

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр инженерного оборудования

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Водоснабжение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему «Применение альтернативных материалов шламопроводов
отстойников водопроводных очистных сооружений»

Студент

Л.В. Корняков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

канд.техн.наук, доцент, И.А. Лушкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти, 2021

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Сравнительный анализ материалов для шламопровода.....	7
1.1 Методика выбора материалов.....	7
1.2 Требования к материалам, применяемым для трубопроводов.....	11
1.3 Пластмассы.....	14
1.4 Композиционные материалы.....	20
1.5 Стеклобазальтопластиковые трубы.....	30
1.6 Технология изготовления стеклопластиковых труб.....	36
Глава 2 Применение стеклобазальтовых труб на очистных сооружениях воды ООО «АВК».....	44
2.1 Общая характеристика объекта.....	44
2.2 Техничко-экономическое обоснование выбора оборудования и материалов.....	47
2.2.1 Обоснование выбора запорной арматуры.....	47
2.2.2 Обоснование выбора материалы трубопровода.....	55
2.2.3 Способы соединения участков труб.....	57
2.3 Исследовательская часть.....	59
2.3.1 Методика измерения.....	60
2.3.2 Результаты измерений.....	63
2.3.3 Анализ на соответствие измеренных геометрических размеров требованиям ГОСТ.....	66
2.4 Проверка качества соединений трубопровода.....	68
2.5 Заключение о соответствии выполненных работ по монтажу трубопроводов проекту и нормативным требованиям.....	71
Глава 3 Устранение ударов при закрытии дискового затвора на дренаже горизонтальных отстойников.....	73
Заключение.....	88
Список используемой литературы и используемых источников.....	89

Введение

В последнее время активно расширяется применение в качестве конструкционных материалов неметаллические материалы. Объёмы их производства растут с каждым годом. В скором времени объем производства альтернативных материалов сравняется с объемом производства стали. Главные причины заключается в том, что производство неметаллических материалов, например, пластмасс и композитов, базируется на полимерах, которые получают из достаточно дешевых и доступных источников сырья, нефти, природного газа, угля. Высокотехнологичные методы производства труб из неметаллических материалов делают их достаточно экономически выгодными. **Целесообразность** применения неметаллических материалов для магистральных трубопроводов часто определяется техническими соображениями, однако при этом весьма существенное значение играет экономичность решения. Использование при производстве труб неметаллических конструкционных материалов заметно сокращает капитальные затраты, при этом уменьшается трудоемкость монтажных работ и изготовления неметаллических деталей по сравнению с металлическими, снижается расход остродефицитных материалов и энергии, уменьшается материалоемкость и масса изделия, а также эксплуатационные затраты, потребность в дорогостоящем оборудовании, улучшаются условия труда. Перечисленные выше достоинства приводят к существенному снижению себестоимости конечной продукции.

В сфере жилищно-коммунального хозяйства большое внимание уделяется снижению металлоемкости, себестоимости, повышению надежности и долговечности трубопроводов при одновременном увеличении пропускной способности, снижения сопротивления и улучшения других параметров. Одним из эффективных методов решения **выделенной проблемы** является рациональный выбор материала и использование

оптимальных эксплуатационных режимов. «Для более полного понимания сути данной проблемы необходимо изучить, а при необходимости разработать принципы рационального выбора материалов, работающих в различных условиях, а также получить навыки работы со справочниками и компьютерными программами по выбору материала трубы и правильной термической и химико-термической обработки для обеспечения необходимой надежности и долговечности трубопроводов в процессе эксплуатации. Следует уделить внимание теории и практике изготовления и обработки композитных материалов, базовым сведениям структурной теории прочности, зная которые, можно целенаправленно выбирать тот или иной материал, упрочняющую технологию для получения требуемой структуры с высокими химическими и механическими характеристиками» [9]. Структурированные данные об основных видах дефектов и отказов элементов трубопроводов позволяют легко прогнозировать возможные причины нарушения работоспособности дренажной системы в процессе эксплуатации.

Существует **противоречие**: с одной стороны, широко применяемые стальные трубы, зарекомендовали себя достаточно хорошо. При этом имеется огромный опыт их эксплуатации, способы борьбы с коррозией, на рынке присутствует большое количество конкурентноспособных предложений. С другой стороны, у металлических труб есть большое количество недостатков, главные из них подверженность казенным повреждениям высокая масса, стоимость, необходимость в постоянном контроле за техническим состоянием трубопроводов. На сегодняшний день развитие технологии позволяет использовать современные композитные материалы, которые лишены этих недостатков, однако к ещё не сформировалась культура применения данных материалов, а также отсутствует многолетний опыт эксплуатации.

Настоящая работа посвящена на изучению возможности применения стеклобазальтовых труб, как альтернативы стальным. В работе поставлена

цель: повышение надёжности шламопровода за счёт применения полимерных труб. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **научно-технические задачи:**

1) Изучить технологическую схему водопроводных очистных сооружений на предмет возможности применения альтернативных материалов для трубопроводов.

2) Провести сравнительный анализ труб из различных материалов (сталь, полимеры) для обоснования выбора.

3) Проанализировать опыт эксплуатации опытного участка шламопровода.

4) Изучить возникшие проблемы при эксплуатации трубопровода.

5) Разработать мероприятия по улучшению конструкции системы отведения шламовых вод.

Научная новизна заключается в следующем:

1) Установлении возможности применения стеклобазальтовых труб для отвода шламовых вод от горизонтальных отстойников.

2) Разработки мероприятий по улучшению работы запорной арматуры.

Методы исследований.

1) Для успешного решения научно-технических задач проведено документальное и инструментальное обследование трубопроводов для отвода шламовых вод от горизонтальных отстойников.

2) Проведение численного и натурного экспериментов для моделирования гидравлических процессов в запорной арматуре.

Практическая значимость работы состоит в анализе результатов опытной эксплуатации стеклобазальтовых труб. Установление возможности их дальнейшего применения. В разработке методики моделирования гидравлических процессов в запорной арматуре.

Практическая значимость работы подтверждена в публикации результатов исследования в статьях:

1) Работа дискового затвора в особых условиях эксплуатации. [Электронный ресурс] // Дни науки в ТГУ: материалы студенческой конференции. Тольятти. 2020.

2) Аprobация методики поиска участков водопровода с наибольшей степенью зарастания. [Электронный ресурс] // Главный энергетик, №7.2021.

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии в обследовании очистных сооружений воды ООО «АВК», составление плана работы, формирование системного подхода к исследованиям. Автором разработанной рекомендации по устранению ударов при закрытии дискового поворотного затвора.

На защиту выносятся: Сравнительный анализ труб из различных материалов. Результаты опытной эксплуатации стеклобазальтовых труб. Результаты численного и напорного экспериментов работы дискового затвора в особых условиях эксплуатации. Диссертация носит методологический характер и проявляет себя в наличии научно обоснованных и апробированных в результате экспериментальной работы методов и средств совершенствования методики моделирования гидравлических процессов в трубопроводной арматуре.

Автор организовал и принимал участие в проведении экспериментов и разработки технического отчёта.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, общих выводов, библиографии из 31 наименования. Общий объем работы 89 стр., включая 71 иллюстрацию, 13 таблиц.

Глава 1 Сравнительный анализ материалов для шламопровода

1.1 Методика выбора материалов

В настоящее время уделяется достаточно много внимания мероприятиям по снижению металлоемкости, себестоимости, обеспечению надежности и долговечности технологических трубопроводов. Наиболее эффективным из способов решений данной задачи является оптимальный выбор конструкционного материала, а также применение наилучших способов повышения механической прочности.

В первой главе изложены главные принципы рационального подбора материалов и методов направленных на упрочнение трубопроводов большого диаметра, также рассматривается теория и практический опыт применения трубопроводов из различных материалов. Зная основные сведения теории прочностных расчётов, можно обоснованно выбирать необходимый материал из имеющегося ассортимента, для обеспечения необходимой структуры, гидравлических, прочностных, эксплуатационных и экономических характеристик.

Основные факторы от которых зависит эксплуатационные свойства металлических изделий:

- конструктивных особенностей деталей;
- химического состава и структуры материала;
- внешних факторов – нагрузки, вида напряженного состояния, температуры и т.д.;
- условий эксплуатации.

«При конструировании трубопроводов определяется его конфигурация с учётом гидравлического расчёта, механических нагрузок, давление и температуры воды, а её коррозионная активность.

Порядок выбора материала для монтажа трубопроводов состоит из следующих этапов:

- постановка задачи, исходя из функции детали и ее конструкции;
- анализ условий работы детали и выявление основных видов дефектов или отказов, проявляющихся в процессе эксплуатации сходных конструкций;
- определение основных свойств материала, необходимых для решения конструкционных и эксплуатационных задач;
- выбор технологических процессов механической и термической обработки, позволяющих получить требуемую форму и свойства проектируемых деталей;
- окончательный выбор материала и упрочняющей технологии с учетом обрабатываемости и экономичности производства» [12].

Таблица 1 – Динамика использования различных материалов для изготовления трубопроводов 2000-2020 г.

Материал трубопровода	Процент использования		Динамика роста
	2000 год	2020 год	
Стальные	62,5	48,6	-0,286
Чугунные	11,2	9,2	-0,217
Медные	0,3	1,2	0,750
Алюминиевые	0,2	0,2	0,000
Асбестовые	9,3	7,6	-0,224
Бетонные	5,1	4,2	-0,214
Стеклянные	0,1	0,1	0,000
Стеклопластиковые	2,7	6,8	0,603
Стеклобазальтовые	0,1	0,5	0,800
ПВХ	1,6	2,4	0,333
Полипропиленовые	2,1	3,8	0,447
Полиэтиленовые	4,8	15,4	0,688

В таблице 1 и на рисунках 1, 2 представлена динамика по использованию различных материалов для изготовления трубопроводов и процент их использования. На рисунке 2 видно, что наибольший прорыв использования за последние 20 лет имеют стеклобазальтовые, стеклопластиковые, полимерные, а также медные трубы. Значительный рост использования медных трубопроводов связан с широким их применением

при монтаже внутренних систем водоснабжения. Рост количества применения перечисленных материалов привел к снижению количества традиционных ранее материалов, таких как сталь, чугун, асбест и бетон.

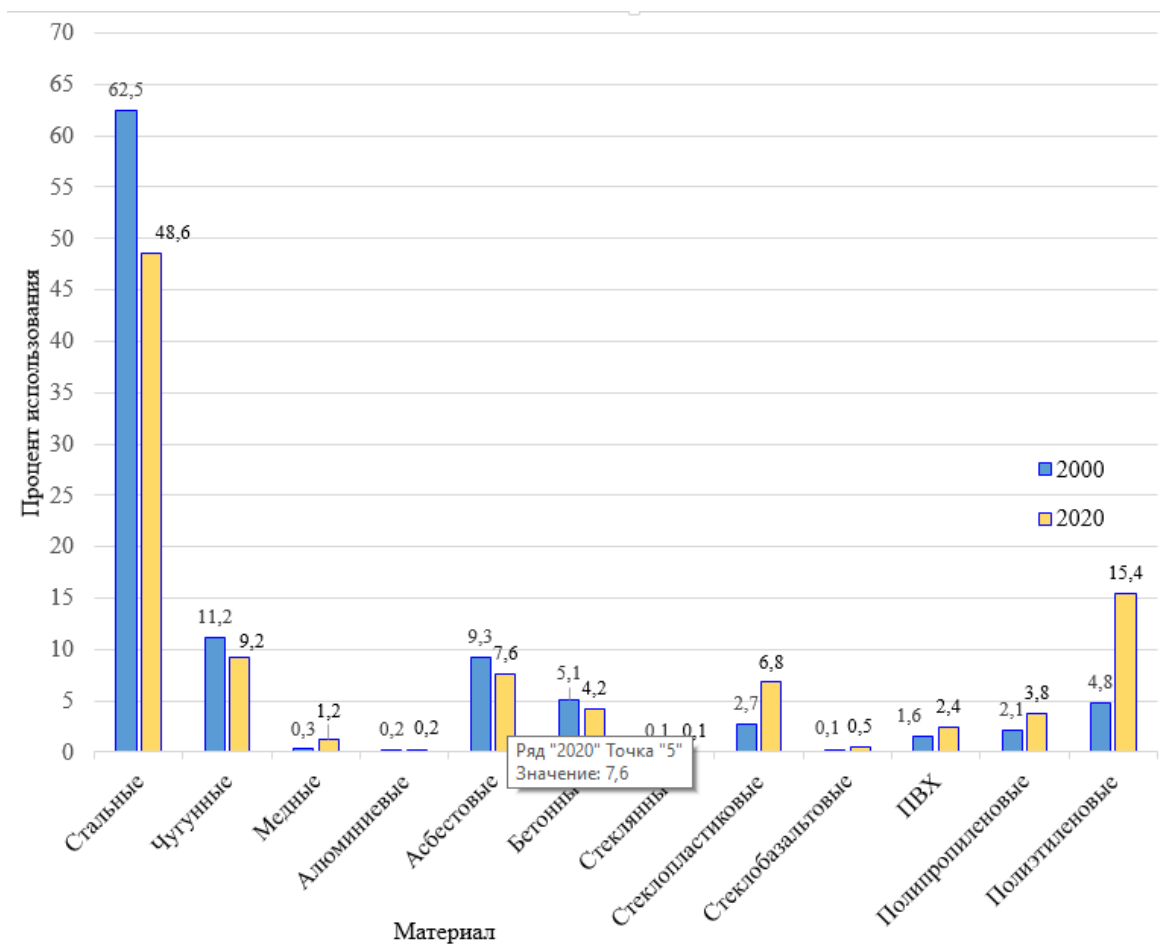


Рисунок 1 – Процент использования различных материалов для изготовления трубопроводов 2000-2020 г.

Несмотря на то, что стальные трубопроводы в последнее время вытесняются полимерными и композитными изделиями, однако же они ещё долгое время будут оставаться основными для монтажа систем водоснабжения, теплоснабжения, газоснабжения, технологических трубопроводов. Поэтому более подробно остановимся на изучении наиболее перспективных материалов, которые будут использоваться в ближайшем будущем. Начнём обзор с наиболее часто встречающегося материала для изготовления трубопроводов – сталь.

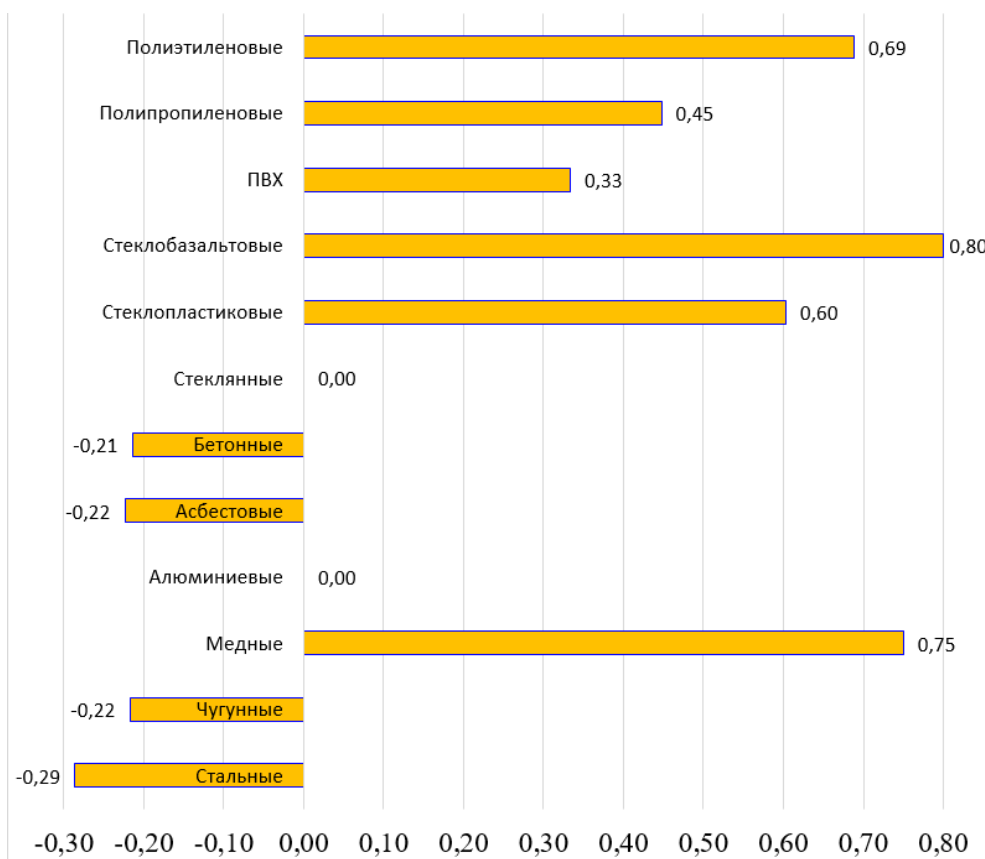


Рисунок 2 – Динамика роста использования различных материалов для изготовления трубопроводов 2000-2020 г.

На рисунках 3, 4 показана разводка стальных трубопроводов на разных объектах очистных сооружений. На рисунке 5 показано кариозное повреждение существующего стального трубопровода для отведения шламовых вод.



Рисунок 3 – Разводка стальных трубопроводов на очистных водозаборных сооружениях



Рисунок 4 – Монтаж стальных трубопроводов (обвязка фильтров)



Рисунок 5 – Стальные трубопроводы, поврежденные коррозией

1.2 Требования к материалам, применяемым для трубопроводов

Определяя конструкционный материал нужно провести анализ условий эксплуатации и выявить схему наиболее нагруженного состояния, вызванного внешними нагрузками. Также необходимо учесть опыт работы аналогичных деталей или участков трубопроводов, их конструктивные особенности. На перспективу прогнозировать наиболее вероятные эксплуатационные дефекты. Имея достаточные сведения об условиях эксплуатации, требуемых свойствах, типовых материалов, особенностях монтажа, выбираются марки сталей или других конструкционных материалов, в соответствии с расчетными требованиями и механическими характеристиками.

