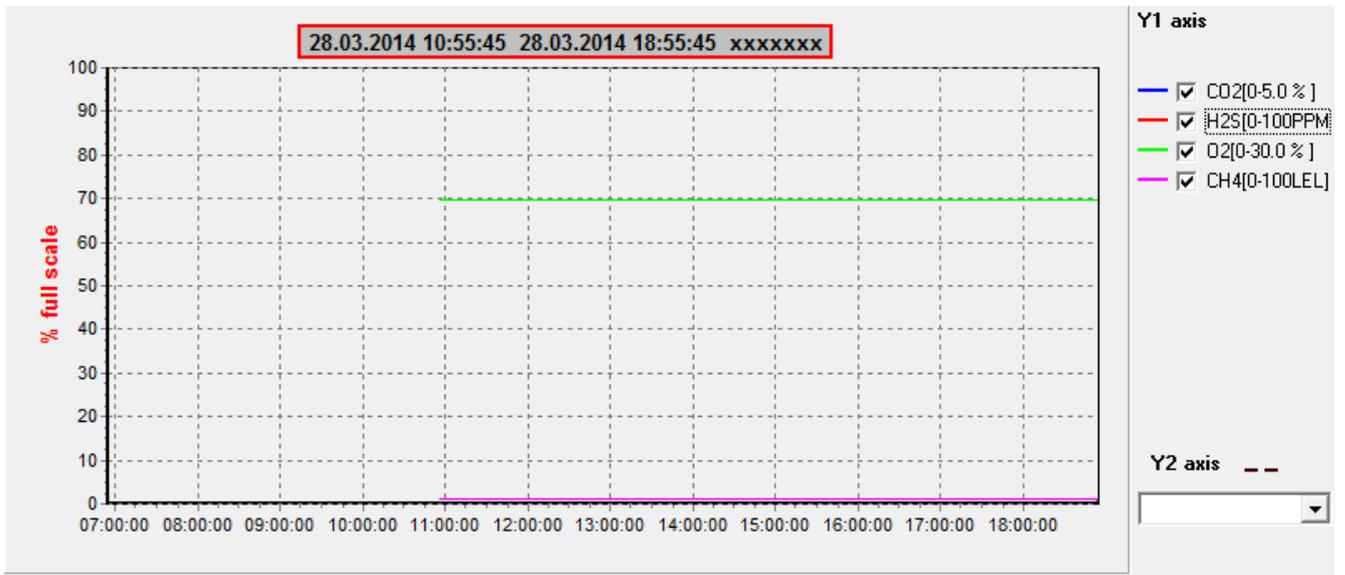
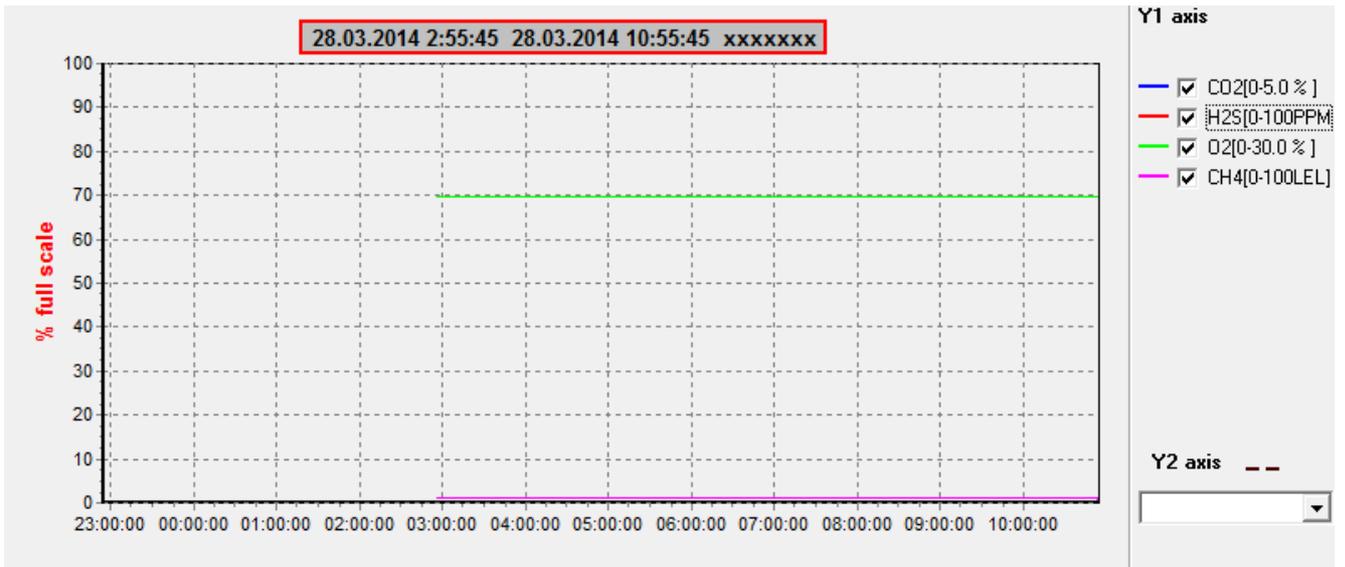


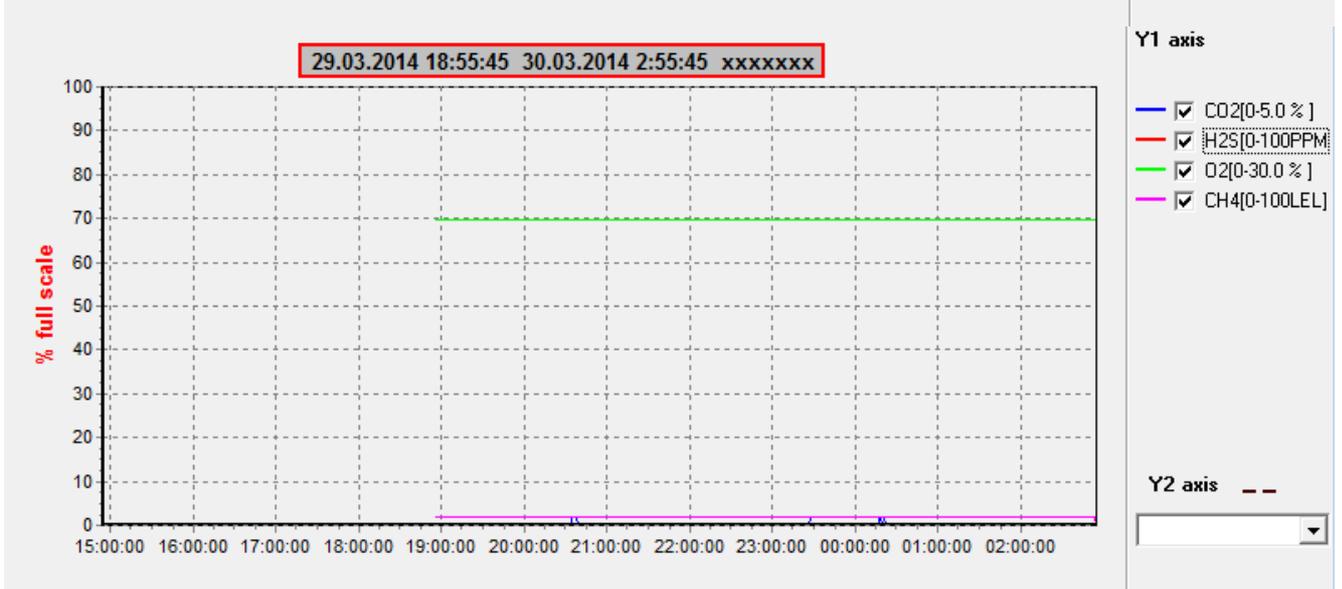
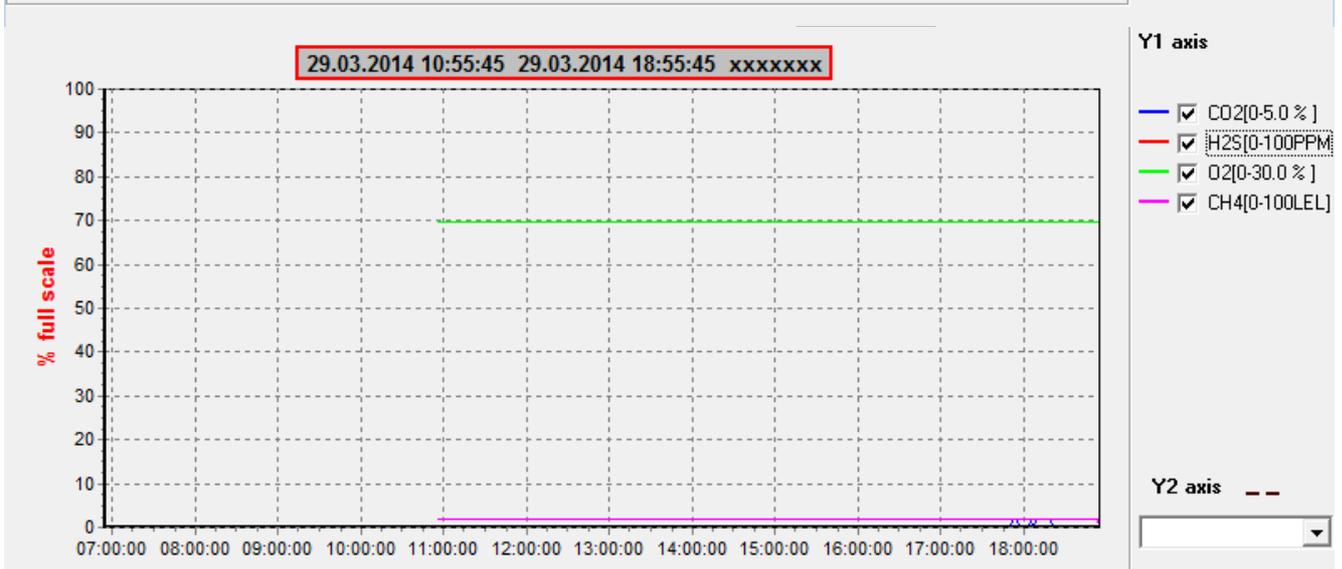
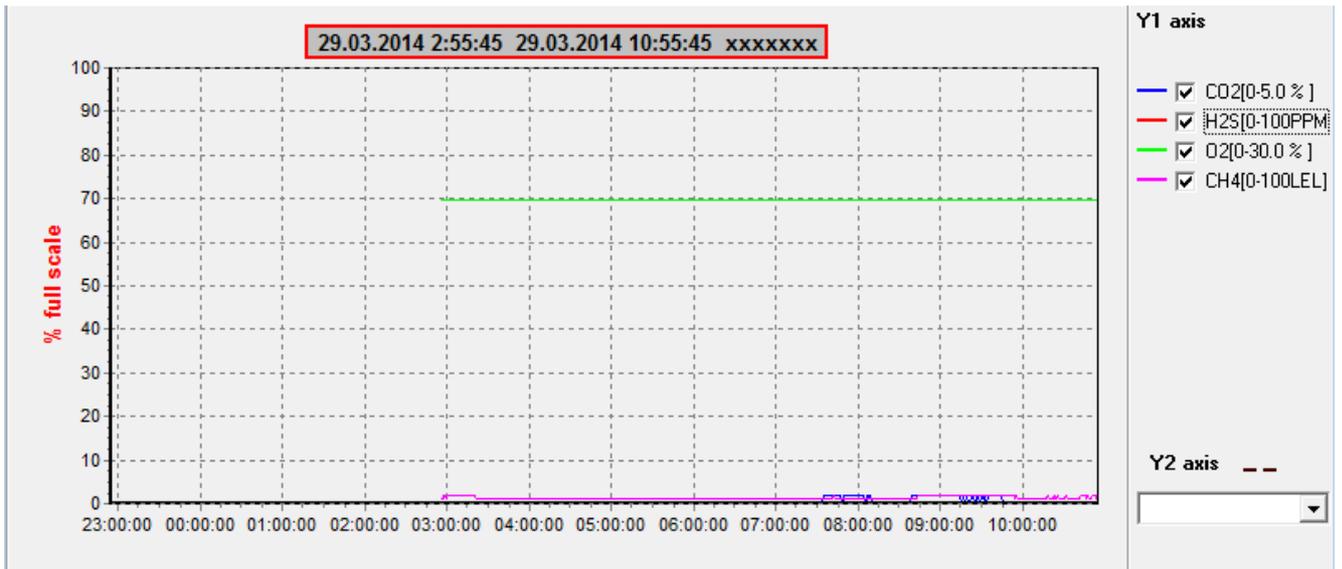