Далее рассмотрим основные требования к материалам, применяемым для трубопроводов согласно Постановления Госгортехнадзора РФ от

10.06.2003 N 80 Об утверждении Правил устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов (Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.06.2003 N 4738). Правила устройства и безопасности эксплуатации технологических трубопроводов. Технологические трубопроводы с условным давлением до 10 МПа (100 кгс/см^2) [16].

«2.2.1. Трубы, фасонные соединительные детали, фланцы, прокладки и крепежные изделия, применяемые для трубопроводов, по качеству, технической характеристике и материалам должны отвечать соответствующей нормативно-технической документации. Качество и техническая характеристика материалов и готовых изделий, применяемых для изготовления трубопроводов, подтверждается соответствующими паспортами или сертификатами. Материалы и изделия, не имеющие паспортов или сертификатов, допускается применять только для трубопроводов II и ниже категорий и после их проверки и испытания в соответствии со стандартами, техническими условиями и нормативно-технической документацией.

Материал деталей трубопроводов, как правило, должен соответствовать материалу соединяемых труб. При применении и сварке разнородных сталей следует руководствоваться указаниями соответствующих нормативно-технических документов.

Допускается по заключению специализированных (экспертных) организаций применение труб и деталей трубопроводов из материалов, не указанных в государственных стандартах и нормативно-технической документации.

2.2.2. Трубы и фасонные детали трубопроводов должны быть изготовлены из стали, обладающей технологической свариваемостью, с отношением предела текучести к пределу прочности не более 0,75, относительным удлинением металла при разрыве на пятикратных образцах не менее 16% и ударной вязкостью не ниже $KCU = 30 \text{ Дж/см}^2$ ($3,0 \text{ кгс}\cdot\text{м/см}$) при минимальной расчетной температуре стенки элемента трубопровода.

2.2.3. Применение импортных материалов и изделий допускается, если характеристики этих материалов соответствуют требованиям российских стандартов и подтверждены заключением специализированной (экспертной) организации.

2.2.4. Трубы в зависимости от параметров транспортируемой среды необходимо выбирать в соответствии с нормативно-технической документацией.

2.2.5. Бесшовные трубы, изготовленные из слитка, а также фасонные детали из этих труб допускается применять для трубопроводов групп А и Б первой и второй категорий при условии проведения их контроля методом ультразвуковой дефектоскопии (УЗД) в объеме 100% по всей поверхности.

2.2.7. Для трубопроводов следует применять трубы с нормированным химическим составом и механическими свойствами металла (группа В).

2.2.8. Трубы должны быть испытаны изготовителем пробным гидравлическим давлением, указанным в нормативно-технической документации на трубы, или иметь указание в сертификате о гарантируемой величине пробного давления.

Допускается не проводить гидроиспытания бесшовных труб, если они подвергались по всей поверхности контролю неразрушающими методами.

2.2.9. Трубы электросварные со спиральным швом допускается применять только для прямых участков трубопроводов.

2.2.10. Электросварные трубы, применяемые для транспортирования веществ групп А (б), Б (а), Б (б) за исключением сжиженных газов давлением свыше 1,6 МПа (16 кгс/см²) и групп Б (в) и В давлением свыше 2,5 МПа (25 кгс/см²), а также с рабочей температурой свыше 300 град. С должны быть в термообработанном состоянии, а их сварные швы подвергнуты 100%-ному неразрушающему контролю (УЗД или просвечивание) и испытанию на загиб или ударную вязкость.

2.2.11. Электросварные трубы, контактирующие со средой, вызывающей коррозионное растрескивание металла, независимо от давления и толщины

стенки должны быть в термообработанном состоянии, а их сварные швы равнопрочны основному металлу и подвергнуты 100%-ному контролю физическими методами (УЗД или просвечивание).» [16]

1.3 Пластмассы

По сравнению с металлическими сплавами пластмассы имеют: высокую коррозионную стойкость (около 7% металла «уходят» в ржавчину); «малый удельный вес 0,8...1,2 г/см³ (Fe – 7,8 г/см³); 80 высокие антифрикционные свойства; низкую теплопроводность; являются диэлектриками. Недостатки пластмасс: низкая прочность; низкая тепло- и морозостойкость; хрупкость; склонность к старению; высокий коэффициент линейного расширения» [1].

«Пластмассы – это синтетические материалы на основе органических полимеров. Пластмассы содержат: полимеры – основа пластмассы; связующие вещества, в качестве которых применяют, как правило, различные смолы; наполнители – это специальные вещества, которые вводятся для придания требуемых физико-механических свойств; вспомогательные вещества. В качестве наполнителей используют органические или минеральные вещества (кварцевую муку, асбест, тальк, каолин, цемент, стекловолокно, стеклоткани, металлическая фольга, ткани и т.п.). Основное назначение наполнителей – повысить твердость, прочность, теплостойкость, влаго- и химическую стойкость, но они снижают пластичность и затрудняют тем самым переработку пластмасс в изделия» [14].

«В качестве вспомогательных веществ применяют пластификаторы, они придают твердым полимерам мягкость, гибкость, пластичность, что облегчает изготовление изделий (камфоры, стеарина, крезолфосфата, дибутилфосфата и др.); отвердители, ингибиторы – вещества, замедляющие процесс отвердевания при полимеризации; органические яды, которые

вводятся для предохранения пластмасс от образования плесени и поедания насекомыми; красители; противостарители; стабилизаторы и антиоксиданты (амины, фенолы) добавляют для увеличения стойкости пластмасс к действию тепла, света, кислорода воздуха, радиации и т.п.; смазывающие вещества вводятся для повышения антифрикционных свойств и предотвращения прилипания пластмасс к пресс-формам при переработке их в изделия методом деформации; инициаторы (активизаторы) вводят для ускорения процесса полимеризации. Для определения условий применения пластмасс при изготовлении деталей оценивают их свойства: механические свойства: прочность, твердость, пластичность, вязкость, упругость; теплостойкость – т.е. устойчивость структуры полимера при нагреве, оценивается максимальной температурой, при которой не происходит необратимых структурных изменений; морозостойкость, которая характеризуется температурой перехода полимера в хрупкое состояние и определяет нижний предел рабочего интервала температур; химическая стойкость – устойчивость к различным агрессивным средам: кислотам, щелочам и т.п.; влагостойкость – устойчивость против впитывания влаги; вакуумстойкость (газонепроницаемость); диэлектрические (электроизоляционные) свойства; антифрикционные и фрикционные свойства, определяющие способность пластмасс работать в парах трения; прозрачность к электромагнитным излучениям, в том числе в диапазоне видимого света и ультрафиолетовых лучей; способность противостоять старению, т.е. структурным изменениям под действием тепла, света, кислорода, излучений; радиационная стойкость» [17].

Термопластичные пластмассы:

«Полиэтилен – продукт полимеризации газообразного этилена $[-CH_2-]_n$. По строению полиэтилен – линейный термопластичный полимер. По способу получения и плотности различают два вида полиэтилена: полиэтилен высокого давления (ПЭВД), отличающийся низкой плотностью (0,918...0,930

г/см³) и содержащий 55...65% кристаллической фазы; полиэтилен низкого давления (ПЭНД) с высокой плотностью (0,94...0,97 г/см³), содержащий 75...95% кристаллической фазы. Свойства полиэтилена: высокая упругость, гибкость, эластичность; высокая влагостойкость и химическая стойкость в щелочах и кислотах; высокие диэлектрические свойства; невысокая теплостойкость (до 60...100°C), морозостойчивость до -70°C; прозрачность к ультрафиолетовому излучению. Чем выше плотность полиэтилена и доля кристаллической фазы, тем выше его прочность, теплостойкость и морозостойчивость. Недостатком полиэтилена является его подверженность старению под действием света, тепла, кислорода, озона и других факторов. Для уменьшения склонности полиэтилена к старению обычно добавляют сажу (2...3%), которая поглощает солнечные лучи и резко замедляет старение (до 30 раз)» [1]. Полиэтилен широко применяется для производства трубопроводов различного назначения, в том числе и магистральных, аккумуляторных баков, емкостей для хранения химикатов (рисунок 6)» [18].



Рисунок 6 – Разводка трубопроводов из полиэтилена

«Полипропилен – продукт полимеризации газообразного пропилена (производного этилена) $[-CH_2-CHCH_3-]_n$. Он содержит 55...65% кристаллической фазы, а остальное – аморфная фаза. Свойства: гибкость и эластичность, более высокая теплостойкость по сравнению с полиэтиленом

(до 150°C), прочность и газонепроницаемость, химическая стойкость, имеет невысокую морозостойкость (-15...-20°C). Применение: для изготовления труб, конструктивных деталей автомобилей, мотоциклов, холодильников, пишущих и счетных машин, текстильных машин, различных емкостей и предметов домашнего обихода. Полистирол – продукт полимеризации стирола $[-CH_2-CHC_6H_5-]_n$. Это твердый, аморфный, прозрачный термопластичный полимер линейного строения. Свойства: на 90% пропускает свет, хорошо окрашивается в различные цвета и хорошо обрабатывается резцом, но обладает повышенной хрупкостью, склонностью к старению и невысокой теплостойкостью (до 80°C)» [19]. Трубы из него получают путем экстрагирования при повышенных температурах (рисунок 7).



Рисунок 7 – Разводка трубопроводов из полипропилена

«Ударопрочный полистирол – сополимер стирола с синтетическим каучуком (10...15%). Свойства: превосходит полистирол по ударной вязкости в 3... 5 раз, а по относительному удлинению в 10 раз, имеет повышенную стойкость к бензину и морской воде, пониженную теплостойкость и диэлектрические свойства. Применение: используется как конструкционный материал (корпуса и ручки приборов, червячные колеса и т.п.), детали фотооборудования, емкости для хранения химикатов (рисунок 8)» [1].



Рисунок 8 – Трубы из полистирола

«Фторопласт-3 (Ф-3) – политрифторхлорэтилен, продукт полимеризации трифторхлорэтилена $[-CF_2-CFCl-]_n$. Это термопластичный линейный полимер кристаллического строения. Свойства: по диэлектрическим свойствам, химической стойкости и теплостойкости ($70^{\circ}C$) фторопласт Ф-3, обладает высокой пластичностью, что облегчает переработку его в изделия методом деформации. Применение: Ф-3 применяется как конструкционный материал в виде труб, шлангов (рисунок 9)» [21].

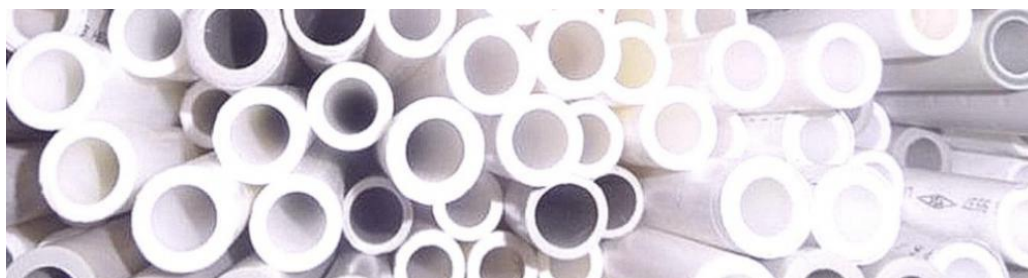


Рисунок 9 – Трубы из фторопласта (политрифторхлорэтилена)

«Поливинилхлорид – продукт полимеризации винилхлорида $[-CH_2-CHCl-]_n$, аморфный линейный полимер. Свойства: стойкость к химикатам, негорючесть, электроизоляционные свойства при низких частотах. Производится два вида пластмасс – винипласт и полихлорвиниловый (ПХВ)

пластикат, в состав которого дополнительно входят пластификаторы. Винипласт имеет высокую прочность и упругость, ПВХ пластикат – повышенную пластичность и гибкость. Недостатки – низкая теплостойкость (60...70°C) и повышенная хрупкость ниже –10°C у винипласта, морозоустойчивость – до –50°C у ПВХ-пластиката. Применение: из винипласта изготавливают трубы для подачи огнеопасных газов и жидкостей (рисунок 10)» [21].



Рисунок 10 – Трубы из поливинилхлорида

Термореактивные пластмассы:

«Термореактивные пластмассы – это наполненные пластмассы, в которых в качестве связующего вещества используют термореактивные смолы: фенолформальдегидные, эпоксидные, кремнийорганические. В зависимости от вида наполнителя эти пластмассы подразделяются на порошковые, волокнистые и слоистые. Пластмассы с порошковым наполнителем – пресс-порошки. В качестве наполнителя применяют порошки: органические (древесная мука) или минеральные (молотый кварц, асбест, тальк, слюда, графит). Свойства: изотропность, удовлетворительные электроизоляционные свойства, невысокая механическая прочность ($\sigma = 30...40$ МПа) и низкая ударная вязкость. Пластмассы с органическими наполнителями отличаются более высокой пластичностью, но пониженной тепло-, влаго- и химической стойкостью. При использовании минеральных

наполнителей (молотый кварц) повышаются твердость, прочность, электроизоляционные свойства и влагостойкость. Композиции на основе эпоксидных смол с минеральными наполнителями используют для инструментальной оснастки, корпусов, сборочных приспособлений. Пластмассы с волокнистым наполнителем – волокниты. Эти пластмассы анизотропны, т.е. в направлении волокон механические свойства волокнитов значительно выше, чем у порошковых пластмасс, они определяются свойствами волокон и их размером. В зависимости от материала волокон различают хлопковые, асбестовые волокниты и стекловолокниты» [17].

Стекловолокниты. «Наполнителем является стеклоткань. Свойства: высокая удельная прочность, теплостойкость (до 350°C) и высокие электроизоляционные свойства. Наполнитель – стекловолокно, которое получают из расплавленной стекломассы. Свойства: чем длиннее волокно и меньше диаметр волокон, тем выше прочность. На практике используют стекловолокно диаметром от 5 до 20 мкм, и прочность при этом составляет соответственно от 3800 до 600 МПа. Теплостойкость высокая (до 300...350°C). Широко применяется для производства труб, конструкционный элементов систем водоснабжения» [1].

1.4 Композиционные материалы

Создание современной техники требует применения нетрадиционных конструкционных материалов, наиболее прогрессивными из которых являются композиционные материалы. «Композиционные материалы (КМ) – это композиты, состоящие из двух и более фаз (компонентов), причем каждый из компонентов сохраняет свои свойства. Состав и форма вхождения компонентов в композит предусматриваются заранее, при этом компоненты присутствуют в таких количествах, чтобы обеспечить получение заданных свойств материала. Между компонентами всегда существует граница раздела. Как правило, компоненты в композиционном материале отличаются

не только по свойствам, но и по форме расположения. Один из компонентов, который создает основу материала, называется матрицей. Второй компонент является армирующим, т.е. упрочняющим. Материалы матрицы и армирующего компонента (наполнителя) должны быть взаимно нейтральны, т.е. не должны образовывать химических соединений или твердых растворов, причем коэффициенты теплового расширения у них должны быть близкими, чтобы при изменении температуры в процессе эксплуатации не возникали внутренние напряжения, которые могут привести к разрушению материала» [33]. В качестве упрочняющей фазы выбирают такие материалы и соединения, которые имеют высокую температуру плавления (намного выше температуры плавления матрицы), при нагреве они не должны растворяться в матрице. Это обеспечивает высокие прочностные свойства и жаропрочность композита до 0,9...0,95 от температуры плавления матрицы. Наполнители по сравнению с матрицей должны обладать более высокой твердостью, прочностью и модулем упругости. Высокая надежность конструкций из композиционных материалов связана с особенностями распространения в них трещин. В традиционных материалах трещина развивается быстро и скорость её роста в процессе работы возрастает. В композитах трещина обычно возникает и развивается в матрице. Граница между матрицей и армирующим компонентом является препятствием на пути распространения трещины, сдерживающим её рост. В зависимости от типа матрицы различают композиционные материалы: на металлической основе; на полимерной основе; на керамической основе. По виду и структуре наполнителя композиционные материалы подразделяют на: дисперсно-упрочненные; волокнистые; слоистые.

Классификация композитных материалов:

На рисунке 11 представлена комплексная классификация композитных материалов. В настоящей работе наибольший интерес представляет неорганические материалы на основе базальтового или стекловолокна на полимерном связующем.

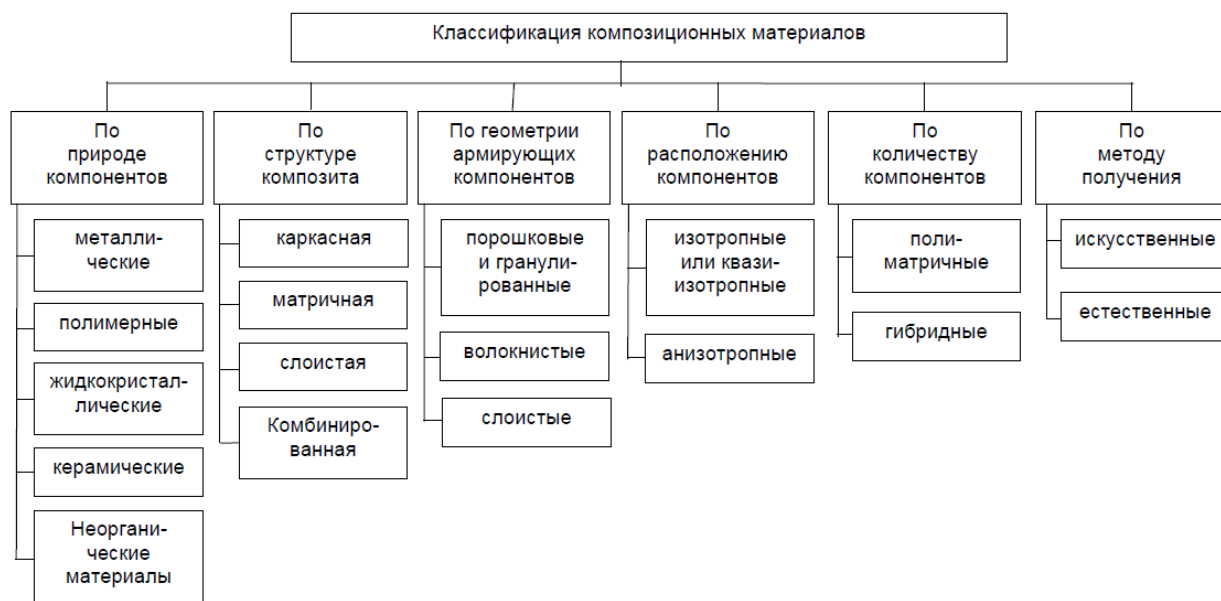


Рисунок 11 – Классификация композитных материалов

Армирующие волокна композиционных материалов

По механизму армирующего действия волокна подразделяют на дискретные, если соотношение их длины к диаметру находится в пределах $10 \dots 1000$, и непрерывные, если соотношение их длины к диаметру намного больше. Дискретные волокна, как правило, располагаются хаотично, а непрерывные имеют одноосную, двухосную и трехосную укладку. Одноосная укладка волокон обеспечивает наиболее полную реализацию свойств вдоль волокна в композите. При двухосной укладке будет обеспечиваться большая изотропность свойств, но при этом сопротивление сдвигу между этими слоями резко снижается. Этот недостаток устраняется при трехосном армировании матрицы. «Требования, предъявляемые к волокнам: высокая температура плавления; малая плотность; влаго- и химическая стойкость во всем интервале эксплуатационных температур; высокая прочность и жесткость; минимальная растворимость в матрице; отсутствие токсичности; хорошая технологичность. При создании композитов этого типа в качестве армирующего компонента используют высокопрочные волокна из стекла, бора, углерода, металлической проволоки

и нитевидных кристаллов (усов) оксидов, нитридов и других химических соединений. Стекланные волокна. При малой плотности они имеют высокую прочность, теплостойкость, влаго- и химостойкость. Их получают методом вытягивания расплавленной стекломассы через фильеры диаметром 0,8...3 мм и дальнейшим вытягиванием их до диаметра 3...20 мкм» [18]. Углеродные волокна обладают высокой удельной прочностью и термической стабильностью механических свойств. Прочность достигает 1500...2000 МПа, что соответствует прочности молибденовой проволоки. Их получают путем высокотемпературной термообработки в инертной среде из синтетических органических волокон. Эти волокна используют при создании композитов в виде крученых и некрученых жгутов с диаметром волокон ~7мкм и количеством волокон в жгуте от 1000 до 160000. Углеродные волокна имеют высокую теплопроводность, электропроводность, коррозионную стойкость, у них низкий коэффициент трения и термического расширения, но они склонны к окислению на воздухе и легко вступают в химическое взаимодействие с металлической матрицей. Для устранения этих недостатков на углеродные волокна наносят защитные покрытия из металлов и керамики. Карбид кремния. Волокна этого карбида получают так же, как и волокна бора. У них при комнатной температуре более низкие механические свойства по сравнению с волокнами бора и углерода, и они более чувствительны к поверхностным дефектам из-за повышенной хрупкости. Но при высоких температурах карбид бора приобретает достаточную пластичность и при этом не происходит заметного разупрочнения.

Свойства волокнистых композиционных материалов «Неоднородная структура волокнистых композитов определяет их поведение при эксплуатации. Напряжения, воспринимаемые матрицей и волокнами, неодинаковы» [25]. Если приложенные нагрузки совпадают с направлением волокна, то основную нагрузку несут волокна, при этом чем больше объемная доля этих волокон в композите, тем выше работоспособность. С увеличением объемной доли волокон до 80% предел прочности композитов

увеличивается, а при большей объемной доле уменьшается из-за того, что матрицы слишком мало, и она не в состоянии смочить и пропитать каждое волокно. «Тем самым сцепление волокон с матрицей ухудшается, и появляется проскальзывание волокон в матрице. Если приложенная нагрузка перпендикулярна волокну в однонаправленном композите, то его предел прочности будет равен пределу прочности матрицы. Это указывает на то, что свойства волокнистых композитов анизотропны. При разрушении композитов распространение трещины вдоль волокна происходит легче и определяется лишь свойствами матрицы» [24]. «В поперечном же направлении распространение трещины затруднено, так как ей приходится преодолевать прочность матрицы, волокна и адгезионную прочность между матрицей и волокном. Композиционные материалы с полимерной матрицей «В качестве полимерной матрицы используют эпоксидные, фенолоформальдегидные и кремнийорганические смолы, а также полиамидные пластмассы и целый ряд других термопластичных пластмасс» [26]. «Свойства полимерной матрицы достигаются в результате полимеризации и отверждения (для реактопластов), при этом матрица должна иметь низкую усадку. К недостаткам таких матриц относится низкая прочность и теплостойкость, при этом надо учитывать, что теплостойкость у терморезистивных пластмасс выше, чем теплостойкость у термопластичных. Наиболее теплостойкими (до 350°C) являются кремнийорганические и полиамидные пластмассы. Широко применяются матрицы из эпоксидных смол. У них более высокий уровень механических свойств и небольшая усадка. Предел прочности у полиамидных матриц равен от 40 до 80 МПа» [15].

Композиционные материалы с волокнистым наполнителем:

Композиты на основе полимерной матрицы с волокнистым наполнителем называют по природе наполнителя. Это органо-, карбо-, стекло- и борволокниты. Матрицей в волокнитах служат терморезистивные и

реже термопластичные полимеры. Более подробно свойства этих материалов представлены в главе 3.1. Слоистые композиты Слоистыми называются композиционные материалы с полимерной матрицей и листовым наполнителем, который состоит из хаотично ориентированных дисперсных и направленных волокон или тканей. В качестве матрицы используют термореактивные полимеры, а в качестве наполнителя – хлопчатобумажные, стеклоасботкани, органоткани, органостеклоткани, бороорганостеклоткани. Ткани различаются по соотношению волокон в основе и по типу переплетения, что сказывается на механических свойствах. Выпускаются слоистые композиты в виде листов, труб, заготовок [29, 31].

Технология изготовления композиционных материалов:

«В процессе соединения матрицы и волокна можно получать как заготовки, так и готовые изделия. Композиты с полимерной матрицей изготавливают методом прессования и намотки (рисунок 12). Получение изделий методом прессования осуществляется путем деформации в прессформах, при этом армирующий компонент пропитывают связующим полимером, а затем прессуют при повышенных температурах. Изготовление таких композитов не требует высоких температур и давлений» [13].



Рисунок 12 – Производство стеклопластиковых труб

«Для стекловолоконитов на основе эпоксидной матрицы давление составляет 2,5...5,0 МПа, а для слоистых композитов, независимо от вида матрицы, – 1...5 МПа, при температуре прессования $\sim 100^{\circ}\text{C}$ » [16]. Намоткой изготавливают армированные оболочки, при этом армирующая лента или ткань пропитывается полимерной матрицей и наматывается на вращающийся барабан – оправку с конфигурацией, соответствующей внутренней поверхности изготавливаемой оболочки. Укладывают ленту или ткань различными способами, но часто используют спирально-винтовую укладку. «Композиты с углеродной матрицей получают методом осаждения из газовой фазы и методом карбонизации. Процесс карбонизации заключается в изотермической выдержке при 800°C матричного материала – это фенолоформальдегидные, эпоксидные, кремнийорганические и другие углеродосодержащие связующие материалы. При этом легкоиспаряющиеся компоненты удаляются. Карбонизации подвергают углеродосодержащие заготовки, например, углеродное волокно, пропитанное углеродосодержащей смолой» [19]. Такие углепластики характеризуются повышенной пористостью и применяются для ненагруженных деталей в основном как теплоизоляционный материал. «Получение композита с углеродной матрицей путем осаждения из газовой фазы осуществляется методом

пиролиза (разложения) при высоких температурах углеводородных газов, например метана, и последующего осаждения полученного углерода на волокна композита, при этом осаждающийся углерод образует матрицу» [30].

Стеклопластик:

«Стеклопластик – пластический материал, в составе которого есть стекловолокнистые компоненты и связующий наполнитель (термопластичные и термореактивные полимеры). Наряду с относительно невысокой плотностью стеклопластиковые изделия отличаются хорошими прочностными качествами. Последние 30-40 лет стеклопластик массово применяется для изготовления трубопроводов разного назначения» [35].

«Стеклопластиковые трубы – длинные пустотелые элементы с неизменным сечением, предназначенные для осуществления перемещения по ним какой-либо рабочей среды или для защиты помещаемых внутрь кабелей разного назначения. Производство в промышленных масштабах налажено с середины 1950-х годов, но подлинно широкое распространение начинается спустя два-три десятилетия» [30]. (рисунок 13).



Рисунок 13 – Стеклопластиковые композитные трубы

Маркировка стеклопластиковых труб:

«П» – изделия могут быть использованы для трубопроводов холодного водоснабжения.

«А» – трубы предназначены для перемещения жидких сред, включающих в себя различные абразивные примеси.

«Г» – трубы применяются для сетей горячего водоснабжения.

«Х» – изделия рассчитаны на химически активные жидкости, нефтепродукты.

«С» – категория труб, которая предназначена для остальных целей.

«Способы изготовления:

Стеклопластиковые трубы изготавливают на основе четырех технологий, кардинально различных между собой. Для получения композитных изделий пользуются:

1) Намоткой (навивкой). Полагается достаточно высокой по производительности и чрезвычайно простой по выполнению. Различают навивку:

- Навивку разделяют по использованию полимерных связующих:
- термореактивных – полиэфирных, фенолформальдегидных, эпоксидных и прочих смол;
- термопластичных – полиамида, полипропилена, полиэтилена, полиэтилен рефталата и пр. В этом случае технология возможна одно- или двустадийная.

Укладывается армирующее стеклянное волокно разными способами, но крупное промышленное производство ведется только четырьмя» [30]: (рисунок 14)

– «спирально-ленточным. Упрощение технологического процесса позволяет получать изделия большого диаметра. Но оборачивается снижением качества, таким способом вырабатываются стеклопластиковые трубы для магистралей со средним или низким давлением;

– продольно-поперечным. При таком способе волокна укладываются машиной независимо друг от друга;

– косослойным продольно-поперечным» [28].



Рисунок 14 – Для изготовления труб используют разные способы навивки и намотки материала

2) «Центробежным формованием (литьем). Этим способом, позволяющим практически неограниченно увеличивать толщину стенок, получают трубы с повышенной кольцевой жесткостью, а также изделия для микротоннелирования, подвергающиеся высоким осевым нагрузкам.

3) Методом пултрузии (протяжки). На высокопроизводительном оборудовании выполняются для отопительных систем, сантехники трубы малого диаметра и удилица.

4) Методом экструзии (выдавливания). Упрощение технологии для повышения производительности до высочайшего уровня позволяет вырабатывать из термопластов, в основном, изделия с не сплошным армированием, т. е., с ухудшенными физико-механическими характеристиками. (рисунок 15)» [27].



Рисунок 15 – Стеклопластиковые трубы различного диаметра

1.5 Стеклобазальтопластиковые трубы

Использование в инженерных и коммунальных сетях современных экономически выгодных, высокопрочных и долговечных российских стеклобазальтопластиковых труб (СБПТ) позволяет решить многие проблемы, возникающие в процессе применения аналогов из традиционных материалов.

«Прочностные характеристики СБПТ сопоставимы со сталью, но СБПТ обладают рядом ощутимых преимуществ: они не подвержены коррозии, невосприимчивы к блуждающим токам, химически стойкие и служат значительно дольше стали, а во многих ситуациях и дольше нержавеющей стали. Теплопроводность СБПТ в 150 раз ниже, чем у стали, что обеспечивает практический энергосберегающий эффект в теплосетях. Они имеют более высокую пропускную способность (до 30%), чем стальные аналоги, на стенках не образуется налипаний и наростов. Это позволяет использовать меньшие диаметры, чем на стальных трубах, или получить экономию электроэнергии при перекачке жидкости» [16].

За последние 20 лет более 1000 км стеклобазальтопластиковых труб смонтировано во многих регионах России на объектах энергетики, химической, атомной, нефтяной промышленности, в теплосетях ЖКХ, водоводах, артезианских скважинах, системах канализации, технологических трубопроводах.

«Стеклобазальтопластиковые трубы, выпускаемые «Заводом базальтовых труб» по современной российской технологии, заметно превосходят по надежности, долговечности и химической стойкости трубы из бетона, полиэтилена и черных металлов, а во многих случаях — и трубы из нержавеющей стали (рисунок 16). При этом они сопоставимы по стоимости с рядовой сталью и значительно дешевле труб из специальной и нержавеющей стали. Монтаж стеклобазальтопластиковых труб быстрее и дешевле монтажа традиционных аналогов. Все это позволяет снизить как инвестиционные, так и приведенные эксплуатационные затраты.

Стеклобазальтопластиковые трубы выдерживают давление до 200 атмосфер и температуру до 130°C, не корродируют, не боятся блуждающих токов, не «зарастают», надежно работают в любых жидкостях. Срок службы СБПТ значительно дольше стальных труб, пропускная способность — на 30% выше, чем у труб из стали.

Стеклобазальтопластиковые трубы по прочности превосходят также полиэтиленовые и полипропиленовые трубы, они не боятся ультрафиолета и грызунов, имеют класс огнестойкости до Г-1 (самозатухающий трудногорючий строительный материал).

Стеклобазальтопластиковые трубы, изготовленные на эпоксидной основе, по прочности, надежности и долговечности значительно превосходят стеклопластиковые трубы на полиэфирной основе зарубежного (Германия, Польша, Турция, Китай и др.) и российского производства (рисунок 17).

Стеклобазальтопластиковые трубы в 4-10 раз легче аналогичных стальных труб и в 2 раза легче полиэтиленовых труб, монтируются просто и быстро, не требуют использования грузоподъемной техники, сварки,

изоляции, электрохимзащиты и привлечения персонала высокой квалификации» [7].



Рисунок 16 – Стеклобазальтовые трубы



Рисунок 17 – Производство стеклобазальтовых труб

Разновидности труб в зависимости от типа смол

«Эксплуатационные свойства описываемых в статье труб могут меняться в зависимости от того, на основе каких именно смол они изготовлены, изделия делятся на две категории.

Стеклобазальтопластиковые трубы, изготовленные на основе полиэфирных смол. Данный материал характеризуется химической нейтральностью, устойчивостью к влиянию разного рода веществ. Однако такие трубы непригодны для эксплуатации в условиях высоких температур (свыше +95-ти градусов) либо высокого давления (максимум – 32 атмосферы)» [3].

«Стеклобазальтопластиковые трубы, выполненные на основе эпоксидных смол. Благодаря эпоксидному связующему, которое применяется в производственном процессе, готовая продукция получается гораздо более прочной. Трубы, изготовленные по такой технологии и имеют большой диаметр, способны переносить очень высокое давление (максимум – 240 атмосфер) и температуру не более +130-ти градусов. Другим преимуществом этого материала считается его относительно низкая теплопроводность, в связи с чем нет необходимости в обустройстве дополнительной теплоизоляции (изделия практически не отдают тепловой энергии). Для монтажа шламоотводящих трубопроводов выбрана именно такая конструкция» [4].

«Стеклобазальтопластиковые трубы легко стыкуются со стальными трубами (рисунок 18). Разъемные и неразъемные соединения и фасонные изделия обеспечивают надежную работу сетей СБПТ в разных условиях: при перепаде высот, в нестабильных и обводненных грунтах. Трубы производят по необходимым заказчику размерам в диапазоне от 0,1 до 13,3 метра. Таким образом для СБПТ необходимо в 1,5-2 раза меньше стыков, что повышает прочность и надежность конструкции, а также сокращает сроки и расходы на монтаж» [27].



Рисунок 18 – Стыковка со стальными трубами

Технико-экономические показатели применения стеклобазальтовых труб.

По сравнению с традиционными стеклопластиковыми трубами в СБПТ применена комбинация стекловолокна и более прочного армирующего базальтового волокна, что позволяет уменьшить толщину стенки и вес изделия при равных характеристиках, либо значительно (на 20%) увеличить прочность СБПТ. Так СБПТ выдерживают давление до 350 атм., есть опыт применения в скважинах глубиной до 3,7 км. СБПТ на 20-30% дешевле аналогичных стеклопластиковых труб большинства российских и в 1,5-2 раза — зарубежных производителей.

СБПТ по температурным характеристикам, прочности и стойкости к долгосрочным нагрузкам значительно превосходят полиэтиленовые (ПЭ) и полипропиленовые трубы. В отличие от стали и пластика СБПТ сохраняют высокие характеристики в любых климатических условиях при самых экстремальных температурах.

При этом СБПТ по стоимости сопоставимы с рядовой сталью, в 2-5 раз дешевле труб из сшитого полиэтилена, значительно дешевле труб из специальных и нержавеющей сталей.

Монтаж СБПТ быстрее и дешевле традиционных аналогов, они в 4-10 раз легче стали, в два раза легче ПЭ, монтируются просто, не нужна грузоподъемная техника, сварка, гидроизоляция, электрохимзащита, для монтажа не требуется персонал высокой квалификации. СБПТ легко стыкуются со стальными трубами, применяются для канальной, бесканальной, бестраншейной укладки, на опорах. Более высокая пропускная способность СБПТ позволяет во многих случаях вести замену старых стальных трубопроводов без вскрытия трасс, что даёт дополнительную экономию и денег, и времени.