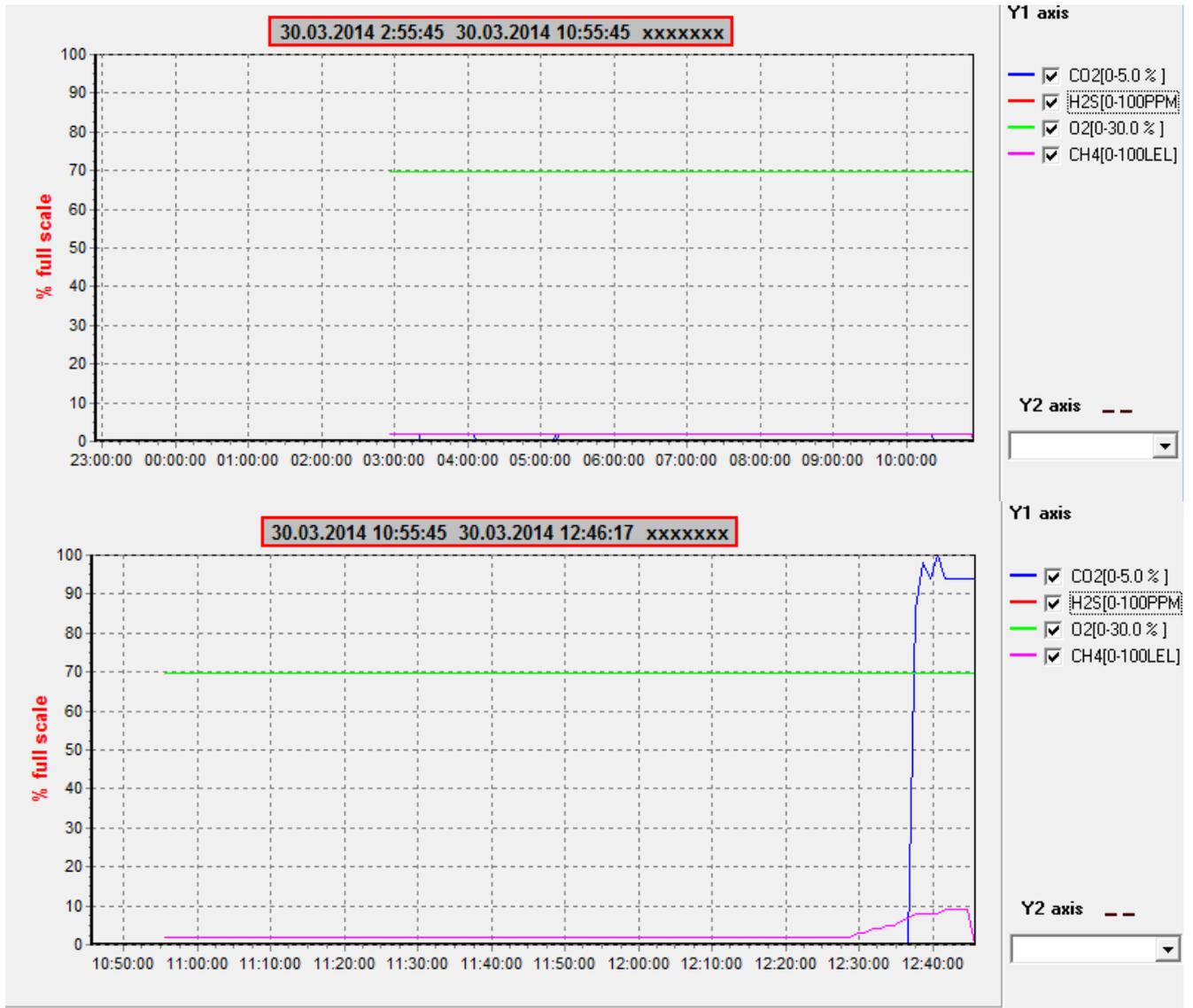
Шахта №123

I ОПЫТ. Изменение концентраций газов в период с 10:55:46 (27.03.2014) по 12:06:17 (30.03.2014)



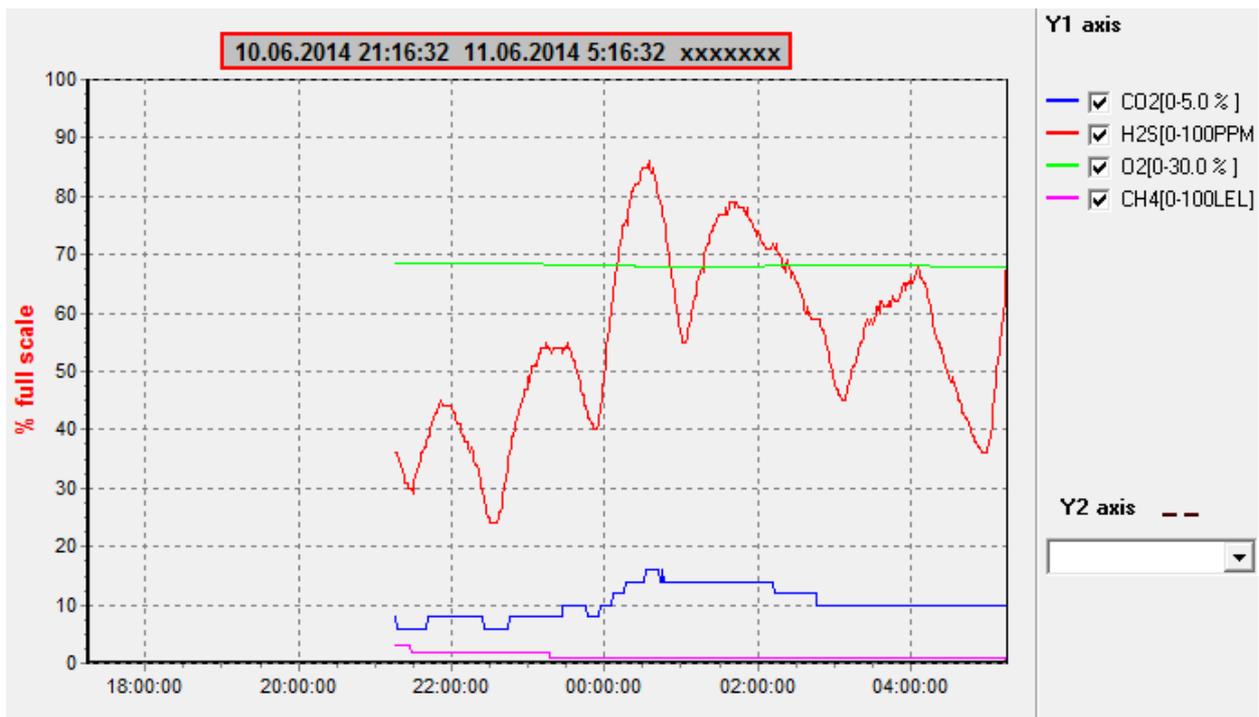
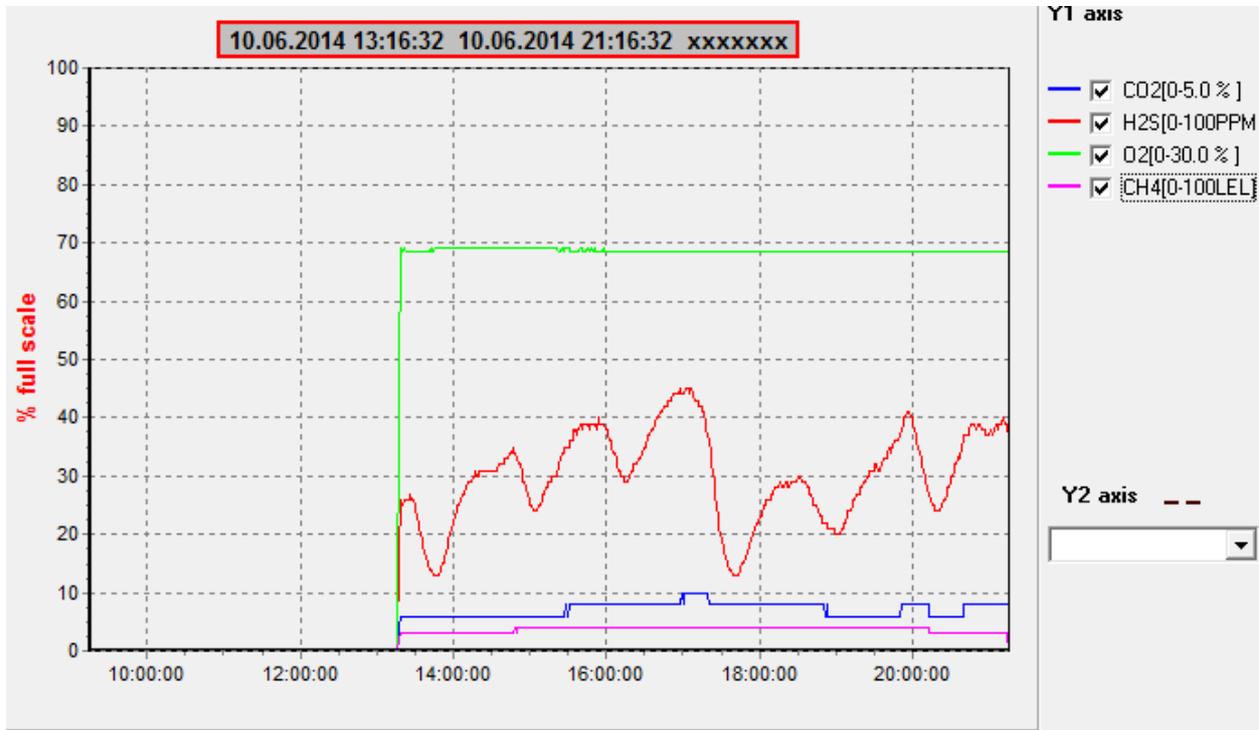