В результате применение СБПТ позволяет ощутимо снизить расходы на монтаж, ремонт и содержание сетей, т.е. как инвестиционные, так и приведенные эксплуатационные затраты.

Технология позволяет выпускать СБПТ точно по необходимым заказчику размерам в любом диапазоне от 0,1 до 13,3 метра диаметром 20-500 мм на температуру теплоносителя до 135°C. СБПТ и фасонные изделия к ним производятся по ГОСТ Р 55068-2012.

Холодное водоснабжение (ХВС) и водоотведение –. Срок службы СБПТ в системах ХВС и водоотведения – до 80 лет. Тогда как коррозионная стойкость стали без защитных мероприятий невысока, а электрохимзащита и гидроизоляция дороги. Монтаж стальных трубопроводов обходится в несколько раз дороже, занимает в 3-5 раз больше времени (да еще и возникает проблема с наличием квалифицированных сварщиков). Экономический выигрыш от СБПТ «под ключ» на диаметрах от 200 мм и более с учетом долговременного фактора составляет по ХВС 2-3 раза. При этом незарастающие СБПТ обеспечивают сохранение рабочего прохода и постоянно высокое качество воды.

СБПТ имеет явное (до 2,5 раз) ценовое преимущество по сравнению с ПЭ и другими пластиками на давлениях от 10-12 атм. и выше и на диаметрах от 200-300 мм и более, обеспечивает значительный запас по давлению на случай необходимого увеличения пропускной способности трубопровода.

Требования безопасности и предотвращения ЧС:

- для монтажа СБПТ не нужна сварка, их прокладка возможна без ограничений во взрыво- и пожароопасных помещениях;
- СБПТ могут выпускаться в огнестойком исполнении, а также с антистатической защитой;
- материал СБПТ не является токопроводящим, что исключает электрозамыкания и поражение электротоком через трубу;
- высокая химстойкость и неподверженность коррозии исключает разрушение и протечки трубопроводов в местах попадания на них воды, пара и агрессивных веществ или прохождения электрического тока;
- СБПТ имеют преимущества в мероприятиях по предотвращению ЧС, их малый вес позволяет легко монтировать их на потолках, стенах помещений или колоннах, оставляя незагроможденными проходы для быстрой эвакуации людей и подъезда спецтехники при аварийных ситуациях;
- в случае обрушения конструкций здания легкие СБПТ, не образующие режущих краев и имеющие амортизационный эффект, не представляют опасности для жизни и здоровья находящихся внизу людей, сохранности ценного оборудования;
- извлечение СБПТ для разборки завалов может производиться вручную с применением переносных пил.

1.6 Технология изготовления стеклопластиковых труб

Далее рассмотрим основные способы изготовления стеклопластиковых, и как разновидность стеклобазальтовых труб. «Существует четыре основных способа, рассмотрим каждый из них подробнее. Но для начала отметим, что эксплуатационные свойства готовых изделий могут значительно меняться в зависимости от того, каково число конструктивных слоев.

Простейшие однослойные трубы считаются самыми дешевыми, но стеклопластик в данном случае практически ничем не защищен. У

двухслойных изделий имеется наружная защитная оболочка, повышающая устойчивость к УФ-излучению и разного рода агрессивным средам. Наконец, в изделиях, состоящих из трех слоев, один слой является дополнительным силовым – он располагается между наружным и внутренним. Подобные трубы очень прочны, а потому могут использоваться при очень высоком давлении. Однако следует помнить, что и стоят они при этом недешево.

Технология №1. Экструзия:

В данном случае отвердитель перемешивается со смолой, а также измельченным стекловолокном, а затем полученная смесь продавливается через отверстие посредством специального экструдера. В результате получаем технологичное и достаточно дешевое производство, однако армирующий каркас отсутствует, что влияет на прочностные характеристики продукции» [5] (Рисунок 19).



Рисунок 19 – Изготовление стеклопластиковых труб методом экструзии

Технология №2. Пултрузия:

Изделия формируются уже между внешней и внутренней оправками. Благодаря этому, все поверхности выходят идеально ровными, но по причине производственных ограничений такие трубы не могут изготавливаться с

большим диаметром или рассчитанными на повышенное рабочее давление (Рисунок 20).

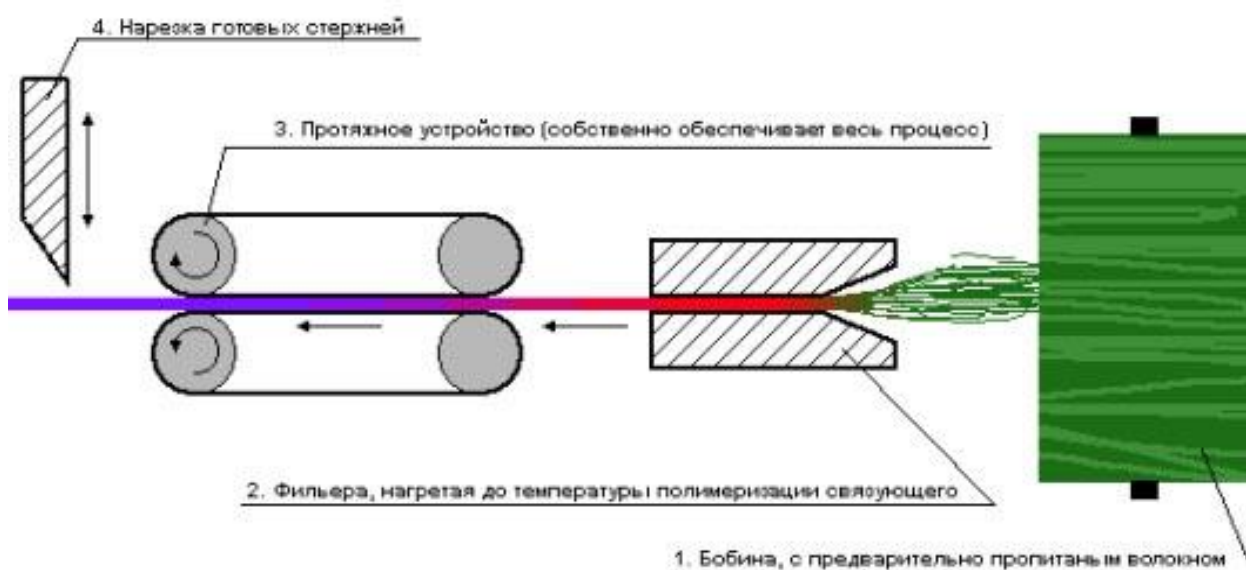


Рисунок 20 – Изготовление стеклопластиковых труб методом пултрузии

Технология №3. «Формование центробежное:

Особенностью метода является то, что армирование в данном случае – это уже готовый рукав, выполненный из стеклоткани, прижимаемый к поверхностям формы, которая вращается благодаря центробежным силам. Из-за этих же сил смола распределяется по стенкам изделий максимально равномерно. Но главное преимущество – это то, что можно получать идеально гладкую внешнюю поверхность. Хотя есть и минус – технология достаточно энергоемкая, а значит, и дорогая» [5] (Рисунок 21).

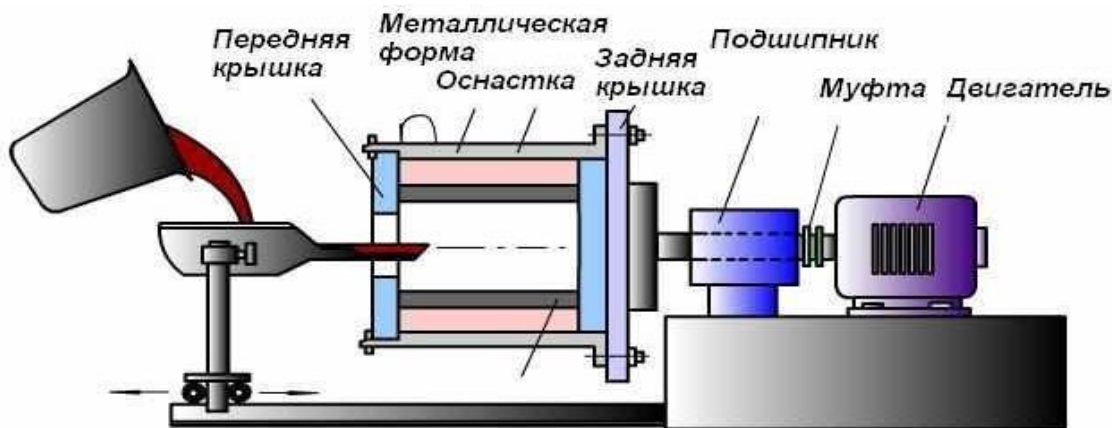


Рисунок 21 – Изготовление стеклопластиковых труб центробежным формованием

Технология №4. «Намотка:

Здесь стекловолокно, которое пропитано связующим, наматывают на оправку цилиндрической формы. То оборудование, что используется для такого производства, получило наибольшее распространение по причине повышенной производительности и простоты (Рисунок 22). Этот способ может быть нескольких видов. Рассмотрим особенности каждой из разновидностей намоток.

Разновидность первая. Спирально-кольцевая

Специальный укладчик движется возвратно-поступательно параллельно вращающейся оправке. После каждого такого прохода остается слой волокон, а шаг при этом перманентный. Благодаря подобной методике намотки, получают предельно прочные на разрыв стеклопластиковые трубы» [5].



Рисунок 22 – Изготовление стеклопластиковых труб методом намотки

«Если нить предварительно натянуть, то прочность готового изделия из-за этого также повысится, а риск возникновения трещин при изгибах будет минимальным. При использовании данного метода производятся насосно-компрессные изделия (они способны выдерживать высокие показатели рабочего давления), различные несущие элементы (в том числе опоры для линий электропередач), а также корпуса для ракетных двигателей.

Разновидность вторая. Спирально-ленточная

Отличается от предыдущей разновидности только тем, что укладчик после каждого прохода оставляет небольшую ленту, состоящую из нескольких десятков волокон. По этой причине (необходимо больше проходов) армирующий слой получается не таким плотным. Преимущество методики в том, что используется более простая, а значит, и более дешевая техника.

Разновидность третья. Продольно-поперечная

Главное отличие состоит в непрерывной намотке – нити одновременно укладываются как продольные, так и поперечные. На первый взгляд, сама технология в данном случае должна быть более простой и дешевой, однако имеется одна трудность – чисто механическая. Так, сама оправка вращается, а потому и катушки тоже должны вращаться (те, из которых наматываются нити). Что характерно, чем больший диаметр будет иметь труба, тем большее число этих катушек понадобится» [5] (Рисунок 23).



Рисунок 23 – Изготовление стеклопластиковых труб методом продольно-поперечной намотки

Разновидность четвертая. Поперечно-продольная косослойная
Методика была создана в Харькове еще во времена СССР и предназначалась для применения в изготовлении ракетных снарядов. Вскоре технология была распространены и в других странах. Суть состоит в том, что укладчиком формируется широкая лента, которая, в свою очередь, состоит из многочисленных волокон, которые пропитаны связующим веществом. Эта лента обматывается не пропитанной нитью еще до намотки — так создается осевая арматура. Каждый новый слой после укладки необходимо прокатывать валиком, который выдавливает излишки связующего и уплотняет армирование (Рисунок 24).



Рисунок 24 – Изготовление стеклопластиковых труб методом продольно-поперечной косослойной намотки

У данной методики имеются важные преимущества:

- производственный процесс является непрерывным, а толщина стенок может быть любой (требуется лишь изменение нахлеста ленты);
- в готовых трубах стекловолокна содержится достаточно много (данный показатель может достигать 85-ти процентов; для примера – у других способов это максимум 40-65 процентов);
- показатель производительности в данном случае также достаточно высокий;
- возможность изготавливать трубы самых больших размеров (теоретически никаких ограничений нет вообще), которые зависят исключительно от габаритов оправки.

Таблицах 2–4 приводятся область применения и основные характеристики стеклопластиковых труб.

Таблица 2 – Основные разновидности стеклопластиковых труб

Обозначение	Область применения
НК	насосно-компрессорные
О	обсадные
Л	линейные

Таблица 3 – Диаметр обсадных и насосно-компрессорных изделий по ГОСТ Р 53201-2008

Внутренний диаметр, мм	Номинальное давление, МПа	Минимальная толщина стенки, мм	Масса погонного метра, кг
50	6,9-27,6	4,3-8,4	1,6-3,3
63	6,9-27,6	4,6-10,7	2,2-5,5
100	10,3-17,2	8,1-12,2	5,8-8,2
150	10,3-17,2	13,5-15,0	14,0-14,9
200	10,3-17,2	13,6-15,0	16,5-18,2

Таблица 4 – Диаметр линейных изделий по ГОСТ Р 53201-2008

Внутренний диаметр, мм	Номинальное давление, МПа	Минимальная толщина стенки, мм	Масса погонного метра, кг
50	10,3-27,6	2,8-8,1	1,2-3,1
63	8,6-27,6	2,8-9,9	1,4-5,2
100	5,5-27,6	2,8-16,0	2,3-12,8
150	5,5-13,8	4,6-11,2	5,1-12,2
200	5,5-13,8	5,8-14,7	8,6-22,6

Для стеклопластиковых (стеклбазальтовых) труб выпускается обширный перечень стандартизированных фитингов, таких как, муфты, отводы, переходы, тройники, фланцевые муфты для перехода на металл.

Выводы по 1 главе:

Проведя анализ применение различных материалов для изготовления труб предназначенных для отвода шламовых вод можно сделать вывод, что наиболее эффективным является стеклобазальтовое волокно на основе полимерного связующего – эпоксидной смоле. Этот материал имеет меньшую массу относительно на других прецизионных материалов для изготовления труб (за исключением пластиковых), не подвержен коллизионным повреждениям, достаточно прост в монтаже, производитель представляет большой выбор фитингов и переходов на металл, обладает малой истираемостью, что особенно важно для отвода шламовых вод. Стеклбазальтовые трубы приняты для проектирования магистрального трубопровода и трубопроводов, отводящих шламовые воды от секций горизонтальных отстойников.

Глава 2 Применение стеклобазальтовых труб на очистных сооружениях воды ООО «АВК»

2.1 Общая характеристика объекта

В результате проведенного анализа литературных источников установлено, что наиболее предпочтительным материалом для изготовления шламов проводов на очистных сооружениях является стеклобазальт на полимерном связующем. Для практического определения целесообразности выбранного решения проведено проектирование и монтаж экспериментального участка трубопроводов. Во второй главе приводятся результаты проведенной работы по замене действующей сети трубопроводов, отводящих шламовые воды с горизонтальных отстойников с запорной арматурой цеха очистных сооружений воды ООО «АВК» г. Тольятти. На рисунке 25 представлена технологическая схема подготовки питьевой воды.

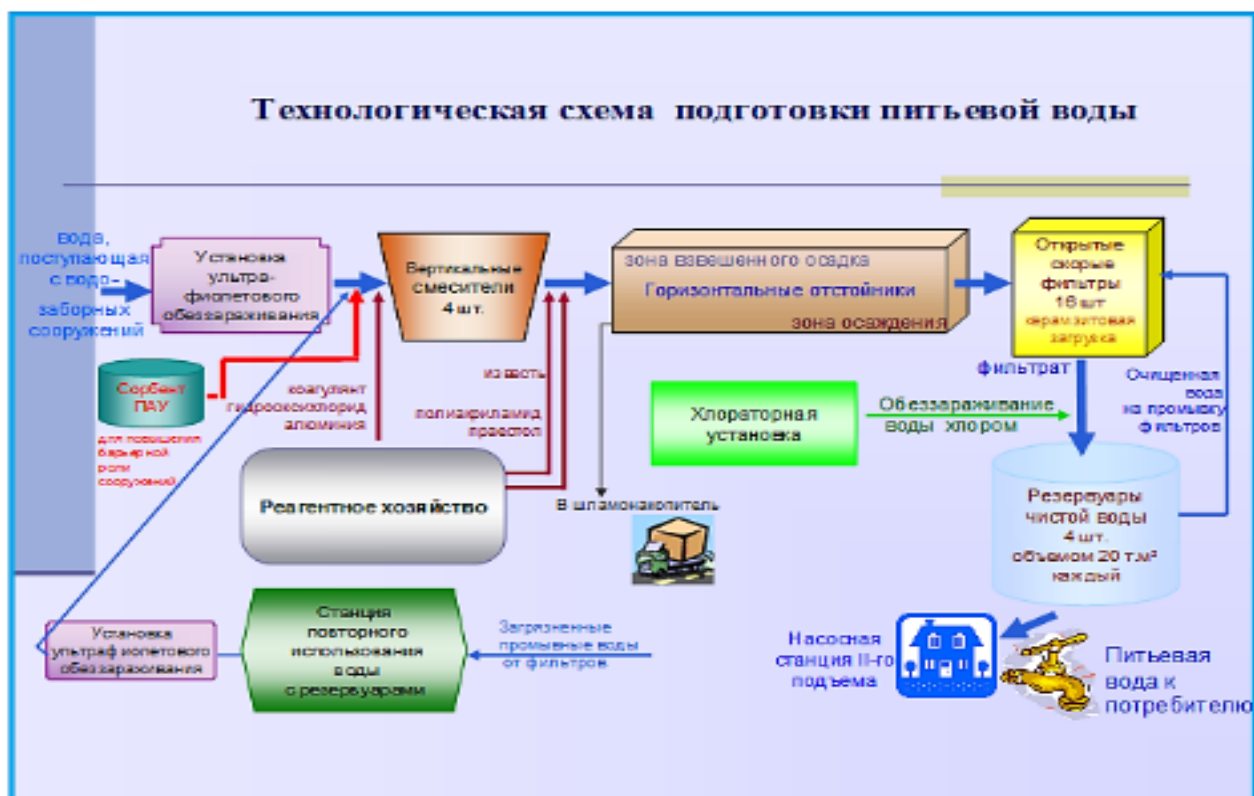


Рисунок 25 – Технологическая схема подготовки питьевой воды
Очистные сооружения воды (ОСВ) ООО «АВК» являются комплексом сооружений по водоподготовке и подаче питьевой воды потребителю. На чертеже 92Т-17/П-ПЗ лист 2 «Ситуационный план» представлен общий план комплекса очистных сооружений.