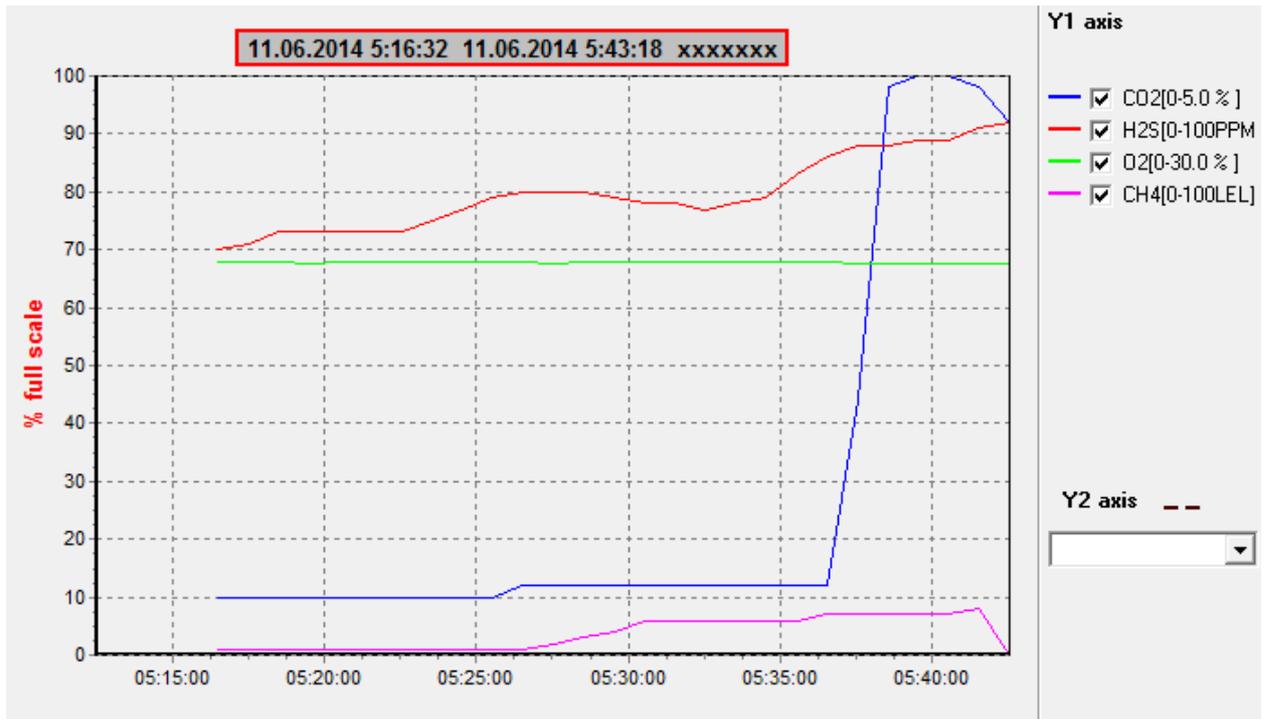




На представленных графиках красным цветом обозначен сероводород, синим – углекислый газ, фиолетовым – метан и зеленым – кислород.

II опыт Изменение концентраций газов в период с 13:16:32 (10.06.2014) по 5:43:18 (11.06.2014)

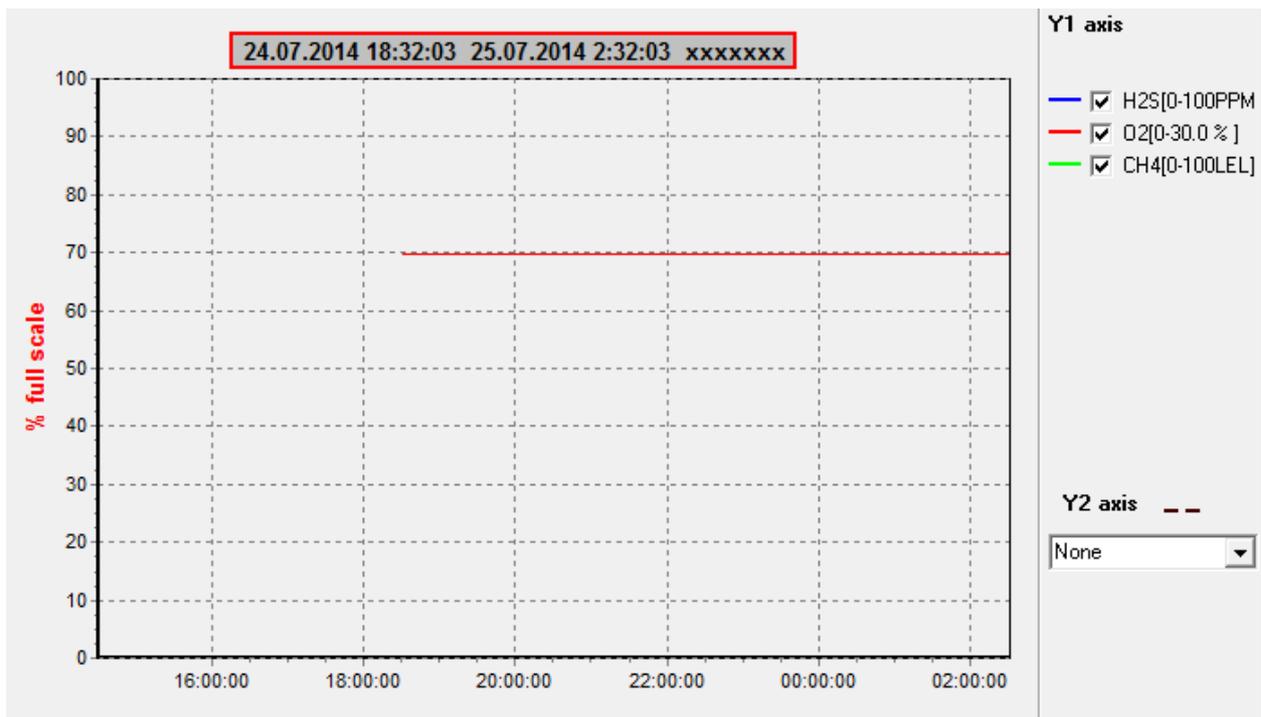
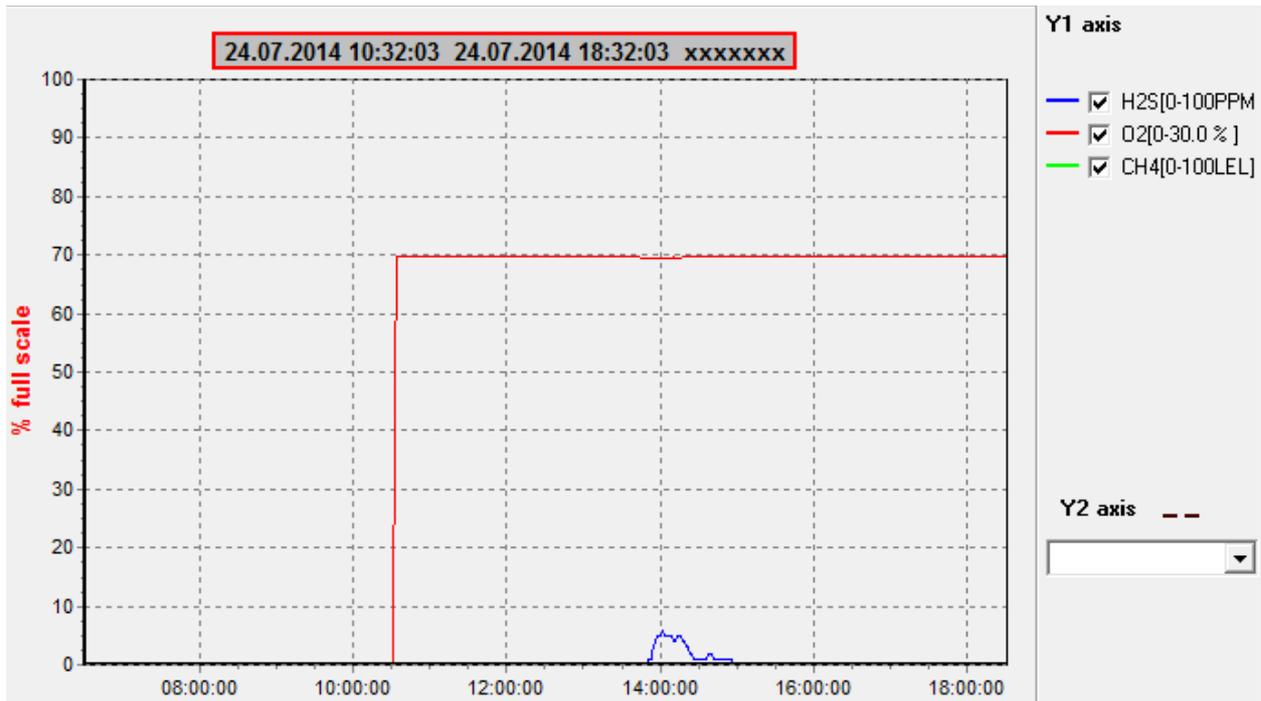


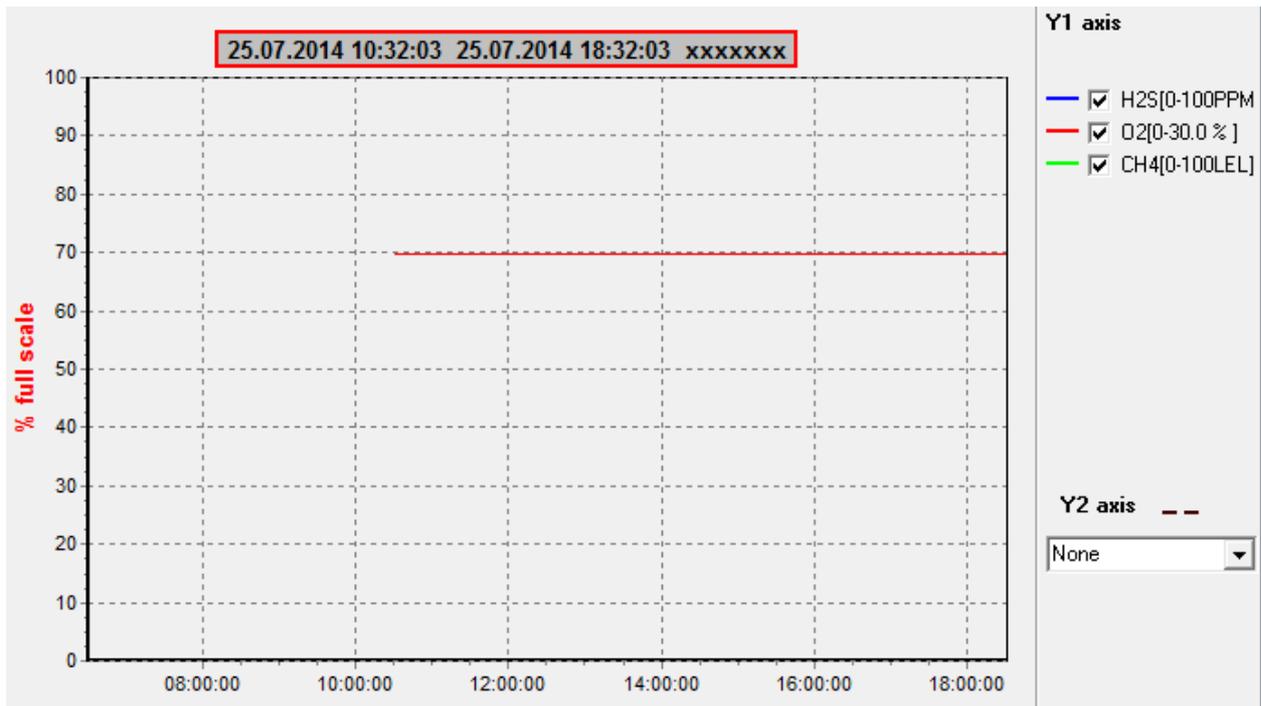
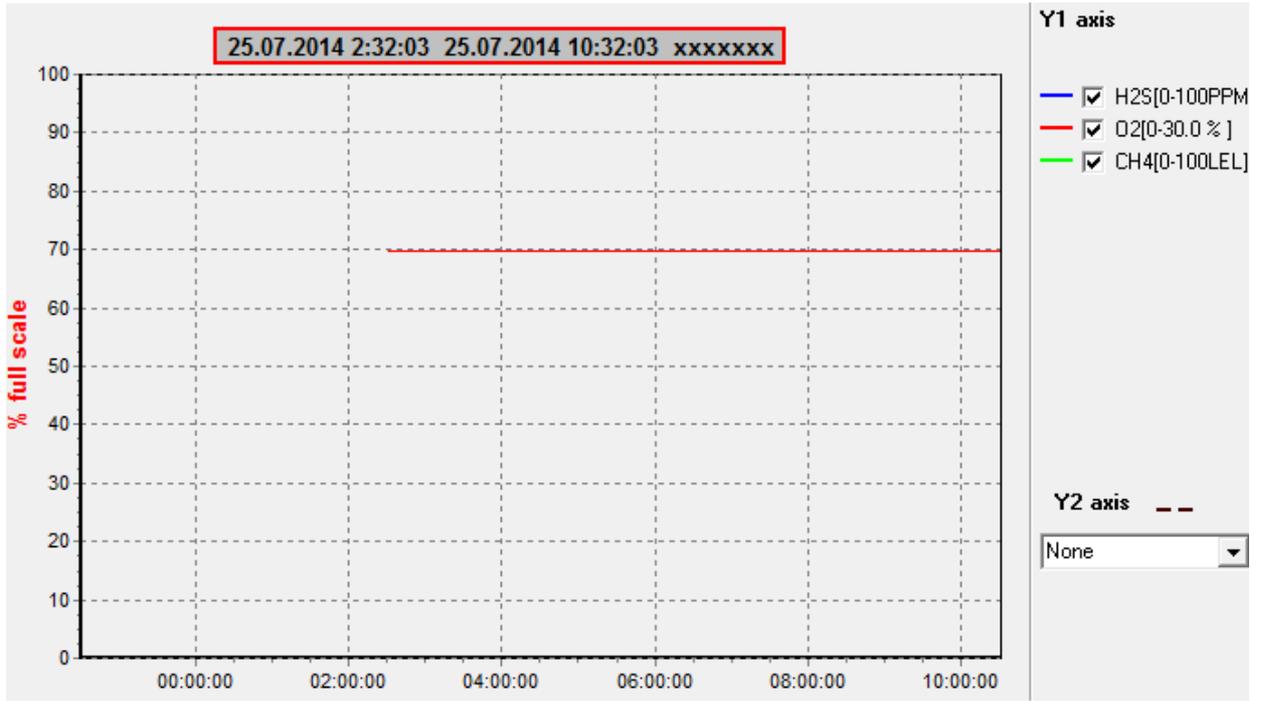