Горизонтальный отстойник – сооружение, где происходит химический процесс очистки воды от посторонних примесей, т.е. хлопьеобразование и осаждение хлопьев. Отстойник обеспечивает предварительное осветление и обесцвечивание воды перед ее подачей в фильтры. Всего на станции 4 горизонтальных отстойника, каждый отстойник состоит из 6 секций, всего 24 секции. Каждая секция размером 72 х 6 х 4.8 м. Средняя высота воды в отстойнике 4 м.

Горизонтальный отстойник (ГО) состоит из двух отделений: зоны взвешенного осадка и зоны осаждения, длина этих зон по 36 м. Проходя снизу в верх через слой взвешенного осадка вода осветляется и через затопленный водослив попадает в зону осаждения. Для сбора и отвода осветленной воды из каждой секции отстойника зоны осаждения вода отводится в сборный карман, общий для 6 секций каждого отстойника.

Шлам (осадок) из секций зоны взвешенного осадка и зоны осаждения направляют в шламовую насосную станцию цеха, а затем насосами 8-НФ перекачивается в шламонакопитель ООО «АВК».

Согласно ТЗ (раздел «Требования к проектным решениям») в настоящем проекте решаются:

1) замена магистрального трубопровода шламовых вод Ду-600 мм протяженностью 220 м на трубопровод из материала с антикоррозионными свойствами. Схема системы трубопроводов, отводящих шламовые воды с ГО (приложение №1);

2) замена трубопроводов, отводящих шламовые воды от секций отстойников Ду-600 мм протяженностью 120 м на трубопровод из материала

с антикоррозионными свойствами. Схема системы трубопроводов, отводящих шламовые воды с ГО;

3) замена трубопроводов, отводящих шламовые воды от секций отстойников Ду-400 мм протяженностью 120 м на трубопровод из материала с антикоррозионными свойствами. Схема системы трубопроводов, отводящих шламовые воды с ГО;

4) замена трубопроводов, отводящих шламовые воды от секций отстойников Ду-250 мм протяженностью 125 м на трубопровод из материала с антикоррозионными свойствами. Схема системы трубопроводов, отводящих шламовые воды с ГО;

5) замена трубопроводов, отводящих шламовые воды с карманов отстойников Ду-400 мм протяженностью 240 м на трубопровод из материала с антикоррозионными свойствами.

6) замена трубопроводов, отводящих шламовые воды в аварийном режиме в ЛК Ду-600 мм протяженностью 40 м, проложенных через смесительные №1, №2 на трубопровод из материала с антикоррозионными свойствами. Схема системы трубопроводов, отводящих шламовые воды с ГО;

7) разработка элементов ТЭО по выбору материала трубопровода с антикоррозионными свойствами;

8) замена существующей запорной арматуры на затворы Ру-10 с электроприводом или с пневмоприводом;

9) разработка элементов ТЭО по выбору запорной арматуры с электроприводом или с пневмоприводом;

10) Автоматизированную систему управления запорной арматурой выполнить в структуре, действующей на очистных сооружениях воды АСУ ТП;

11) Демонтаж замененных трубопроводов и запорной арматуры;

12) Разработка Проекта организации строительства с поэтапной его реализацией в режиме работы: последовательное отключении в ГО только 3х секций одновременно на период 2 недели.

2.2 Технико-экономическое обоснование выбора оборудования и материалов

2.2.1 Обоснование выбора запорной арматуры

Запорная арматура должна отвечать требованиям при работе в агрессивной среде трубопроводов отводящих шламовые воды, а именно качеству шламового стока от ГО ОСВ ООО «АВК» со следующими характеристиками:

Состав среды стоков по предоставленным данным ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»:

При продувке ГО:

Al- 100 мг\л;

Взвешенные вещества - 420 мг\л;

При очистке секций ГО:

Al - до 2000 мг\л;

Взвешенные вещества - до 12500 мг/л.

Температура стоков в диапазоне от 3 до 25°C.

Удаление осадка из зоны осаждения отстойника производится по двум продольно расположенным перфорированным каналам П-образного профиля с отверстиями в боковых стенах. Шлам из зоны взвешенного осадка и зоны осаждения направляется в шламовую насосную станцию цеха, затем насосами 8-НФ перекачивается в шламонакопитель. Продувка зоны взвешенного осадка и зоны осаждения производится 2 раза в месяц согласно графика.

При принятии Заказчиком решения по установке запорной арматуры с пневмоприводом, следует учитывать желательность установки ресивера,

неподведомственного требованиям РОСТЕХНАДЗОР (Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, "Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением", п. 6.2.2.) по условию соблюдения произведения рабочего избыточного давления в ресивере (в атм., бар) на объем ресивера в литрах ($P \times V$). Это произведение $P \times V$ не должно превышать значения ≤ 10000 . В нашем случае давление воздуха в ресивере по предложению компании FESTO не превышает 1,0 МПа (10 бар), а объем ресивера 900 л. Произведение этих величин в нашем случае составляет 9000. Рабочее давление в пневматической системе до пневмоприводов составляет 6 бар. Регулирование этого давления осуществляется за счет блока подготовки воздуха (в его состав уже входит регулятор давления).

В проекте проведена сравнительная разработка элементов ТЭО с выбором марки и вида привода запорной арматуры (с электроприводом или с пневмоприводом). Замена трубопроводов и запорной арматуры шламовых вод по условиям выполнения работ рассчитана на последовательное отключение в горизонтальных отстойниках (зоны взвешенного осадка и зоны осаждения) только 3х секций одновременно на период 2 недели.

Ниже приводятся характеристики запорной арматуры с электроприводом и с пневмоприводом с целью принятия Заказчиком решения по включению в проект одного из видов привода арматуры. Различие рабочих сред сказывается на характеристиках приводов и в этом разделе мы рассмотрим достоинства и недостатки двух типов привода, а также представим стоимостные показатели выбранных электро- и пневмоприводов для трубопроводной арматуры.

Выбор типа привода зависит от начальных ресурсов объекта, его потребностей, а также финансовых и технических возможностей предприятия.

В результате анализа работы, действующей сети трубопроводов, отводящих шламовые воды с горизонтальных (секций и карманов)

отстойников с запорной арматурой цеха очистных сооружений воды на объекте ООО «АВК» г. Тольятти, в соответствии с пожеланиями Заказчика, к рассмотрению приняты 2 варианта приводов (Таблицы 5, 6):

Таблица 5 – Запорная арматура фирмы HAWLE с электроприводом фирмы AUMA (вариант 1)

Наименование	Ед. измер.	Кол-во	Цена, руб.	Сумма руб.
Затвор поворотный фланцевый DN250 PN16, Hawle	шт.	48	166115,65	7 973551,20
Затвор поворотный фланцевый DN600 PN10, Hawle	шт.	28	596199,07	16 693573,96
Электропривод SA10.2/F10, открыть/закрыть, U=380V, IP68	шт.	76	96 357,32	7 323 156,32
			ИТОГО:	31990281,48

Таблица 6 – Запорная арматура VZAV с пневмоприводом DAPS CS фирмы FESTO (вариант 2)

Наименование	Ед. измер.	Кол-во	Цена, руб.	Сумма руб.
DAPS- CS1565585A \пневмопривод, для затвора Ду600 с датчиком крайних положений, пневмораспределителем, ручным дублиром/редуктором	шт.	28	98030,24	2 744846,72
Затвор VZAV -U-600-10-S8PN10-H1PU70-V5-V3-SBRA	шт.	28	224 315,10 6	280822,80
DAPS- CS1565588A \пневмопривод, для затвора Ду250 с датчиком крайних положений, пневмораспределителем, ручным дублиром/редуктором	шт.	48	27075,94	1 299645,12
Затвор VZAV - U -250-10-S8PN10-H1EP 200-V5-V3-SBRA	шт.	48	32702,78 1	569733,44
компрессор-2шт., ресивер 500л - 1шт., с блоком подготовки воздуха, с датчиком давления	компл.	1	321 576,00	321 576,00
PUN - CS1562773A, комплект «шланги и фитинги»	компл.	1	11690,00	11690,00
			ИТОГО:	12228314,08

Техническая характеристика поворотного затвора с электроприводом AUMA:

– для затвора Ду250 с редуктором ТК2 (F10) количество оборотов равно – 10, т.е. на открытие или закрытие затвора требуется $10/3 = 3.33$ сек

– для затвора Ду600 с редуктором ТК4-D4 (F10) количество оборотов равно – 43,5 т.е. на открытие или закрытие затвора требуется $43.5/3 = 14,5$ сек.

Время на открытие и закрытие одного затвора Ду250 составляет 6,67 сек., а Ду600 составляет 29.0 сек. А это составляет для Ду250-0,00185 ч, а для Ду600 – 0,00806 ч. Расход электроэнергии на открытие и закрытие одного затвора составит:

Для Ду250 $1558.57 \times 0,00185 = 2,88$ Вт ч.

Для Ду600 $1558.57 \times 0,00806 = 12,56$ Вт ч.

Суммарный расход электроэнергии на открытие и закрытие поворотных затворов горизонтальных отстойников 12 секций зоны взвешенного осадка (ГОЗВО, отстойники № 1,2) и 12 секций зоны осаждения (ГОЗО, отстойники № 3,4) Ду250 и Ду600 для отвода шламовой воды 2 раза в месяц, электроприводом представлен в таблице 2.3.

Мощность компрессора фирмы REMEZA составляет на выходном валу 3 кВт, а потребляемая мощность из сети должна учитывать КПД и составит $3/0.78 = 3.85$ кВт. Расход воздуха на выходе из компрессора составляет 440 норм.л/мин или 7,33 норм.л/сек. Пневматический привод фирмы FESTO потребляет на цикл открытия - закрытия одного затвора Ду250 – 7,2 норм.л воздуха за время 5 сек., а на открытие – закрытие затвора Ду600 77,4 норм.л воздуха за 15 сек. Для возобновления израсходованного воздуха, компрессор должен работать при указанной производительности для затвора Ду250 - 1 сек, а для затвора Ду600 – 10,56 сек.

Это составляет для Ду250 - 0,000277 ч, а для Ду600 – 0,00293 ч. Расход электроэнергии на открытие и закрытие одного затвора составит: Для Ду250 $3850 \times 0,000277 = 1,066$ Вт ч. Для Ду600 $3850 \times 0,00293 = 11,293$ Вт ч.

Таблица 7 – Суммарный расход электроэнергии привод поворотных затворов

Диаметр затвора	Количество затворов, для слива с 1 секции шт.	Расход электроэнергии на откр.+закр. одногозатвора, Вт.ч.	Расход электроэнергии на откр.+закр. затворов одной секции, Вт.ч	Расход электроэнергии на откр.+закр. затворов одного ГО, Вт.ч	Годовой расход электроэнергии на откр.+закр. затворов одного ГО, Вт.ч
250	2	2,88	5,76	34,56	829,44
600	5	12,56	62,80	376.80	9043.2
250	2	2,88	5,76	34,56	829,44
600	4	12,56	50,24	301.44	7234.56
250	2	2,88	5,76	34,56	829,44
600	3	12,56	37,68	226.08	5425.92
250	2	2,88	5,76	34,56	829,44
600	2	12,56	25,12	150.72	3617.28
	Годовой расход электроэнергии на затворы Ду250. Вт ч				3317.76
	Годовой расход электроэнергии на затворы Ду600. Вт ч				25320.96
	Суммарный годовой расход электроэнергии на затворы кВтч				28.64

Расход электроэнергии затраченной на привод компрессора для обеспечения работы пневмоприводов при открытии и закрытии поворотных затворов горизонтальных отстойников 12 секций зоны взвешенного осадка (ГОЗВО) и 12 секций зоны осаждения (ГОЗО) Ду250 и Ду600 для отвода шламовой воды 2 раза в месяц, представлен в таблице 8.

Однозначно, затраты по расходу электроэнергии на открытие и закрытие затворов при использовании пневмопривода и питания соленоида соизмеримы с затратами электропривода.

За месяц каждая секция отстойников промывается 2 раза. Годовой расход электроэнергии на электропривод фирмы AUMA - 28,64 кВт ч. Годовой расход электроэнергии на пневматический привод фирмы FESTO составляет 23.995 кВт ч;

Таблица 8 – Суммарный расход электроэнергии на пневматический привод поворотных затворов

Диаметр затвора	Количество затворов, для слива с 1 секции шт.	Расход электроэнергии на откр.+закр. одногозатвора, Вт.ч.	Расход электроэнергии на откр.+закр. затворов одной секции, Вт.ч	Расход электроэнергии на откр.+закр. затворов одного ГО, Вт.ч	Годовой расход электроэнергии на откр.+закр. затворов одного ГО, Вт.ч
250	2	1,066	2,13	12,80	307,14
600	5	11,293	56,465	338.79	8130.96
250	2	1,066	2,13	12,80	307,14
600	4	11,293	45,17	271.03	6504.76
250	2	1,066	2,13	12,80	307,14
600	3	11,293	33,88	203.27	4878.58
250	2	1,066	2,13	12,80	307,14
600	2	11,293	22,59	135.52	3252.38
	Годовой расход электроэнергии на затворы Ду250. Вт ч				1228.56
	Годовой расход электроэнергии на затворы Ду600. Вт ч				22766.68
	Суммарный годовой расход электроэнергии на затворы кВтч				23.995

Превышение годового расхода электроэнергии при использовании электропривода над пневмоприводом составляет 4,645кВтч. Тариф на электроэнергию для промышленных предприятий по Самарской области (Приложение к Приказу министерства энергетики ЖКХ Самарской области от 28.12.2016 №833 и г. Тольятти) составляет 3,554 руб. /кВт ч. Переплата за электроэнергию при использовании электропривода в год составляет соответственно 16,51 руб. Эксплуатационные затраты по обслуживанию компрессора (замена масла, фильтр-патрона и т.п.) по данным компании ФЕСТО составят около 3700 рублей в год.

Одним из вариантов альтернативного привода для автоматизации технологии срабатывания запорных устройств при отводе шламовых вод от горизонтальных отстойников является пневмопривод.

Сравнение затрат при использовании пневмопривода или электропривода представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Сравнение затрат при использовании пневмопривода или электропривода

Наименование затрат	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.	П/привод Сумма тыс. руб.	Э/привод Сумма тыс. руб.
Электропривод SA10.2/F10, открыть/закрыть U=380V, IP68, AUMA	шт.	76	96 357,3		7 323,15
DAPS- CS1565585A \пневмопривод, для затвора Ду600 с датчиком крайних положений, пневмораспределителем, ручным дублиром/редуктором	шт.	28	98030,2	2 744,84	
DAPS- CS1565588A \пневмопривод, для затвора Ду250 с датчиком крайних положений, пневмораспределителем, ручным дублиром/редуктором	шт.	48	27075,94	1 299,64	
Годовой расход электроэнергии на электропривод фирмы AUMA	кВт ч	28,64	3,554		0,102
Годовой расход электроэнергии на пневматический привод фирмы FESTO	кВт ч	23,99	3,554	0,09	
ИТОГО				4044,57	7 323. 26

Без учета стоимости пневмо- и электроприводов годовые затраты по расходу электроэнергии на обеспечение работы поворотных затворов на магистралях горизонтальных отстойников минимальны. В тоже время стоимость электропривода превышает стоимость пневмопривода на 3 276 664 руб.

Поэтому, на одобрение Заказчика представляется решение об использовании на трубопроводах шламовых вод горизонтальных отстойников поворотных затворов с пневмоприводом.

2.2.2 Обоснование выбора материалы трубопровода

Инженерные сети трубопроводов различают по длине, характеру и рабочим параметрам транспортируемой среды. Для качественного строительства и монтажа, эффективной и продолжительной эксплуатации необходим правильный выбор труб с учетом целого ряда факторов. Основными критериями являются:

Диаметр. Обуславливается расходом транспортируемого потока.

Толщина стенки. Определяется в соответствии с давлением среды.

Марка стали. Зависит от коррозионной активности транспортируемой среды.

Материалы, используемые при производстве трубопроводов, должны обеспечивать надежность работы на протяжении всего срока службы в заданных условиях эксплуатации - при расчетном давлении, температуре, характере, составе среды и внешнем воздействии. Выбор материала обуславливается химическим составом, легирующих добавок и основными механическими свойствами - пределами прочности и текучести, ударной вязкостью и твердостью.

Стеклопластики представляют собой композитные конструкционные материалы, сочетающие высокую прочность с относительно небольшой плотностью. В зависимости от вида армирующего наполнителя, трубы из полимерных композитных материалов (ПКМ) с полимерным связующим из терморезистивного материала. Для композитных труб применяются, как правило, эпоксидные или полиэфирные связующие. Трубы из стекло-базальтопластика (СБПТ) классифицируются по жесткости, номинальному давлению и внутреннему диаметру. Технологический процесс изготовления стеклопластиковых труб и фасонных изделий заключается в послойном нанесении на оправку стеклонитей, пропитанных связующим, – по заданной схеме армирования. Тип связующего выбирается в соответствии со свойствами транспортируемой по трубопроводу среды и условием обеспечения монолитности. Схема армирования определяется в результате

расчета, выполненного в соответствии с международными стандартами на основании заданных условий монтажа и эксплуатации трубопровода. Особое значение имеет научно-обоснованный подход к разработке применяемых материалов, их сочетанию, конструкции стенки трубы и узлов стыка, намотки, режимам отверждения и технологии этих процессов.