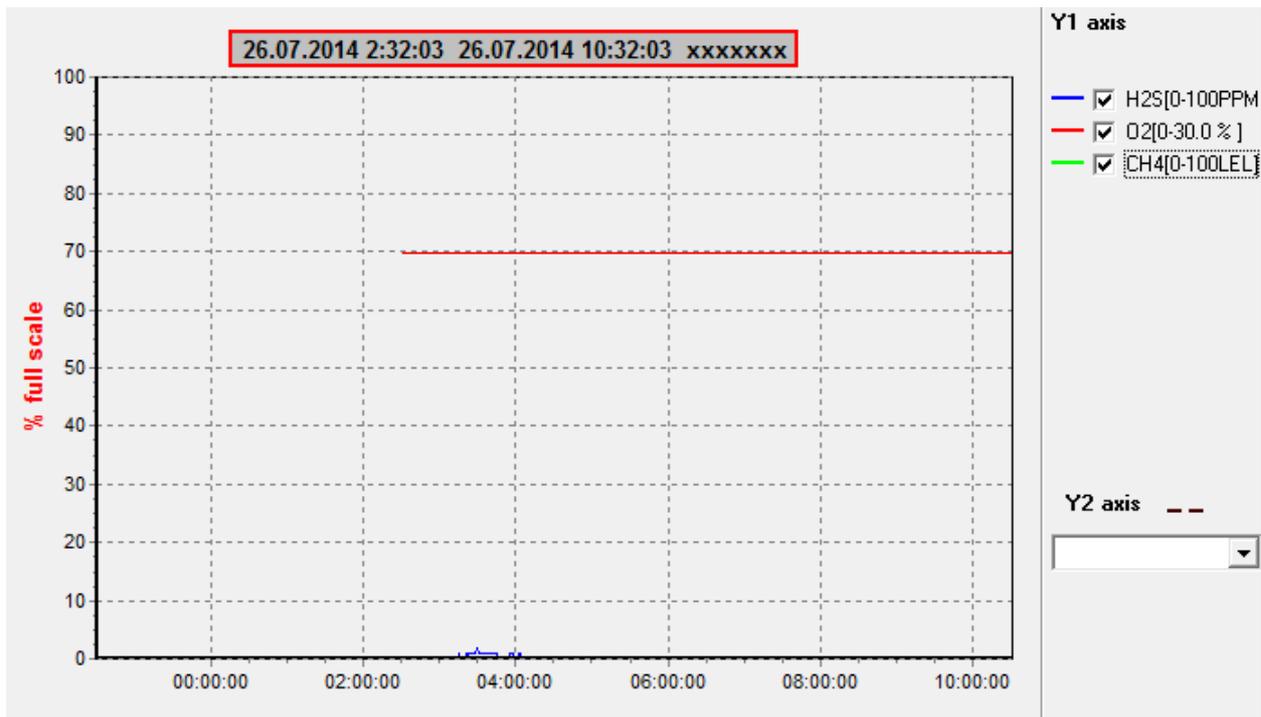
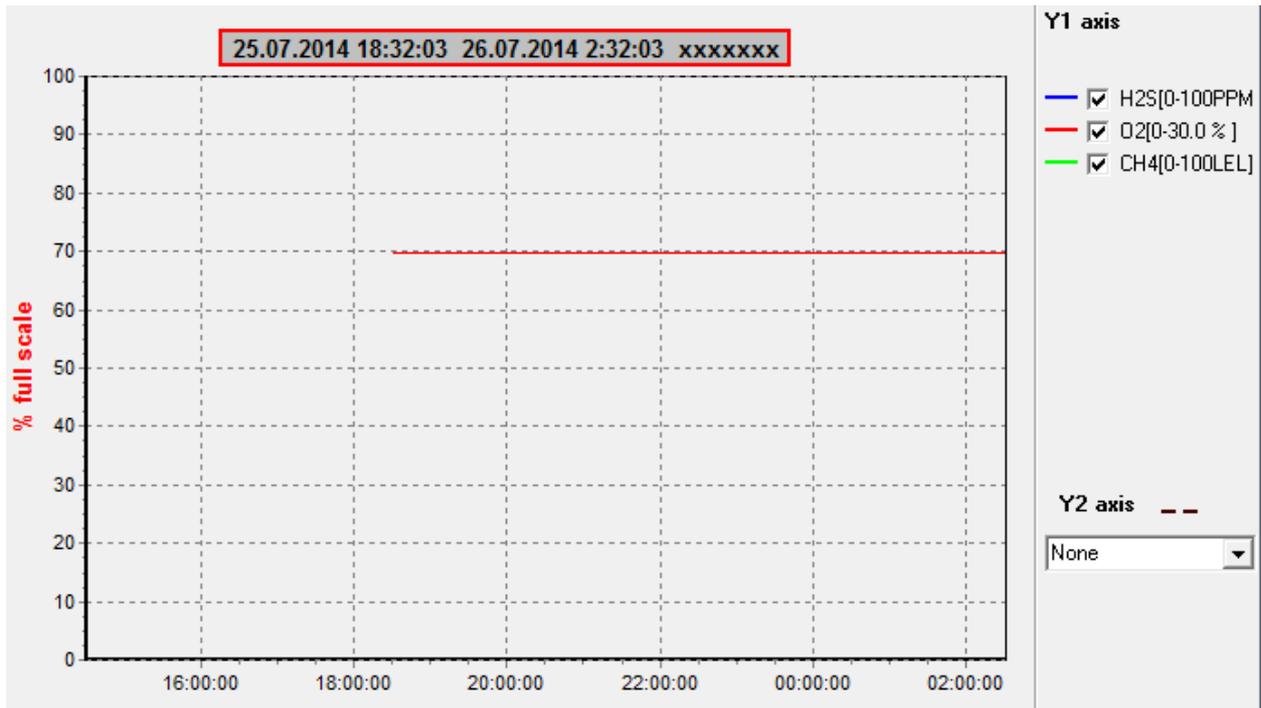
На представленных графиках красным цветом обозначен сероводород, синим – углекислый газ, фиолетовым – метан и зеленым – кислород.

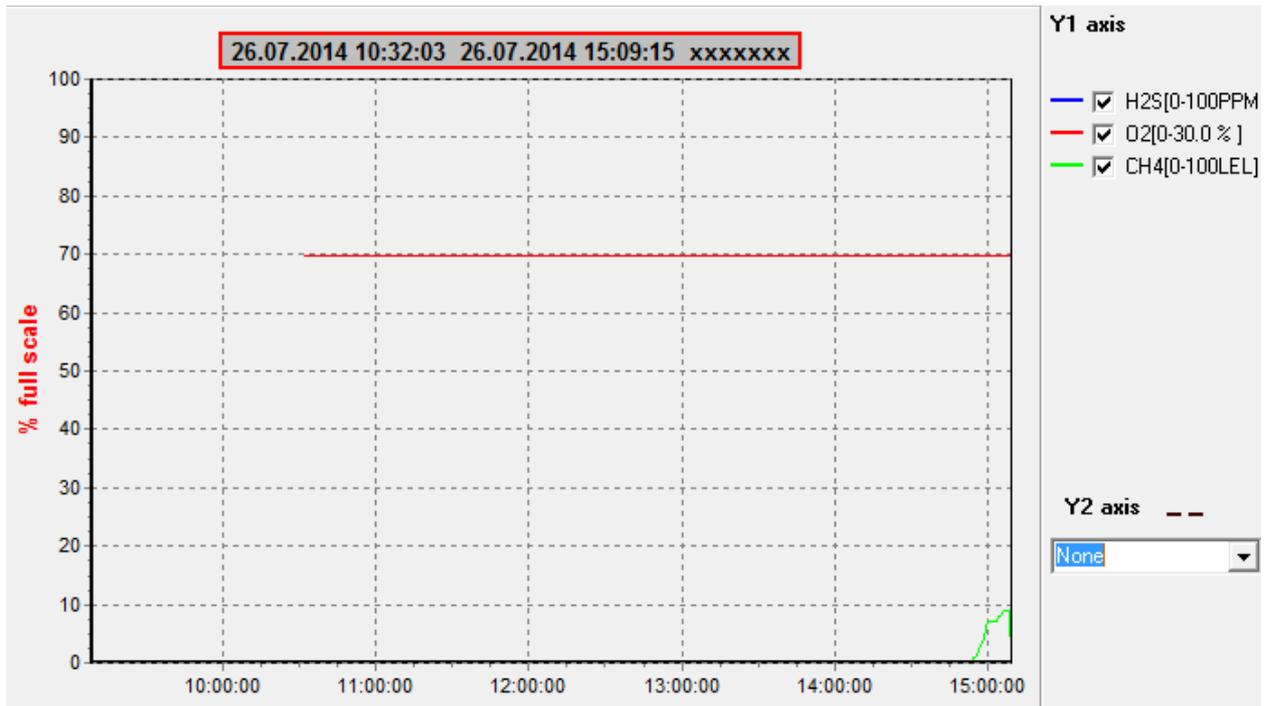
Шахта №122Б

Измерение концентраций газов в шахте №122А за период с 10.32.03 (24.07.2014) по 15:09:15 (26.07.2014)