Под классом жесткости (SN или G) стеклобазальтопластиковой трубы подразумевается поперечная жесткость трубы, то есть способность стенок трубы выдерживать нагрузки, приводящие к деформации или сжатию трубы в плоскости, перпендикулярной оси трубы. Чем толще стенка, тем выше жесткость и способность к сопротивлению нагрузкам.

Под классом давления PN понимается такое внутреннее давление, которое может поддерживаться в трубопроводе на протяжении всего периода эксплуатации при заданном запасе прочности. Класс давления трубы определяется исходя из долговременной прочности (в течение 50 лет) с применением коэффициента безопасности (запаса прочности), равного 1,8. Технологические процессы производства стеклопластиковых труб позволяют изготавливать трубы с внутренним покровным слоем, стойким к воздействию разных сред. В России стеклопластиковые трубы и детали в зависимости от температуры, содержания твердых компонентов, химического состава транспортируемого вещества изготавливают с различными защитными внутренними покрытиями.

Типы стекло-базальтопластиковых труб различных производителей разделяются на три группы по следующим признакам:

- по типу связующего (матрицы): эпоксидные или полиэфирные;
- по типу соединения труб: клеевое или механическое;
- по конструкции стенки трубы: чистый стеклопластик (без футеровки), стеклопластик с пленочным слоем (футерованные трубы), многослойные конструкции.

Согласно техническому заданию, при эксплуатации трубопровода вместе с транспортируемыми жидкостями возможно попадание абразивных

частиц (твердые не растворимые осадки), перемещающиеся вместе с потоком, вследствие чего трубы постоянно подвергаются истиранию, называемому гидроабразивным износом.

Основной методикой оценки гидроабразивного износа труб является метод испытаний получивший название «Дармштадский метод», разработанный в Институте исследования пластмасс г. Дармштадт, Германия. Данный метод соответствует требованиям национальных технических условий по проведению испытаний в отношении различных типов труб. Результаты исследований износоустойчивости труб из различных материалов представлены на рисунке 26.

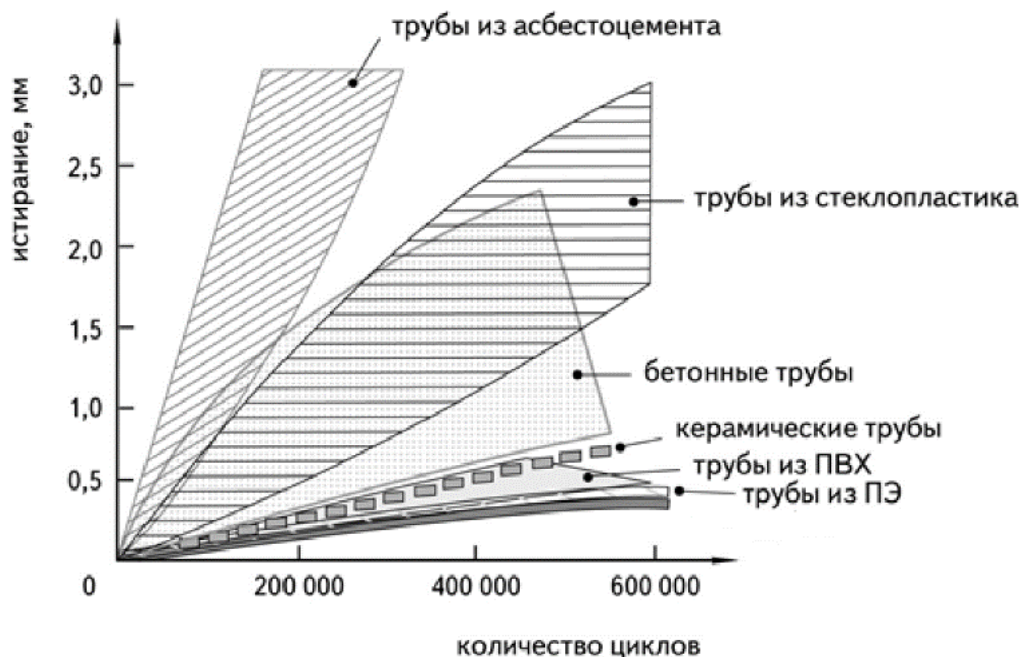


Рисунок 26 – Износоустойчивость труб из различных материалов.

2.2.3 Способы соединения участков труб

Трубы и соединительные детали из стеклобазальтопластика изготавливаются под стыковые соединения следующих типов:

Ф – фланцевое соединение осуществляется с помощью специального кольца, расположенного на торце трубы и имеющего отверстия для крепежных элементов;

Б – бугельное соединение. Представляет собой разновидность муфтового соединения – разъемное приспособление, которое после стыковки труб стягивают болтами;

М – муфтовое соединение, которое может быть, как съёмным, так и несъёмным. В последнем случае муфты устанавливают на специальный клей;

МК – муфтовый клеевой;

Р – раструбный способ стыковки труб, хорошо идентичный используемому при прокладке канализационных труб;

С – специальный способ соединения, включающий в себя винтовые и резьбовые соединения.

Наиболее распространенным видам соединений относятся:

1) Раструбно-шиповое соединение с двойным кольцевым уплотнением.

2) Обеспечивает быструю и надежную сборку труб и фасонных элементов. Два эластичных кольцевых уплотнения круглого сечения, устанавливаемые в параллельные окружные канавки на шиповой законцовке, обеспечивают герметичность стыка в напорных и безнапорных трубопроводах. В зависимости от характеристик транспортируемой по трубопроводу среды применяются кольцевые уплотнения из различных марок резиновых смесей.

3) Раструбно-шиповое соединение с двойным кольцевым уплотнением и стопорным элементом.

4) Для компенсации действия на трубопровод осевых сил (например, в надземных трубопроводах) в раструбно-шиповом соединении применяется стопорный элемент, который устанавливается через отверстие в раструбе в кольцевые пазы на шиповой и раструбной законцовках и препятствует осевому перемещению элементов трубопровода относительно друг друга. В зависимости от уровня осевых сил стопорный элемент может быть круглого или прямоугольного сечения и выполняться из различных материалов (полиамид, ПВХ, металлический трос).

5) Фланцевое соединение. Используется для соединения элементов стеклопластикового трубопровода с металлическими трубопроводами и арматурой. Присоединительные размеры стеклопластиковых фланцев выполняются по ГОСТ 12815-80.

б) Клеевое стыковое соединение – выполняется путем послойного нанесения на гладкие законцовки труб армирующих стекломатериалов, пропитанных полиэфирным связующим «холодного» отверждения. Соединение обеспечивает герметичность и прочность конструкции в осевом и окружном направлении. В отличие от остальных видов соединения, является неразборным.

2.3 Исследовательская часть

В соответствии с техническим заданием и рабочим проектом, проведены монтажные работы первого экспериментального участка. Для определения целесообразности выполнения дальнейших работ необходимо провести обследование и испытания смонтированного участка, определить возникшие проблемы, выявить дефекты, разработать мероприятия по устранению выявленных недостатков.

Визуальный осмотр объекта, фотофиксация, замеры диаметра и толщины стенки труб проведены 14 января 2020 в помещении цеха ОСВ ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ» в г. Тольятти; 16 января 2020 в помещении склада ООО «ГАЗСЕРВИС» в г. Жигулёвске. Осмотр проводился при искусственном освещении. Определение геометрических характеристик трубы проводились с использованием средства измерений, перечисленных в приложении 2.

Объектом исследования являются трубопроводы шламовых вод горизонтального отстойника – блока №4 (проектный блок №1) ОСВ ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ», расположенный по адресу: Самарская область, г. Тольятти ул. Вокзальная, 116.

Контрольным измерениям наружного диаметра и толщины стенки подвергалось по два, случайно выбранных, образца стеклобазальтовой трубы условными диаметрами 250, 400, 600 мм, изготовленной по ГОСТ Р 55068-2012 Трубы и детали трубопроводов из композитных материалов на основе эпоксидных связующих, армированных стекло- и базальтоволокнами. Технические условия [1]. Все образцы выдерживались в выше означенных помещениях на протяжении нескольких дней в соответствие с требованиями [3]. Для актуального измерения толщины стенки, рассматривались отрезки трубы не менее 500 мм длиной, т.к. на концах трубы возможно значительное отклонение геометрических размеров по технологическим причинам [2].

2.3.1 Методика измерения

Измерительный контроль выполняют с целью определения соответствия геометрических размеров конструкций, допустимости повреждений материала и качество соединений, требованиям рабочих чертежей, ТУ, стандартов и паспортов. Визуальный и измерительный контроль рекомендуется выполнять на стационарных участках, которые должны быть оборудованы средствами, обеспечивающими удобство выполнения работ.

Для выполнения контроля должен быть обеспечен достаточный обзор для глаз специалиста. Подлежащая контролю поверхность должна рассматриваться под углом более 30° к плоскости объекта контроля и с расстояния до 600 мм. При необходимости внутренние устройства должны быть удалены, изоляционное покрытие и обмуровка, препятствующие контролю технического состояния материала и соединений.

Перед проведением визуального и измерительного контроля поверхность объекта в зоне контроля подлежит зачистке от грязи, краски, масла, влаги, шлака, и других загрязнений, препятствующих проведению контроля.

При контроле окрашенных объектов краска с поверхности в зоне контроля не удаляется, если это специально не оговорено в НД и поверхность

объекта не вызывает подозрения на наличие трещин по результатам визуального контроля.

Замер произведён по методике, изложенной в [1].

«10.1.1 Определение внутреннего диаметра и толщины стенки труб производят штангенциркулями по ГОСТ 166, с пределами измерений до 630 мм. За результат испытания каждого параметра принимают среднее арифметическое четырех измерений с обоих концов трубы в двух взаимно перпендикулярных радиальных направлениях.

10.1.3 Внутренний диаметр трубы измеряют в двух взаимно перпендикулярных радиальных направлениях с обоих концов трубы. За результат измерения принимают среднее арифметическое четырех измерений.

10.1.4 Толщину стенки трубы в случае отсутствия механической обработки измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях с обоих концов трубы. За результат измерения принимают среднее арифметическое четырех измерений. При этом нигде толщина не должна быть меньше минимально допустимой.

10.1.6 Допускается использование других средств измерений, обеспечивающих требуемую точность измерения.

В зависимости от материала, размеров и особенностей формы элементов могут применяться также не предусмотренные настоящим стандартом средства, обеспечивающие требуемую по ГОСТ 26433.0 точность измерений».

Учтены требования [2].

п.1.2.1. Прямое измерение диаметра методом покачивания рулеткой, линейкой, штангенциркулем (рисунок 27):

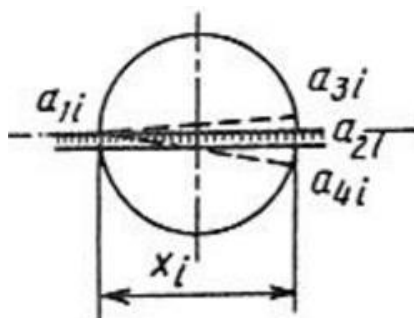


Рисунок 27

$$x_i = a_{2i} - a_{1i} = X_i - X_{nom}, \quad (1)$$

где a_{2i} — максимальный отсчет из возможных отсчетов (a_{2j} , a_{2i} , a_{4i}).

п.1.2.3. Косвенное измерение диаметра (рисунок 28):

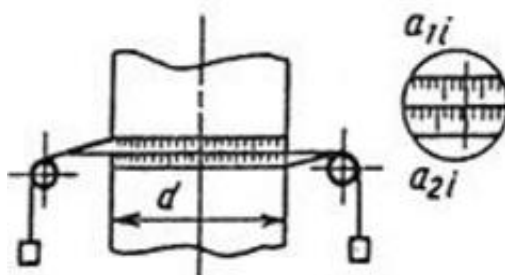


Рисунок 28

а) методом опоясывания рулеткой

$$d = (a_{2i} - a_{1i}) / \pi \quad (2)$$

Обработка результатов измерений проведена по методике, изложенной в [8] см. таблицу 2. Результатом прямого измерения геометрического параметра x в каждом сечении или месте является среднеарифметическое значение x_{cp} из m результатов наблюдений x_j этого параметра, принимаемое за действительное значение x_i параметра x в данном сечении или месте.

$$x_i = \bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m}, \quad (3)$$

где $i=1 \dots n$ — число сечений или мест измерений;

$j=1 \dots m$ — число наблюдений в каждом сечении или месте.

Среднеквадратическую погрешность результата измерений находят по формуле

$$S_{x,met} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x})^2}{m(M-1)}}, \quad (4)$$

Действительную погрешность измерения при многократных наблюдениях определяют по формуле

$$\Delta x_{s,met} = t S_{x,met}, \quad (5)$$

где $S_{x,met}$ – средняя квадратическая погрешность измерения;

t – коэффициент (принимается по таблице 10).

Таблица 10 – Доверительные вероятности

Доверительные вероятности	Значения t при M , равном			
	20	10	8	6
0,95	2	2,3	2,4	2,6
0,99	2,5	3,2	3,5	4,0

2.3.2 Результаты измерений

Согласно методике измерений, для замеров отобрано по 2 образца трубы условными диаметрами 400 и 600 в помещении цеха ОСВ ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ» в г. Тольятти и 2 образца трубы условными диаметром 250 на складе ООО «ГАЗСЕРВИС» в г. Жигулёвске. Измерения наружного диаметра проведены в 8 точках (см. рис. 29) в прямом и обратном направлениях для проверки наличия овальности и огранки. В этих же точках измерена толщина стенки.

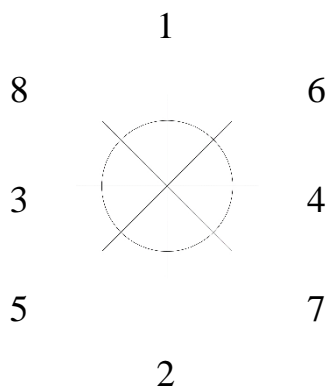


Рисунок 29 – Нумерация точек замера

Результаты, полученные методом опоясывания рулеткой, дали значительно большую погрешность по сравнению с прямым измерением диаметра методом покачивания рулеткой, линейкой, штангенциркулем и для дальнейшей обработки отставлены. Результаты измерения диаметров с указанием расположения точек измерения приведены в таблице 11. Рассчитано по формуле 3 среднее значение наружного диаметра. Некоторый разброс значений связан с незначительным отклонением формы трубы от окружности. Образец 1 имеет овальность 1,5 – 2 мм; образец 2 имеет овальность 4 – 4,5 мм. Отклонения формы (см. рисунок 30) остальных образцов не более 2 мм и находятся в пределах погрешности измерений.

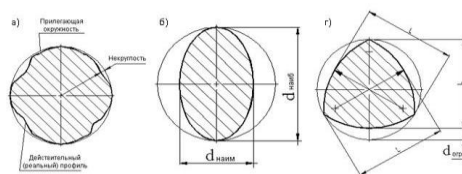
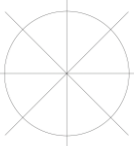
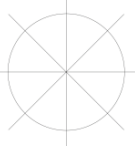
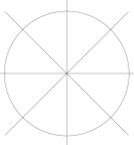
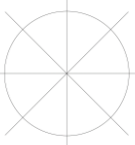
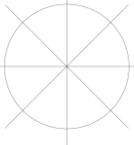
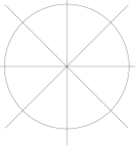


Рисунок 30 –Характерные формы отклонения сечения

Таблица 11 – Результаты измерения диаметров

образец 1				образец 2				
	420				419			
419		412	420	410		416	419	
			412				416	
417		416	416	419		419	419	419
			416	416				410
419		416	420	419		410	419	
	420		419		419		419	
			417				419	
			419				410	
	средний	дн=	417,375		средний	дн=	416,375	
образец 3				образец 4				
	624				623			
622		622	624	622		623	623	
			622				623	
622		622	622	620		620	620	620
			622	622				622
622		622	624	622		622	622	
	624		622		622		622	
			622				620	
			622				622	
	средний	дн=	622,50		средний	дн=	621,75	
образец 5				образец 6				
	256				255			
256		256	256	255		256	255	
			256				256	
256		256	256	254		255	255	255
			256	256				255
256		256	256	256		255	255	
	256		256		255		256	
			256				254	
			256				255	
	средний	дн=	256,00		средний	дн=	255,125	

При визуальном контроле (таблица 12), регламентированном [2] проверено.

Таблица 12 – Результаты визуального контроля

Контролируемый параметр	Образец №					
	1	2	3	4	5	6
Отсутствие (-) / наличие (+) механических повреждений поверхностей	-	-	-	-	-	-
Отсутствие (-) / наличие (+) формоизменения элементов конструкций (деформированные участки, коробление, провисание и другие отклонения от	+	+	-	-	-	-

первоначального расположения)						
Отсутствие (-) / наличие (+) трещин и других поверхностных дефектов, образовавшихся (получивших развитие) в процессе эксплуатации	-	-	-	-	-	-
Отсутствие коррозионного или механического износа поверхностей	-	-	-	-	-	-

Измерение толщины стенки для труб наружным диаметром 400 мм выполнено в 8 диаметральных точках от края среза с шагом 5 мм, всего по каждому направлению 5 измерений.

После предварительной статистической обработки измерений толщины стенки трубы диаметром 400 мм, получен большой разброс значений. Результаты не имеют нормального распределения случайных величин. Это связано с тем, что толщина стенки трубы колеблется в пределах 1 мм, что превышает точность стенкомера в 100 раз, минимальное значение толщины составляет 5,44 мм (образец 1) мм 5,86 мм (образец 1), что **соответствует** требованиям [1] с учётом погрешности, для диаметра 400 (толщина стенки не менее 5,5 мм соответственно). Проводить по 40 измерений стенкомером с точностью 0,01 мм не целесообразно. Измерение толщины стенки образцов 3 – 6 выполнено штангенциркулем с точностью 0,05 мм в 8 диаметральных точках.

2.3.3 Анализ на соответствие измеренных геометрических размеров требованиям ГОСТ

В таблице 13 приведены результаты анализа на соответствие измеренных геометрических размеров требованиям [1].

Таблица 13 – Результаты анализа на соответствие измеренных геометрических размеров

Нормативное требование	Соответствие
5.1.2 Номинальный диаметр труб, должен соответствовать значениям, указанным в таблице 1. По согласованию между изготовителем и потребителем, по технической документации, утвержденной в установленном порядке, допускается изготовление труб с другим номинальным	Соответствует Проведены измерения DN 250 DN 400

диаметром, находящимся в пределах значений, указанных в таблице 1.	DN 600
5.1.3 Номинальное давление должно соответствовать диапазону значений от 0,1 до 25,0. Конкретные значения номинального давления в пределах указанного диапазона значений устанавливаются по согласованию между изготовителем и потребителем в зависимости от условий эксплуатации.	Соответствует (подтверждено актом №2 от 27 ноября 2019 г.)
6.2.5 Внутренний диаметр трубы должен иметь следующие предельные отклонения: - в диапазоне диаметров от 175 до 300 мм +0,30 мм - в диапазоне диаметров от 400 до 600 мм +0,35 мм	Не соответствует См таблицы замеров
6.3.2 Внутренняя поверхность изделий должна быть гладкой; на ней допускаются следы от формообразующей оправки высотой до 0,2 мм и отпечатки от слоев антиадгезивной пленки - до 0,05 мм.	Не соответствует
6.3.3 На наружной поверхности допускаются риски, царапины, местные раковины в слое связующего глубиной до 0,5 мм.	Соответствует
6.3.4 На наружной поверхности допускаются волнистость, неровности и местные наплывы смолы высотой до 3 мм. При превышении высоты наплыва допускается местная зачистка. Места зачистки должны быть покрыты защитным слоем эпоксидного связующего с последующим отверждением его.	Соответствует
6.3.5 В стенке изделий не допускаются трещины, расслоения, посторонние включения, вздутия и дефекты, вызванные нарушениями технологического процесса их производства или механическими воздействиями.	Соответствует на измеренных срезах
6.3.6 Концы труб и фитингов должны быть обрезаны на нужный размер под прямым углом к оси, зачищены от заусениц и не должны иметь расслоений по торцам.	Соответствует на измеренных срезах
А.1 Толщина стенки, масса и кольцевая жесткость стеклобазальтокомпозитных труб с соединениями "К" и "КЛ"	Соответствует

2.4 Проверка качества соединений трубопровода

Соединения трубопроводов выполнены в соответствии с требованиями [1]. Качество соединений проверено при гидравлических испытаниях (подтверждено актом №2 от 27 ноября 2019 г.). После проведения гидравлических испытаний обнаруженные дефекты устранены поверхность трубопровода окрашена (рисунки 31 – 36).



Рисунок 31 – Общий вид смонтированных трубопроводов



Рисунок 32 – Фланцевое соединение



Рисунок 33 – Заглушенный тройник



Рисунок 34 – Торцевая заглушка



Рисунок 35 – Тройник и запорная арматура



Рисунок 36 – Заводская маркировка

Часть фитингов отбракована на входном контроле, о чём составлены соответствующие акты. Основная причина отбраковки не выдержанные геометрические размеры (огранка, эллипсность), не качественные сопряжения элементов фитинга (рисунки 37 – 44).



Рисунок 37 – Дефект покрытия



Рисунок 38 – Отслоение наружного слоя



Рисунок 39 – Огранка слева



Рисунок 40 – Дефект сопряжения



Рисунок 41 – Внутреннее отслоение



Рисунок 42 – Подтёки связующего на наружной поверхности



Рисунок 43 – следы от
формообразующей оправки



Рисунок 44 – следы от
формообразующей оправки

На рисунках 45 – 50 показаны отобранные для геометрических измерений образцы труб. Выборка произведена случайным образом из фрагментом труб находящихся на складах.



Рисунок 45 – Образец №1 DN400



Рисунок 46 – Образец №2 DN400



Рисунок 47 – Образец №3 DN600



Рисунок 48 – Образец №4 DN600



Рисунок 49 – Образец №5 DN250



Рисунок 50 – Образец №6 DN250

Образец сложного тройника, находящийся на складе ООО «ГАЗСЕРВИС» в г. Жигулёвске на момент проведения экспертизы для измерения не пригоден, т.к. он храниться под открытым небом, имеет налипание снега и наружное обледенение (рисунки 51 – 52).



Рисунок 51 – Тройник



Рисунок 52 – Налипание снега и наружное обледенение

2.5 Заключение о соответствии выполненных работ по монтажу трубопроводов проекту и нормативным требованиям

Выполненные работы по монтажу первой очереди трубопроводов системы шламоотведения соответствует проектной документации 92Т-17/Р (раздел ТХ), ГОСТ [1], требованиям СП по монтажу, эксплуатации и ремонту трубопроводов из полимерных композитных материалов [6]. Выбор толщины стенки трубы выполнен в соответствии с рабочим давлением в гидравлической системе [7]. Способы соединения пластмассовых труб, соединительных деталей, арматуры и места их расположения соответствуют проектом. Вид

соединения приняты из условий обеспечения герметичности и прочности трубопровода на весь проектируемый срок эксплуатации, а также технологичности при монтаже и возможности ремонта трубопровода. Разъемные соединения расположены в местах установки на трубопроводе арматуры и присоединения к оборудованию и для возможности демонтажа элементов трубопровода в процессе эксплуатации [6]. При проектировании трубопроводов учтена компенсирующая способность трубопровода за счёт выбора рациональной схемы прокладки и размещением неподвижных опор. На фланцевых соединениях трубопроводов и арматуры перекося фланцев при неравномерном натяжении болтов наличие зазоров выдавливания прокладок не обнаружено.

Качество выполненных работ подтверждается результатами визуального обследования и актом №2 гидравлических испытаний от 27 ноября 2019 г. Имевшиеся дефекты труб и фитингов устранены в процессе монтажа дополнительной герметизацией. Геометрические размеры, уклоны, привязки к осям соответствуют проекту 92Т-17/Р-ТХ.

Выводы по 2 главе:

1) Большая часть параметров, исследованных образцов труб соответствует требованиям [1]. Максимальные отклонения геометрических размеров обнаружено на образцах № 1 и 2 DN400. Отклонение от требований п. 6.2.5 возможно устранить при монтаже, зачисткой поверхности трубы и подгонкой по месту, запас толщины стенки это позволят (в пределах 0,35 мм). Представленные трубы пригодны для монтажа и эксплуатации.

2) Качество работ по монтажу первой очереди трубопроводов системы шламоотведения соответствует проектной документации 92Т-17/Р и требованиям нормативной документации.

3) Качество монтажа удовлетворительное, дефектные элементы трубопроводов отбракованы на входном контроле смонтированные участки трубопровода соответствуют проектной, нормативной документации и может быть допущен к эксплуатации.

Глава 3 Устранение ударов при закрытии дискового затвора на дренаже горизонтальных отстойников

В настоящей главе рассмотрены причины возникновения удара при закрытии дискового затвора, установленного на трубопроводах, отводящих шламовые воды с горизонтальных отстойников очистных сооружений. Экспериментально опровергнуто предположение о возможности гидравлического удара. Выдвинута гипотеза, что причиной удара является срыв потока жидкости при обтекании плоской пластины на критических углах атаки. Проведён численный эксперимент, заключающийся в моделировании движения потока воды в полностью заполненном, замкнутом пространстве трубы. В результате эксперимента выявлено, что срыв потока вызван формированием зон повышенного и пониженного давлений соответственно до и после затвора. Это даёт дополнительную энергию, способствующую увеличению момента закрытия, сопоставимую с усилием пневматического привода и приводит к удару.

Применение современных материалов и технологий на водозаборных и очистных сооружениях порой сопровождается определёнными трудностями. Ниже рассматривается проблема, возникшая при замене стальных труб шламоотводов с горизонтальных отстойников очистных сооружений, которые отработали более 30 лет, на стеклобазальтовые трубы по ГОСТ Р 55068-2012 [1]. В качестве запорной арматуры применены дисковые поворотные затворы (ДПЗ) [2]. Они широко представлены на рынке запорной арматуры, и в последнее время, заметно расширяется их сфера применения. В отличие от клиновой задвижки, шарового или седельного крана, ДПЗ имеет довольно простую конструкцию, меньшие габариты, менее чувствителен к механическому загрязнению, не имеет застойных зон, ремонтпригоден [3, 4]. Однако, расположенные в потоке жидкости ось и тело клапана создают дополнительное гидравлическое сопротивление, а при определённых режимах работы могут проявляться и другие недостатки, например, удары

при завершении закрытия затвора. Эффект удара при закрытии отмечают некоторые производители, а эксплуатационники даже рекомендуют беречь руки при закрытии клапанов с ручным приводом [5]. Со временем, такие удары могут привести к разрушениям уплотнителя затвора (рисунок 54), посадочных мест штока, к выходу из строя привода (рисунок 55). Целью настоящей работы является установление причины и разработка мероприятий по устранению удара затвора в момент закрытия.

Дренажная система горизонтальных отстойников (рисунок 53) состоит из отводящих трубопроводов $d_y=250$ и магистрального $d_y=600$. На ответвлениях установлены ДПЗ, на концевом участке, перед сливом в открытый приёмник, установлена клиновидная задвижка.

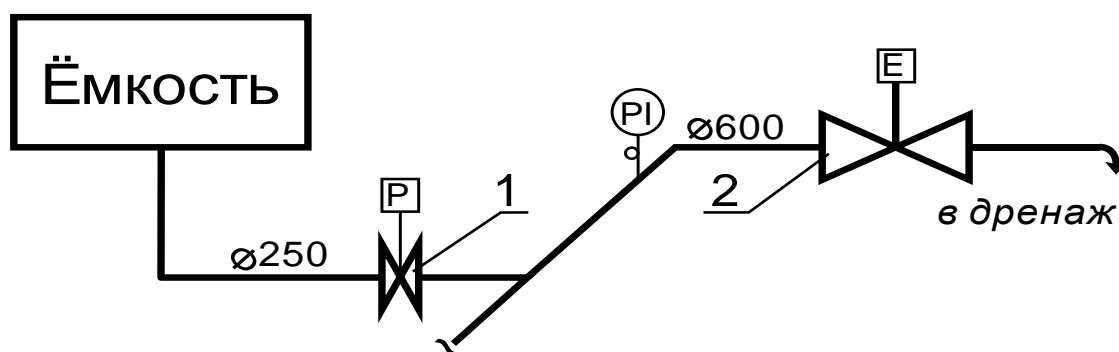


Рисунок 53 – Схема гидравлическая принципиальная

Порядок опорожнения ёмкости в настоящее время таков: открывается задвижка 2, затвор 1 – происходит слив в открытый дренаж. Далее закрывается затвор 1 потом, задвижка 2, таким образом, в отводящем трубопроводе возможно частичное опорожнение, в этих условиях и происходит удар. Однако рассматривать данное явление как гидравлический удар в чистом виде нельзя, поскольку в частично опорожнённом трубопроводе воздушный слой срабатывает как демпфер.

Объектом исследования является дренажная система горизонтальных отстойников (рисунок 58), предметом – дисковые поворотные затворы двух

диаметров: $d_y=250$ (рисунок 60) и $d_y=600$ мм с пневматическим приводом (рисунок 61), датчиком крайних положений, ручным дублёром/редуктором (рисунок 59). Пневмопривод представляет собой силовой агрегат, предназначенный для преобразования давления рабочей среды в крутящий момент, имеет конструкцию с кулисным механизмом, в котором линейное перемещение поршней преобразуется в поворот выходного вала с углом поворота 90 градусов. Оборудование установлено на трубопроводах, отводящих шламовые воды с горизонтальных отстойников очистных сооружений. Трубопроводы выполнены из стеклобазальтовых труб диаметром 250 и 600 мм в соответствии с [6].

Непосредственно на дренажной системе горизонтальных отстойников проведены натурные испытания работы затворов, имитирующие опорожнение. Выполнены серии испытаний из 3 циклов «открытие–закрытие» двух затворов каждого диаметра. Проектный расход воды составлял 100 л/с по трубопроводу $d_y=250$ и 270 л/с по $d_y=600$, скорость воды – около 2 м/с. Из дренажной трубы диаметром 600 мм вода свободно изливалась в открытый приёмник. При завершении закрытия клапана отчетливо слышался характерный удар. На трубопроводах наблюдались небольшие до 10 мм, обратимые смещения трубы и затухающая вибрация. Манометр, с диапазоном измерений 0-1,6 МПа, класс точности 1,5, установленный на удалении 1,5 м от затвора $d_y=250$, скачка давления не показал (рисунок 57), что подтверждает отсутствие классического гидравлического удара [7]. Наиболее вероятный источник звука – удар затвора при закрытии о резиновый уплотнитель.

Т.к. натурные испытания не позволили выяснить причину удара, возникает необходимость в проведении численного эксперимента, позволяющего раскрыть новые аспекты проблемы.



Рисунок 54 – Разрушение уплотнителя затвора



Рисунок 55 – Дисковый поворотный затвор с поврежденным коррозией ДИСКОМ



Рисунок 56 – Дисковый поворотный затвор «Festo» тип VZAV $d_y=250$ мм



Рисунок 57 – Показания манометра в процессе эксперимента



Рисунок 58 – Общий вид системы трубопроводов с арматурой



Рисунок 59 – Пневмопривод DAPS-CS1565588A для затвора $d_y=250$ мм



Рисунок 60 – Трубопровод $du=250$ мм с арматурой и пневмоприводом



Рисунок 61 – Трубопровод $du=600$ мм с арматурой и пневмоприводом

Можно выдвинуть гипотезу, что причиной является срыв потока при обтекании плоской пластины в ограниченном цилиндре пространстве (рисунок 62). Из гидродинамики известно, что полную гидроаэродинамическую силу R можно разложить на три перпендикулярные составляющие в скоростной системе координат трубопровода [7]. В векторной форме:

$$\bar{R} = \bar{X} + \bar{Y} + \bar{Z},$$

где \bar{R} – полная гидродинамическая сила,

\bar{X} – сила лобового сопротивления,

\bar{Y} – подъемная сила,

\bar{Z} – боковая сила, в данном случае не учитывается.

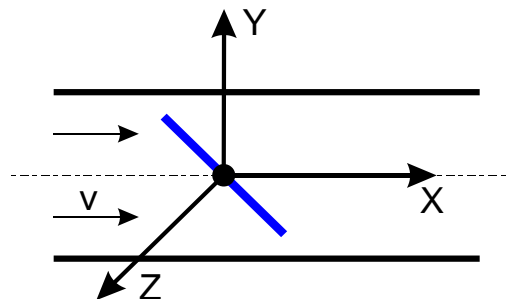


Рисунок 62 – Схема трубопровода с дисковым затвором

Подъемная сила – это составляющая полной аэродинамической силы вдоль оси Y скоростной системы координат.

Сила аэродинамического сопротивления – это составляющая полной аэродинамической силы вдоль оси X скоростной системы координат.

Подъемная сила и сопротивление выражаются следующим образом:

$$Y = C_y \frac{\rho \cdot V^2}{2} S$$

$$X = C_x \frac{\rho \cdot V^2}{2} S$$

где C_y — коэффициент подъемной силы,

C_x — коэффициент сопротивления,

ρ — плотность среды,

V — скорость тела относительно воздуха (воздушная скорость),

S — эффективная площадь тела.

В природе не существует самостоятельно действующих подъемной силы и силы сопротивления. Они являются результатом математического разложения полной гидродинамической силы на составляющие для удобства выполнения расчетов.

Говоря о подъемной силе, отметим, что, хотя подъемная сила и называется "подъемной", она не обязана быть "поднимающей", то есть, не обязана быть направлена "вверх".

Величина и направление действия гидродинамической силы зависят от формы обтекаемого тела и его ориентации в потоке. Если установить пластину вдоль потока (угол атаки равен 0), то обтекание будет симметричным (рисунок 63). В этом случае поток пластиной не отклоняется, и подъемная сила \bar{Y} равна нулю. Сопротивление \bar{X} минимально, но не нуль. Оно будет создаваться силами трения молекул воды о поверхность пластины. Полная гидродинамическая сила \bar{R} минимальна и совпадает с силой сопротивления \bar{X} .

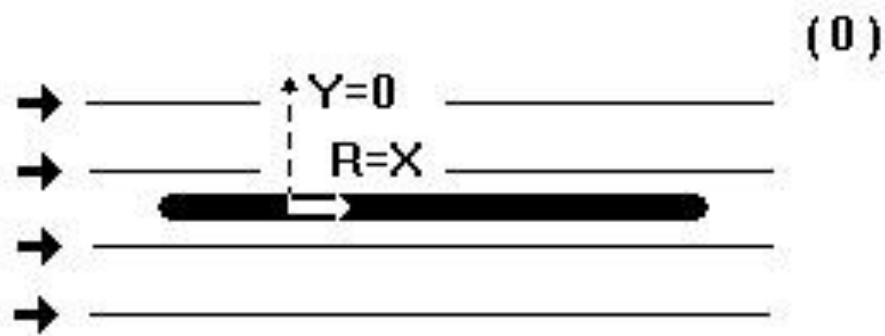


Рисунок 63 – Пластина установлена вдоль потока

По мере постепенного увеличения угла атаки подъемная сила увеличивается (рисунки 64, *а* и 64, *б*). Очевидно, что сопротивление тоже растет. Необходимо отметить, что на малых углах атаки подъемная сила растет значительно быстрее, чем сопротивление.