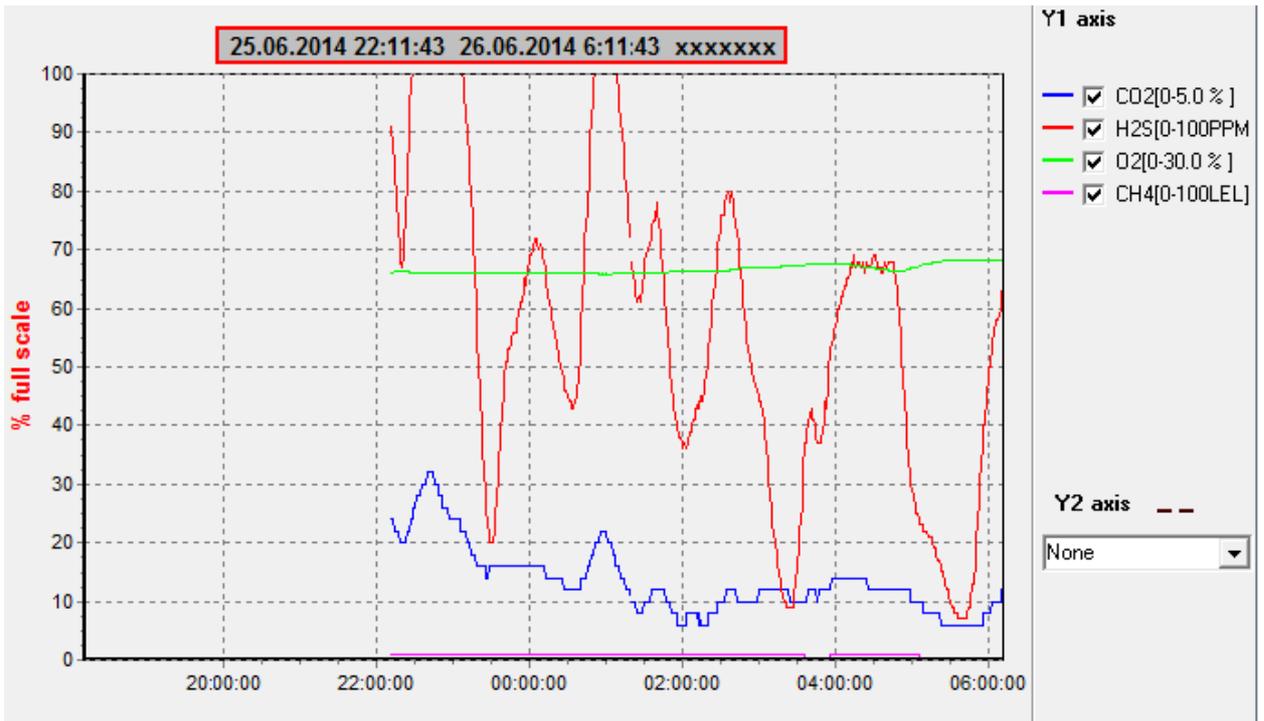
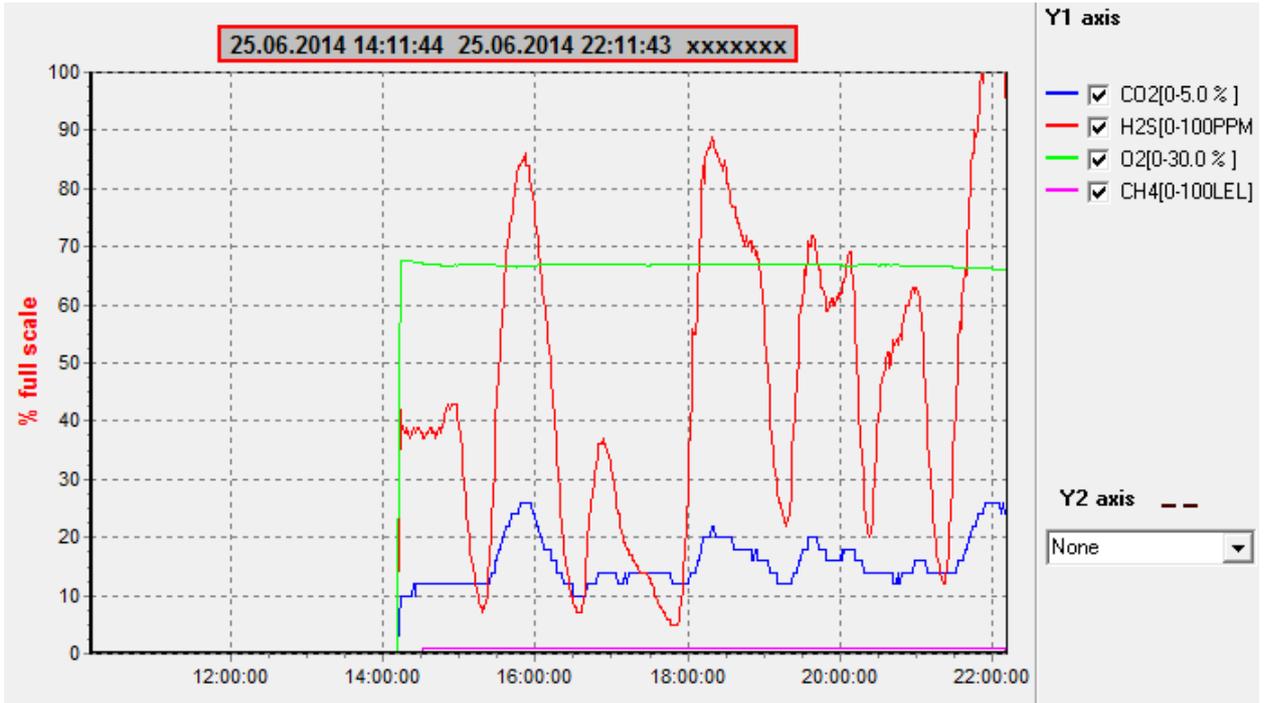


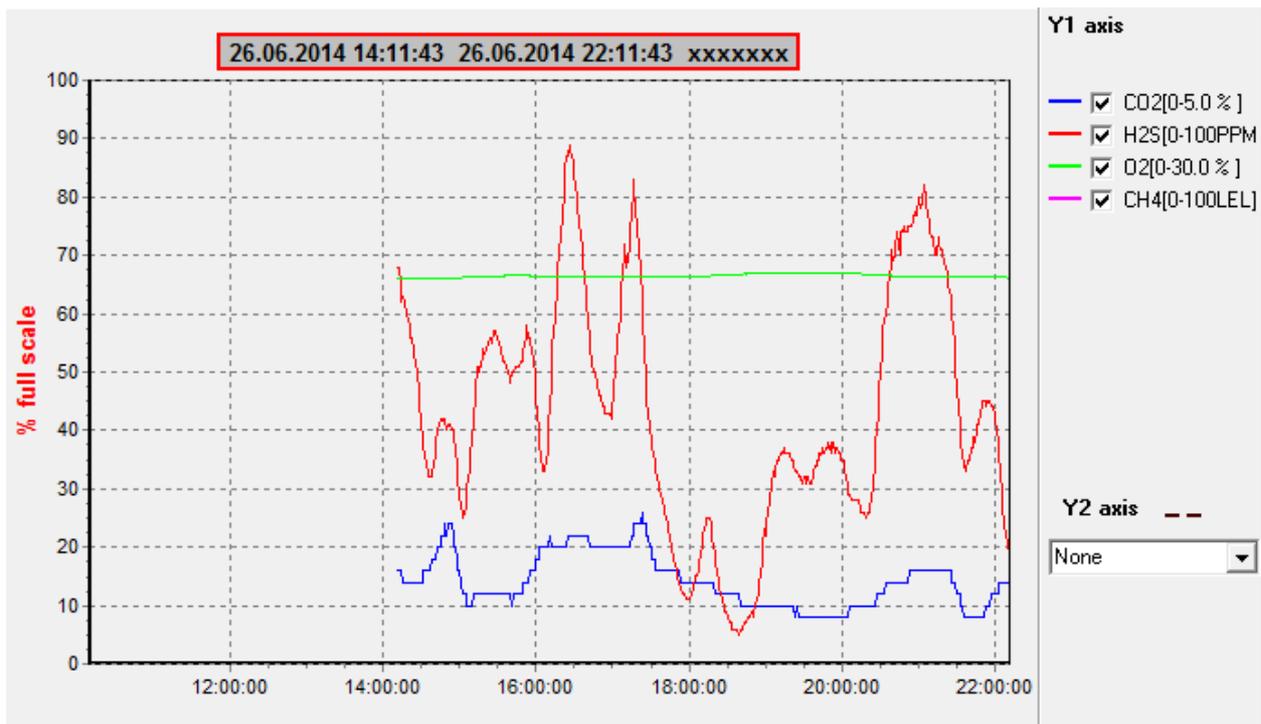
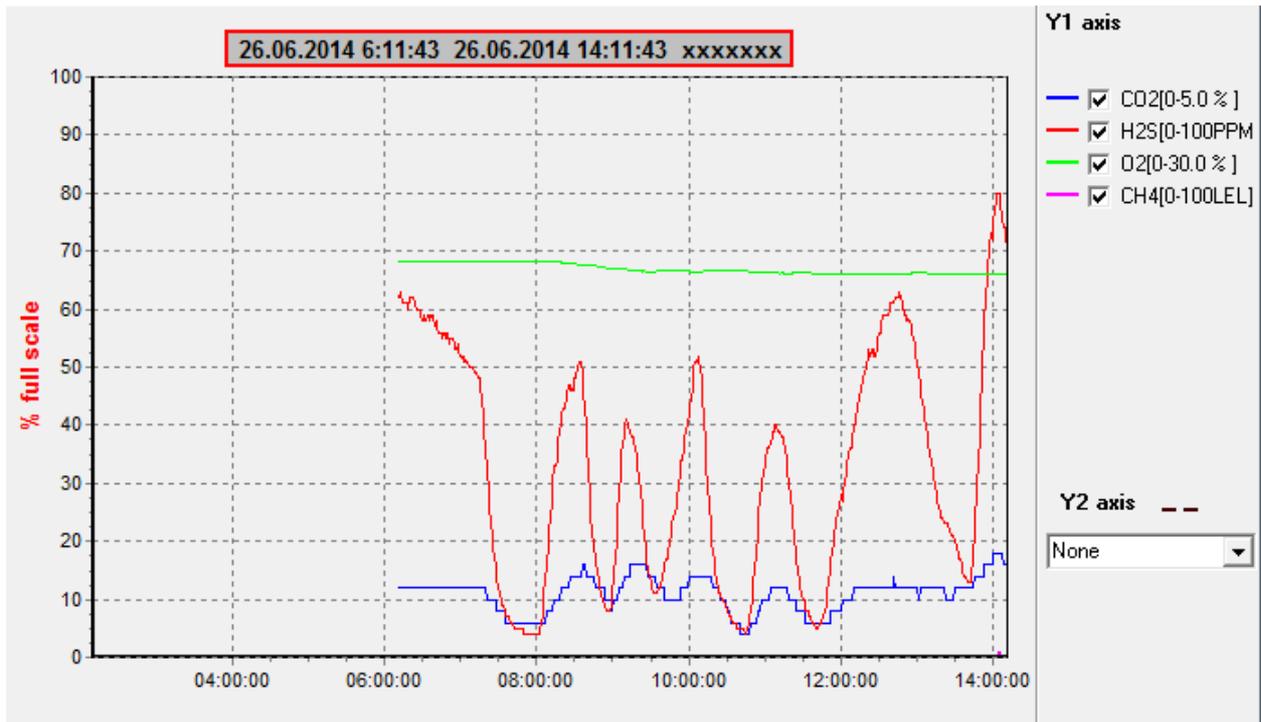


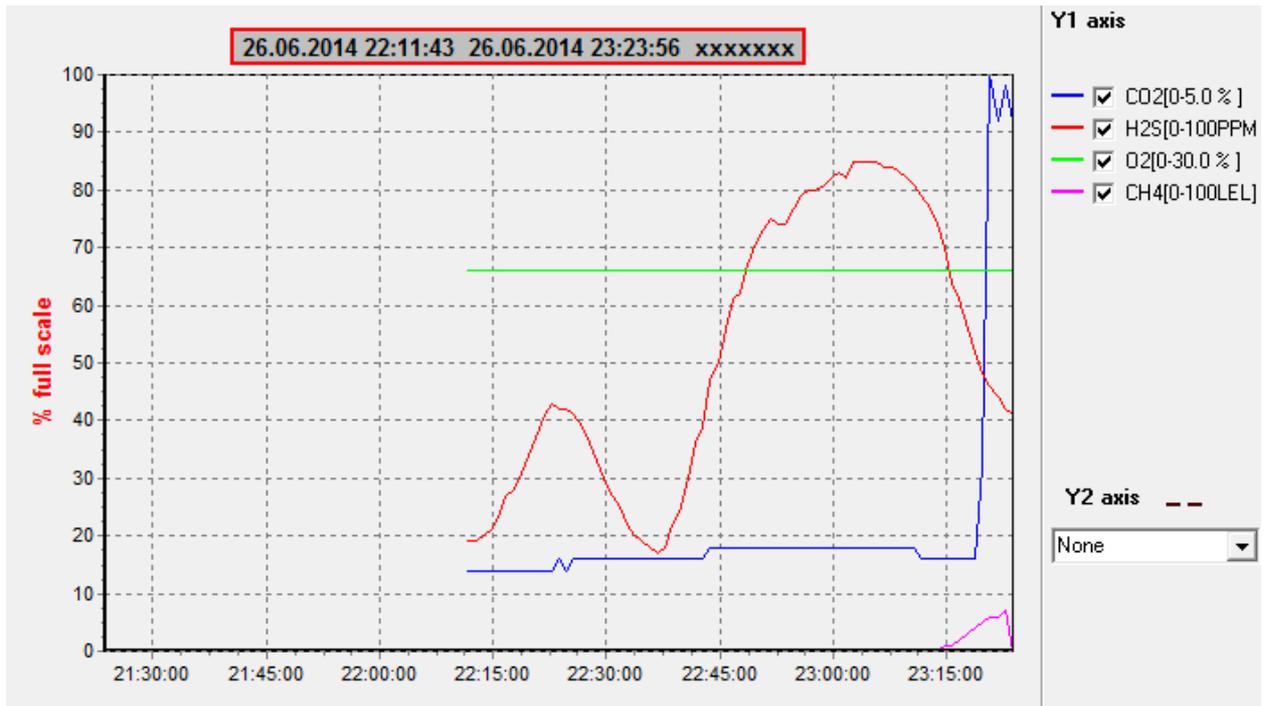
Примечание: в процессе выполнения опытов датчик по углекислому газу был отключен. Поэтому изменилось цветовое определение газов на графиках (H₂S – синий O₂ – красный, CH₄ – зеленый)

Шахта №122А

Измерение концентраций газов в шахте №122А за период с 14.11.44 (25.06.2014) по 23:23:56 (26.06.2014).







Показатели химического состава сточной жидкости, шахта №122Б, мг/л

Время измерений	рН, ед.	Взвешенные в-ва	Растворенные в-ва	ХПК	Растворенный кислород	БПК ₅	Фосфор		Азот				Нефтепродукты	Фенолы	АПАВ	Хлориды	Сульфаты	Железо
							Общий	Фосфатов	Общий	Аммонийный	Нитритов	Нитратов						
09:00	4,3	1120		510	5,3	300					0,014	0,120	1,50			89	810	52
10:00	6,5	230		280	2,9	95					0,011	0,041	1,60			86	140	14
11:00	6,3	280		140	4,2	69					0,010	0,066	0,10			93	190	40
12:00	3,9	890		550	5,2	320					0,010	0,220	0,96			89	590	60
13:00	6,1	680	870	510	2,2	270	5	0,066	48	25	0,010	0,310	3,00	0,018	1,8	86	190	70
14:00	6,3	480		470	4,8	270					0,010	0,100	2,10			82	160	34
15:00	6,1	880	890	520	2,5	280	2,8	0,099	45	18	0,010	0,300	1,40	0,018	2,8	86	310	72
16:00	6,7	87		140	4,3	36					0,010	0,083	1,90			86	98	24
17:00	6,4	400		410	2,9	200					0,010	0,130	2,20			86	180	16
18:00	4,7	1160		540	3,2	240					0,091	0,180	2,00			89	1200	36
ПДК	6,0-9,0	300		500		300	12		50				10	0,25	10	1000	300	3

ПРИЛОЖЕНИЕ В

1. Расчет концентраций кислорода воздуха на выходе из КГН в зависимости от массового расхода эжектируемого воздуха

Параметр		Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5	Пример 6	Пример 7
Размеры резервуара-гасителя:								
Длина	м	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Ширина	м	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Высота газожидкостного слоя в резервуаре-гасителе $h_{г.ж.}$	м	1,1	1,10	1,1	1,10	1,10	1,10	1,10
Массовый расход воды $G_{вод}$	кг/с	200	200	200	200	200	200	200
Расход сточной жидкости $Q_{вод}$	м ³ /с	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Массовый расход эжектируемого воздуха $G_{эж}$	кг/с	0,01	0,0150	0,02	0,0250	0,0300	0,035	0,040
Температура воды t (Т)	°С (К)	25 °С						
Концентрация кислорода в жидкой фазе $C_{вод}(O_2)$	мг/л	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воздухе $D_г$	м ² /с	$18,3 \cdot 10^{-5}$						
Коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воде $D_ж$	м ² /с	$2,31 \cdot 10^{-9}$						
Газонасыщение ϵ	доли ед.	0,765	0,765	0,765	0,765	0,765	0,765	0,765
Скорость газа в воздушной фазе $\omega_г$	м/с	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Высота слоя неаэрируемой жидкости в резервуаре-гасителе h_0	м	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Динамическая вязкость кислорода $\mu_г$	Па·с	$20,7 \cdot 10^{-6}$						
Динамическая вязкость воды $\mu_ж$	Па·с	$8,937 \cdot 10^{-4}$						
Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы $\beta_у$	м/с	84,36	84,36	84,36	84,36	84,36	84,36	84,36
Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы, выраженный в массовых единицах $\beta_г$	кг/м ² ·с	99,97	99,97	99,97	99,97	99,97	99,97	99,97
Площадь поверхности контакта фаз F	м ²	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131	4,131	9,792
Плотность распределения жидкости U	м ³ /м ² ·с	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,020
Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в м/с, $\beta_ж$	м/с	0,1024073	0,102407	0,1024073	0,1024073	0,102407	0,102407	0,06651552
Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в кг/м ² ·с, $\beta_ж$	кг/м ² ·с	102,20253	102,2025	102,20253	102,20253	102,2025	102,2025	66,3824923
Удельный расход поглотителя t		20000	13333,33	10000	8000	6666,667	5714,286	5000
Коэффициент массопередачи при абсорбции кислорода в резервуаре-гасителе камеры гашения напора $K_у$	кг/м ² ·с	0,0051	0,0077	0,0102	0,0128	0,0153	0,0179	0,0133
Количество кислорода, перенесенного из газовой фазы в жидкую M	кг/с * γ	0,0030	0,0045	0,0060	0,0075	0,0090	0,0105	0,0120
Степень извлечения компонента γ		0,7482	0,7101	0,6779	0,6503	0,6260	0,6045	0,6012
Средняя движущая сила массопередачи	кг/м ² ·с	0,1067	0,1013	0,0967	0,0927	0,0893	0,0862	0,0557
Концентрация растворенного кислорода на выходе с камеры $C_{вод2}(O_2)$	мг/л	1,68	2,27	2,75	3,17	3,52	3,83	4,32

2. Расчет концентраций кислорода воздуха на выходе из КГН в зависимости от газонасыщения

Параметр		Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5
Размеры резервуара-гасителя:						
Длина	м	1,5	1,50	1,50	1,50	1,50
Ширина	м	1,5	1,50	1,50	1,50	1,50
Высота газожидкостного слоя в резервуаре-гасителе $h_{г.ж.}$	м	1,1	1,10	1,10	1,10	1,10
Массовый расход воды $G_{вод}$	кг/с	825	825	825	825	825
Расход сточной жидкости $Q_{вод}$	м ³ /с	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827
Массовый расход эжектируемого воздуха $G_{эж}$	кг/с	0,09562	0,096	0,096	0,096	0,096
Температура воды t (Т)	°С (К)	25 °С				
Концентрация кислорода в жидкой фазе $C_{вод}(O_2)$	мг/л	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воздухе D_r	м ² /с	$18,3 \cdot 10^{-5}$				
Коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воде $D_ж$	м ² /с	$2,31 \cdot 10^{-9}$				
Газонасыщение ϵ	доли ед.	0,1	0,20	0,30	0,40	0,50
Скорость газа в воздушной фазе ω_r	м/с	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
Высота слоя неаэрируемой жидкости в резервуаре-гасителе h_0	м	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Динамическая вязкость кислорода μ_r	Па·с	$20,7 \cdot 10^{-6}$				
Динамическая вязкость воды $\mu_ж$	Па·с	$8,937 \cdot 10^{-4}$				
Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы β_u	м/с	267,92	189,45	154,68	133,96	119,82
Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы, выраженный в массовых единицах β_g	кг/м ² ·с	317,49	224,50	183,30	158,74	141,98
Площадь поверхности контакта фаз F	м ²	0,885	1,77	2,655	3,54	4,425
Плотность распределения жидкости U	м ³ /м ² ·с	0,934	0,467	0,311	0,234	0,187
Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в м/с, β_x	м/с	0,22989923	0,17242442	0,1505044	0,140784	0,13794
Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в кг/м ² ·с, $\beta_ж$	кг/м ² ·с	229,439429	172,079572	150,20336	140,50238	137,6637
Удельный расход поглотителя t		8627,90211	8627,90211	8627,9021	8627,9021	8627,902
Коэффициент массопередачи при абсорбции кислорода в резервуаре-гасителе камеры гашения напора K_u	кг/м ² ·с	0,0266	0,0199	0,0174	0,0163	0,0160
Количество кислорода, перенесенного из газовой фазы в жидкую M	кг/с * γ	0,0288	0,0288	0,0288	0,0288	0,0288
Степень извлечения компонента γ		0,1899	0,2566	0,3038	0,3413	0,3725
Средняя движущая сила массопередачи	кг/м ² ·с	0,2323	0,2092	0,1892	0,1704	0,1519
Концентрация растворенного кислорода на выходе с камеры $C_{вод2}(O_2)$	мг/л	1,03	1,89	2,64	3,33	3,97

Параметр		Пример 6	Пример 7	Пример 8	Пример 9
Размеры резервуара-гасителя:					
Длина	м	1,50	1,50	1,50	1,50
Ширина	м	1,50	1,50	1,50	1,50
Высота газожидкостного слоя в резервуаре-гасителе $h_{г.ж.}$	м	1,10	1,10	1,10	1,10
Массовый расход воды $G_{ж}$	кг/с	825	825	825	825
Расход сточной жидкости $Q_{ж}$	м ³ /с	0,827	0,827	0,827	0,827
Массовый расход эжектируемого воздуха $G_{эж}$	кг/с	0,096	0,096	0,096	0,096
Температура воды $t (T)$	°С (К)	25 °С	25 °С	25 °С	25 °С
Концентрация кислорода в жидкой фазе $C_{вод}(O_2)$	мг/л	0,00	0,00	0,00	0,00
Коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воздухе $D_{г}$	м ² /с	$18,3 \cdot 10^{-5}$	$18,3 \cdot 10^{-5}$	$18,3 \cdot 10^{-5}$	$18,3 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент молекулярной диффузии кислорода в воде $D_{ж}$	м ² /с	$2,31 \cdot 10^{-9}$	$2,31 \cdot 10^{-9}$	$2,31 \cdot 10^{-9}$	$2,31 \cdot 10^{-9}$
Газонасыщение ε	доли ед.	0,60	0,70	0,80	0,90
Скорость газа в воздушной фазе $\omega_{г}$	м/с	1,78	1,78	1,78	1,78
Высота слоя неаэрируемой жидкости в резервуаре-гасителе h_0	м	0,05	0,05	0,05	0,05
Динамическая вязкость кислорода $\mu_{г}$	Па·с	$20,7 \cdot 10^{-6}$	$20,7 \cdot 10^{-6}$	$20,7 \cdot 10^{-6}$	$20,7 \cdot 10^{-6}$
Динамическая вязкость воды $\mu_{ж}$	Па·с	$8,937 \cdot 10^{-4}$	$8,937 \cdot 10^{-4}$	$8,937 \cdot 10^{-4}$	$8,937 \cdot 10^{-4}$
Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы $\beta_{у}$	м/с	109,38	101,26	94,72	89,31
Коэффициент массоотдачи кислорода из газовой фазы, выраженный в массовых единицах $\beta_{г}$	кг/м ² ·с	129,61	120,00	112,25	105,83
Площадь поверхности контакта фаз F	м ²	5,31	6,195	7,08	7,965
Плотность распределения жидкости U	м ³ /м ² ·с	0,156	0,133	0,117	0,104
Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в м/с, $\beta_{х}$	м/с	0,140784	0,1505044	0,17242442	0,22989923
Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, выраженный в кг/м ² ·с, $\beta_{ж}$	кг/м ² ·с	140,50238	150,20336	172,079572	229,439429
Удельный расход поглотителя m		8627,9021	8627,9021	8627,90211	8627,90211
Коэффициент массопередачи при абсорбции кислорода в резервуаре-гасителе камеры гашения напора $K_{у}$	кг/м ² ·с	0,0163	0,0174	0,0199	0,0266
Количество кислорода, перенесенного из газовой фазы в жидкую M	кг/с * γ	0,0288	0,0288	0,0288	0,0288
Степень извлечения компонента γ		0,3991	0,4220	0,4408	0,4543
Средняя движущая сила массопередачи	кг/м ² ·с	0,1329	0,1126	0,0899	0,0617
Концентрация растворенного кислорода на выходе с камеры $C_{вод2}(O_2)$	мг/л	4,55	5,09	5,55	5,89

Господину Столбихину Ю.

ООО «Трубы ХОБАС»
199178, 19 линия, В.О.,
д.34, корп.1, лит.Б, оф.226
г. Санкт-Петербург
Телефон: +7(812) 448-31-15
Факс: +7(812) 448-31-16
e-mail:hobas.russia@hobas.com
www.hobas.ru



30.07. 2015 г.

Уважаемый господин Столбихин,
В ответ на Ваш запрос разрешите сделать Вам следующее предложение:

1. Описание материалов и цен.

“Трубы СС-GRP НОВАС”, в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 10467-2013, СТО 76255760-001-2009, ТУ изготовителя.

No	Наименование	Количество (метр)	Цена DDP Санкт-Петербург (ЕВРО/метр) с учетом НДС 18%	Общая стоимость DDP Санкт-Петербург (ЕВРО)
1	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 820 длина 6 м (метр)	96	331,21	31 795,71
2	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 1026 длина 6 м (метр)	48	517,68	24 848,76
3	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 1280 длина 6 м (метр)	24	757,78	18 186,75
4	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 1500 длина 6 м (метр)	12	990,30	11 883,65
5	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 20147 длина 6 м (метр)	12	1 872,05	22 464,57
1	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 820 длина 3 м (метр)	96	377,67	36 256,40
2	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 1026 длина 3 м (метр)	48	574,70	27 585,69
3	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 1280 длина 3 м (метр)	24	829,28	19 902,84
4	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 1500 длина 3 м (метр)	12	1 097,76	13 173,09
5	Трубы ХОБАС (с муфтой FWC) PN 1, SN 10.000 N/m ² DA 20147 длина 3 м (метр)	12	2 032,97	24 395,59

2. Транспорт, упаковка

Для упомянутого количества труб, фасонных частей

Стоимость упаковки

включена

Транспорт - автотранспорт (DDP Санкт-Петербург, Инкотермс 2010)

включен

3. Таможенные пошлины

Импортная пошлина

включена

Р/с 40702810701102091692
в Петербургском филиале
ЗАО КОММЕРЦБАНК (Евразия) г.Санкт-Петербург
Кор/счет 30101810500000000734
БИК 044030734

Р/с 40702810200022184671
в Петербургском филиале
ЗАО ЮниКредит Банк г.Санкт-Петербург
Кор/счет 30101810800000000858
БИК 044030858

ИНН 7810027772
КПП 780101001
ОКПО 76255760
ОГРН 1057810352775

4. Срок изготовления и поставки

По согласованному графику.

5. Время действия предложения

Данное предложение действует до конца 2015 г.

Оплата в рублях по курсу ЦБ РФ на день оплаты.

С уважением,

Генеральный директор



Еременко Дмитрий Борисович

Р/с 40702810701102091692
в Петербургском филиале
ЗАО КОММЕРЦБАНК (Евразия) г.Санкт-Петербург
Кор/счет 30101810500000000734
БИК 044030734

Р/с 40702810200022184671
в Петербургском филиале
ЗАО ЮниКредит Банк г.Санкт-Петербург
Кор/счет 30101810800000000858
БИК 044030858

ИНН 7810027772
КПП 780101001
ОКПО 76255760
ОГРН 1057810352775



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **124 909** (13) **U1**(51) МПК
B03F 5/00 (2006.01)
B03B 11/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2012113158/13, 05.04.2012**(24) Дата начала отчета срока действия патента:
05.04.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **05.04.2012**(45) Опубликовано: **20.02.2013** Бюл. № 5

Адрес для переписки:

**191186, Санкт-Петербург, ул. Большая
Копышная, 27, Бизнес центр "Медведь",
оф.406, ЗАО "АКВАПАТЕНТ",
генеральному директору С.В. Мурашеву**

(72) Автор(ы):

**Мурашев Сергей Владимирович (RU).
Ромодин Кирилл Михайлович (RU).
Васильев Виктор Михайлович (RU).
Столбихин Юрий Вячеславович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

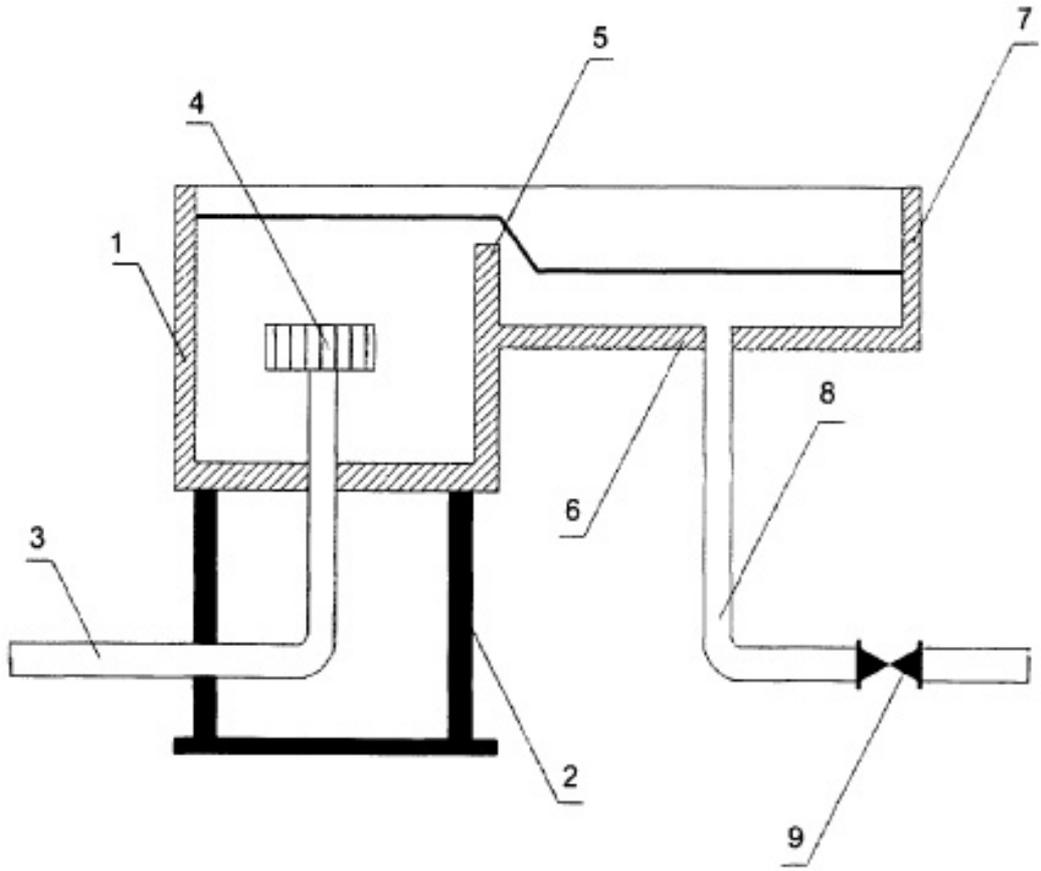
**Закрытое акционерное общество "Центр
исследований и интеллектуальной
собственности "АКВАПАТЕНТ" (RU).
Общество с ограниченной
ответственностью "Группа компаний
"Инженерные экосистемы" (RU)**(54) **ПРИЕМНАЯ КАМЕРА ГАШЕНИЯ**

(57) Формула полезной модели

Приемная камера гашения, состоящая из установленной на опоре приемной камеры, вмонтированного в дно подводящего трубопровода и встроенного в приемную камеру отводящего лотка, отличающаяся тем, что в ее состав включены рассеиватель потока, неподвижная заглушка отводящего лотка, отводящий трубопровод с регулирующей задвижкой, а стенка приемной камеры со стороны отводящего лотка выполнена с меньшей высотой.

RU 1 2 4 9 0 9 U 1

RU 1 2 4 9 0 9 U 1



RU 124909 U1

RU 124909 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 124703

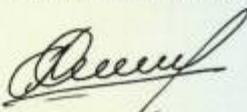
ПРИЕМНАЯ КАМЕРА ГАШЕНИЯ

Патентообладатель(ли): *Закрытое акционерное общество "Центр исследований и интеллектуальной собственности "АКВАПАТЕНТ" (RU), Общество с ограниченной ответственностью "Группа компаний "Инженерные экосистемы" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № **2012113157**
Приоритет полезной модели **05 апреля 2012 г.**
Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **10 февраля 2013 г.**
Срок действия патента истекает **05 апреля 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*


Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **124 703** (13) **U1**(51) МПК
B03F 5/00 (2006.01)
B03B 11/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2012113157/13, 05.04.2012**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.04.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **05.04.2012**(45) Опубликовано: **10.02.2013** Бюл. № 4

Адрес для переписки:

**191186, Санкт-Петербург, ул. Большая
Копышенная, 27, Бизнес центр "Медведь",
оф.406, ЗАО "АКВАПАТЕНТ",
генеральному директору С.В. Мурашеву**

(72) Автор(ы):

**Мурашев Сергей Владимирович (RU).
Ромодин Кирилл Михайлович (RU).
Васильев Виктор Михайлович (RU).
Столбихин Юрий Вячеславович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

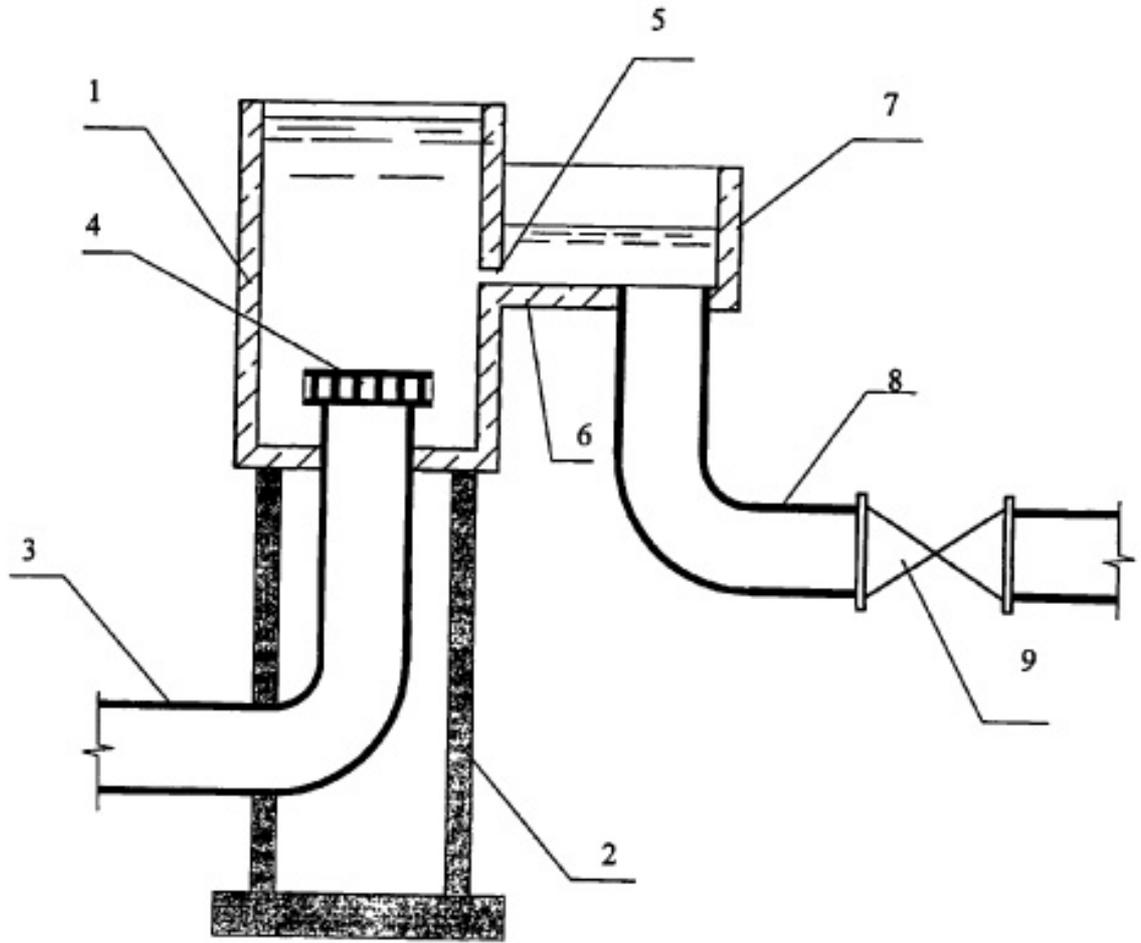
**Закрытое акционерное общество "Центр
исследований и интеллектуальной
собственности "АКВАПАТЕНТ" (RU).
Общество с ограниченной
ответственностью "Группа компаний
"Инженерные экосистемы" (RU)**(54) **ПРИЕМНАЯ КАМЕРА ГАШЕНИЯ**

(57) Формула полезной модели

Приемная камера гашения, состоящая из установленной на опоре приемной камеры, вмонтированного в дно подводящего трубопровода и встроенного в приемную камеру отводящего лотка, отличающаяся тем, что в ее состав включены рассеиватель потока, неподвижная заглушка отводящего лотка, отводящий трубопровод с установленной на нем регулирующей задвижкой, причем стенка приемной камеры со стороны отводящего лотка имеет щелевое отверстие, совпадающее с отметкой дна отводящего лотка.

RU 1 2 4 7 0 3 U 1

RU 1 2 4 7 0 3 U 1



RU 1 2 4 7 0 3 U 1

RU 1 2 4 7 0 3 U 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 124704

ПРИЕМНАЯ КАМЕРА ГАШЕНИЯ

Патентообладатель(ли): *Закрытое акционерное общество "Центр исследований и интеллектуальной собственности "АКВАПАТЕНТ" (RU), Общество с ограниченной ответственностью "Группа компаний "Инженерные экосистемы" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012113160

Приоритет полезной модели 05 апреля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 февраля 2013 г.

Срок действия патента истекает 05 апреля 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.Л. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **124 704** (13) **U1**(51) МПК
B03F 5/00 (2006.01)
B03B 11/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2012113160/13, 05.04.2012**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.04.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **05.04.2012**(45) Опубликовано: **10.02.2013** Бюл. № 4

Адрес для переписки:

**191186, Санкт-Петербург, ул. Большая
Копытенная, 27, Бизнес центр "Медведь",
оф.406, ЗАО "АКВАПАТЕНТ",
генеральному директору С.В. Мурашеву**

(72) Автор(ы):

**Мурашев Сергей Владимирович (RU).
Ромодин Кирилл Михайлович (RU).
Васильев Виктор Михайлович (RU).
Столбихин Юрий Вячеславович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

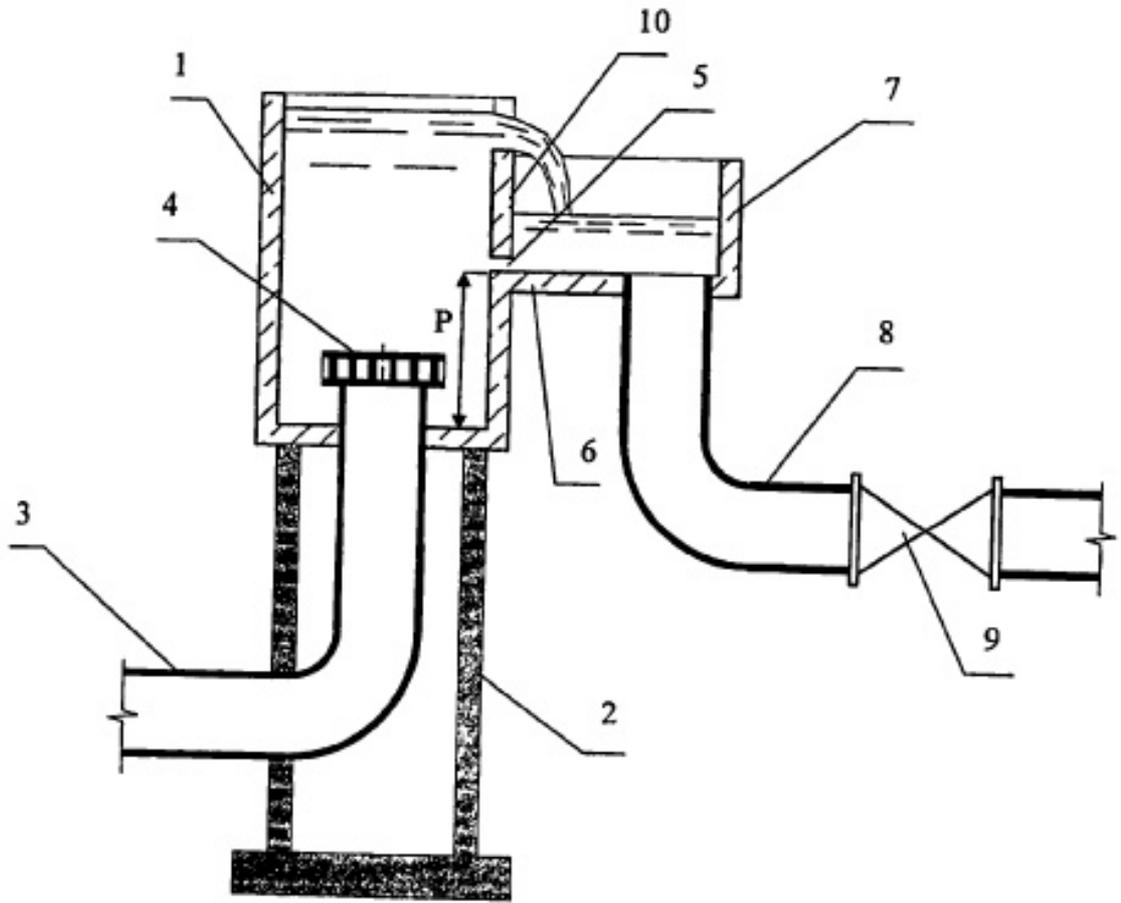
**Закрытое акционерное общество "Центр
исследований и интеллектуальной
собственности "АКВАПАТЕНТ" (RU).
Общество с ограниченной
ответственностью "Группа компаний
"Инженерные экосистемы" (RU)**(54) **ПРИЕМНАЯ КАМЕРА ГАШЕНИЯ**

(57) Формула полезной модели

Приемная камера гашения, состоящая из установленной на опоре приемной камеры, вмонтированного в дно подводящего трубопровода, и встроенного в приемную камеру отводящего лотка, отличающаяся тем, что в ее состав включены рассеиватель потока, неподвижная заглушка отводящего лотка, отводящий трубопровод с регулирующей задвижкой, а стенка приемной камеры со стороны отводящего лотка выполнена с меньшей высотой и имеет щелевое отверстие, совпадающее с отметкой дна отводящего лотка.

RU 1 2 4 7 0 4 U 1

RU 1 2 4 7 0 4 U 1



RU 1 2 4 7 0 4 U 1

RU 1 2 4 7 0 4 U 1

Муниципальное Унитарное
Предприятие г. Новосибирска



№ 4 - 8431 от 29.10.15
На № _____ от _____

СПРАВКА

О внедрении результатов диссертационной работы Столбихина Ю.В.
**«Разработка методов предотвращения коррозии канализационных
коллекторов и сооружений на основе совершенствования камер гашения
напора».**

При реконструкции камеры гашения напора по улице Московская, г.Новосибирск, был использован метод насыщения сточной жидкости кислородом воздуха, исследованный автором диссертации и его научным руководителем. К напорному трубопроводу камеры гашения напора был подключен трубопровод-эжектор, что позволило обеспечить аэрацию сточной жидкости. За период работы трубопровода-эжектора было отмечено заметное снижение концентрации вредных газов в коллекторе за камерой гашения напора, что способствовало замедлению процесса коррозии.

Отмечаем, что использование метода насыщения сточной жидкости кислородом воздуха возможно исключительно в комплексе с газоочистной установкой.

Также для защиты шахт и технологического оборудования в них от коррозии на канализации г. Новосибирска были использованы покрытие «Конусит КК-10» и композитные конструкции.

Главный инженер



Ю.Г. Багаев