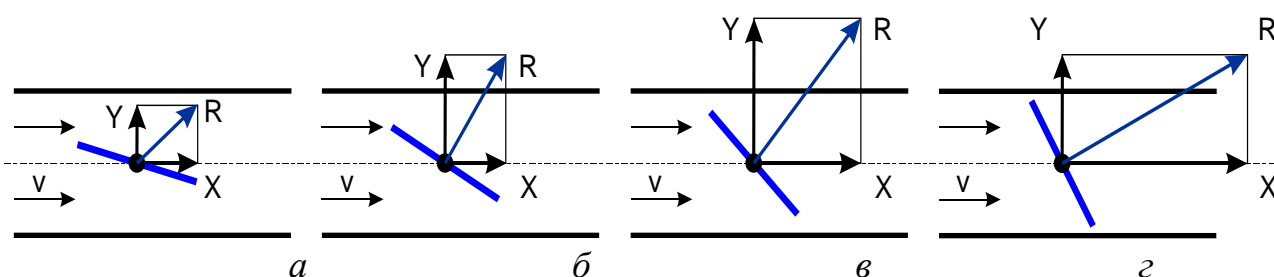


Рисунок 64 – Этапы закрытия затвора

По мере увеличения угла атаки подъемная сила хотя и продолжает увеличиваться, но медленнее, а сопротивление растет быстрее, постепенно обгоняя рост подъемной силы. В результате полная гидродинамическая сила \bar{R} начинает отклоняться назад (рисунок 64, *в*). При дальнейшем закрытии затвора, за пластиной образуется мощный вихрь, подъемная сила резко падает, а сопротивление увеличивается (рисунок 64, *г*). Образуется срыв потока – неконтролируемое нарушение баланса процессов ламинарного и турбулентного характеров в движении жидкости относительно обтекаемого тела. При достижении критического угла атаки точка срыва потока смещается вдоль верхней поверхности пластины к передней кромке, вследствие чего

резко падает подъёмная сила и происходит резкое закрытие, которое может сопровождаться ударом [8, 9].

Под срывом потока подразумевается более частный случай резкого увеличения турбулентной составляющей потока при превышении определённого для данного обтекаемого тела и данной среды порога скорости их относительного движения. В любом процессе обтекания одновременно присутствуют ламинарные и турбулентные составляющие, однако во многих агрегатах турбулентные течения исключительно нежелательны, так как они имеют свойство значительно увеличивать нагрузки на обтекаемое тело, вплоть до его разрушения. В целях снижения вероятности срыва потока объектам обтекания придают обтекаемую форму. При достижении критического угла атаки точка отрыва потока смещается вдоль верхней поверхности крыла к передней кромке, вследствие чего резко падает подъёмная сила

Зависимость коэффициентов подъёмной силы C_y и сопротивления C_x от угла установки пластины к набегающему потоку (угла атаки) на графиках (рисунки 65, 66).

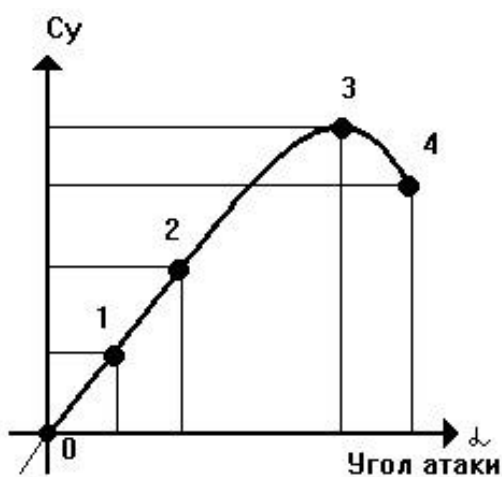


Рисунок 65 – Зависимость коэффициентов подъемной силы.

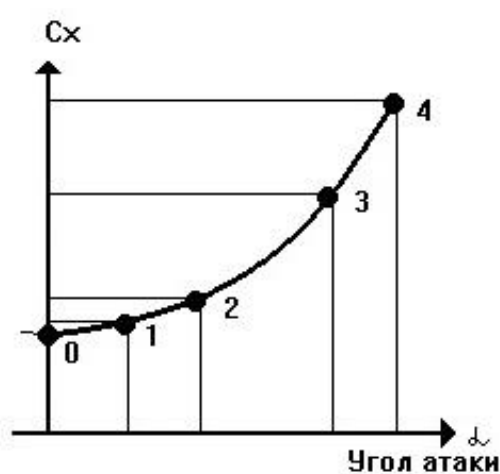


Рисунок 66 – Сопротивления от угла атаки

Объединив получившиеся два графика в один и по оси X отложив значения коэффициента сопротивления C_x , а по оси Y коэффициент подъемной силы C_y (рисунок 67).



Рисунок 67 – Поляра плоской пластины.

Получившаяся кривая основной график, характеризующий гидроаэродинамические свойства обтекания плоской пластины. Откладывая на осях координат значения коэффициентов подъемной силы C_y и сопротивления C_x , этот график показывает величину и направление действия полной гидроаэродинамической силы R .

Гидродинамическое качество определяется следующим соотношением:

$$K(a) = C_y / C_x$$

где a — угол атаки;

C_y — коэффициент подъемной силы;

C_x — коэффициент лобового сопротивления.

Критический угол атаки — это угол атаки, при превышении которого происходит срыв потока. Критический угол атаки интересен тем, что при выходе на него среда движется с минимальной скоростью. Условием

оптимального движения с постоянной скоростью является равновесие между полной гидродинамической силой и силой тяжести.

$$\text{Согласно формуле полной гидродинамической силы: } R = C_r \frac{\rho \cdot V^2}{2} S$$

Из формулы видно, что для обеспечения постоянности итогового значения гидродинамической силы R увеличение коэффициента C_r неизбежно ведет к уменьшению скорости среды V , так как значения плотности воздуха ρ и площади пластины S остаются неизменными.

Эти рассуждения подтверждаются производителем «Festo» для ДПЗ тип VZAV, на диаграмме изменения коэффициента пропускной способности, построенной в координатах угол поворота – расход (рисунок 68). При малых углах открытия затвора (0-25°) пропускная способность резко снижается, особенно для диаметров более 250 мм. Диаграмма позволяет выбрать наиболее характерные углы открытия ДПЗ для постановки численного эксперимента, основываясь на теории [7, 10].

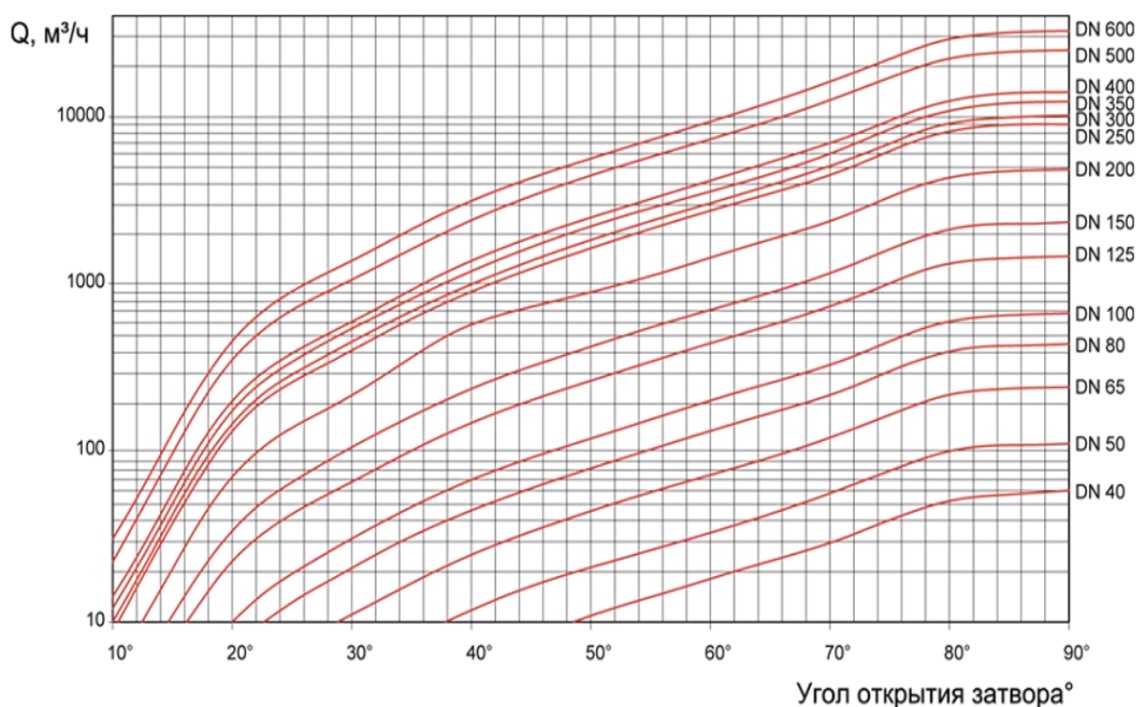


Рисунок 68 – Диаграмма изменения коэффициента пропускной способности дискового поворотного затвора

Для проверки, выдвинутой гипотезы был проведён численный эксперимент, заключающийся в моделировании движения потока воды в полностью заполненном, замкнутом пространстве трубы диаметром 250 мм, длиной 1000 мм (по $20d_y$ до и после затвора). Конструктивные особенности реального затвора для решения поставленной задачи несущественны и для упрощения модели затвор представляет собой плоскую пластину толщиной 10 мм. Построена 3D-модель с применением расчётно-графического пакета Solidworks производства Dassault Systèmes в приложении Solidworks Flow Simulation, предназначенном для параметрического моделирования потоковых процессов в текучей среде методом конечного объёма (CFD-анализ). Определены геометрические и гидравлические граничные условия, проведён расчет перепадов давлений и скоростей воды при обтекании затвора с различными углами открытия (25° , 45° , 75°). Скорость жидкости принималась равной 2 м/с, давление 101,3 кПа. На рисунке 69 показана 3D-модель участка трубы и затвора с углом открытия 25° . Изолинии показывают распределение скоростей.

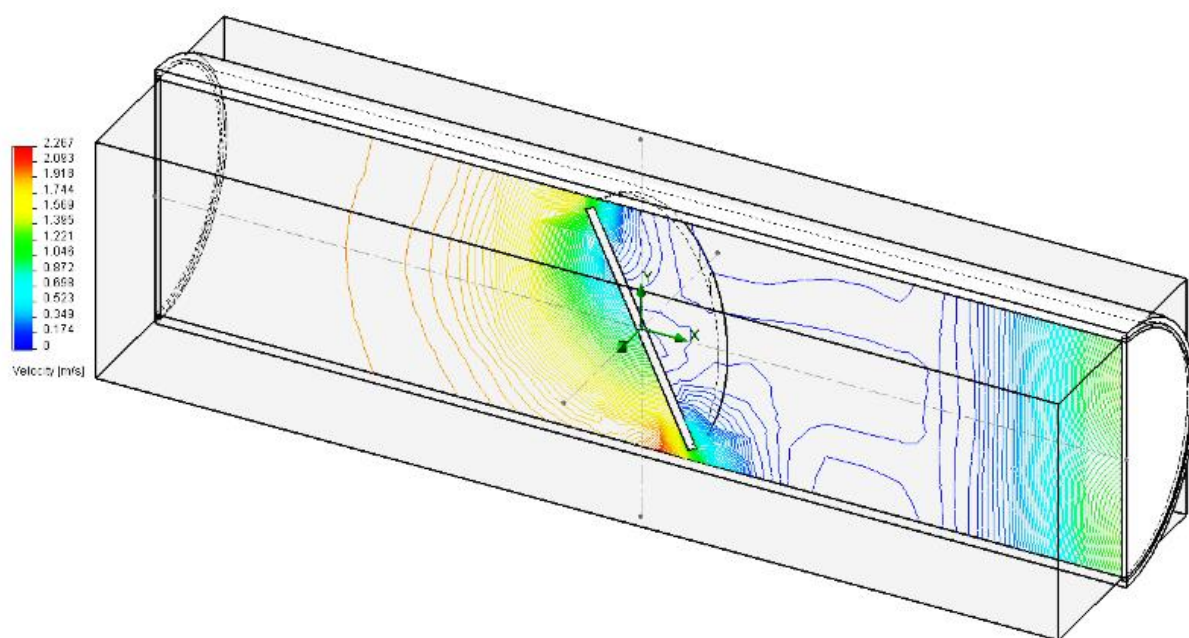
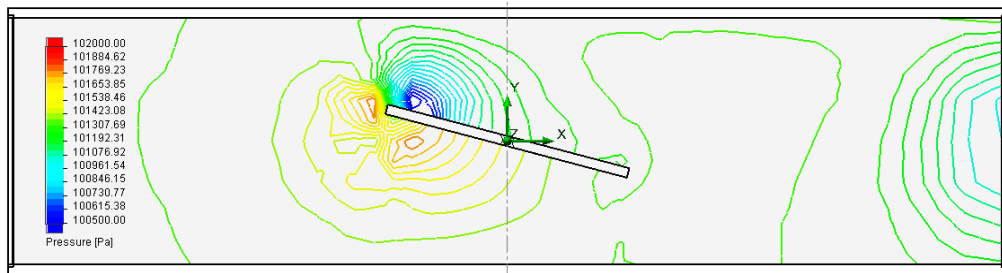


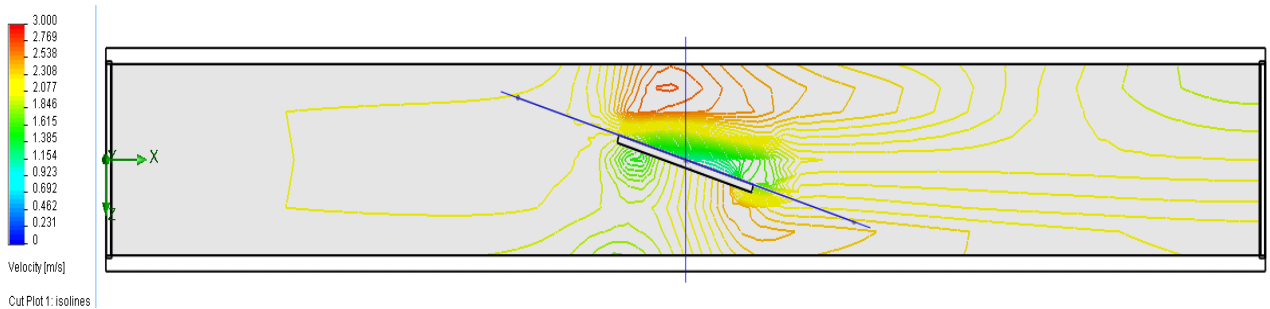
Рисунок 69 – 3D-модель участка трубы и затвора

Визуализированные результаты численного эксперимента, показанные на рисунке 70, дают представление о распределении давления. На рисунках

видно, как при закрытии увеличивается площадь воздействия повышенного давления. На рисунке б, а зона высокого давления разорвана на две части, а наибольший градиент давлений смещен к передней кромки. На рисунке 3.18, б зона высокого давления увеличилась, стала однородной, воздействует практически на всю верхнюю часть затвора, а у нижней кромки формируется зона более низкого давления. На рисунке 3.18, в вся верхняя часть затвора под высоким давлением, а задняя кромка в зоне разряжения.

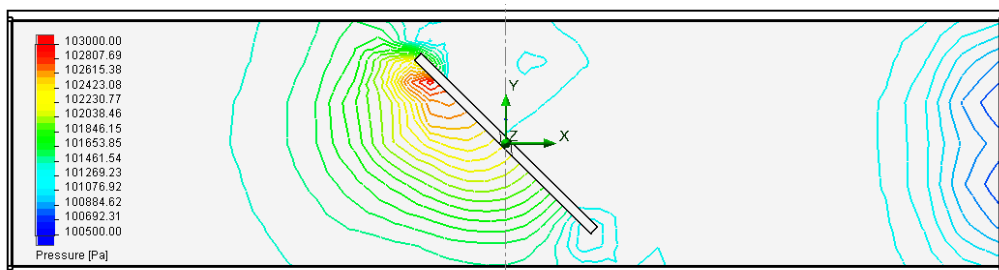


Эюра давлений

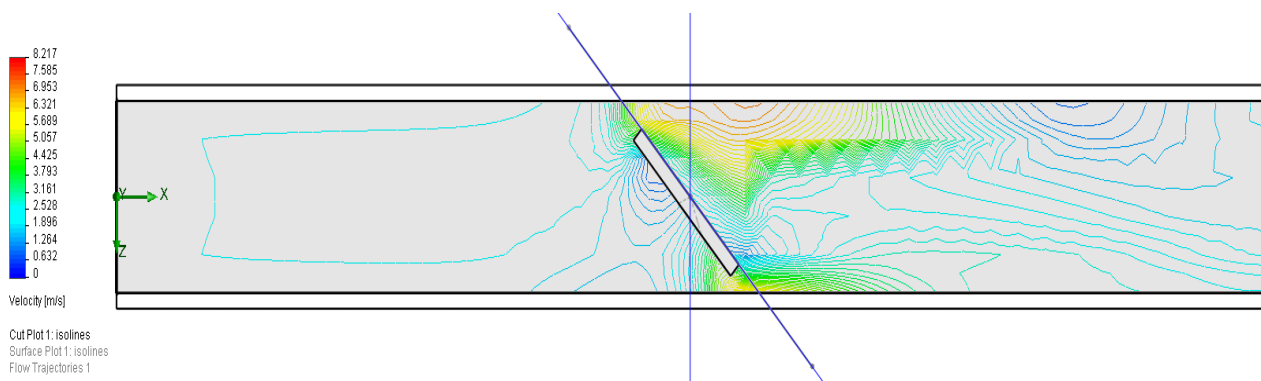


Эюра скоростей

a – угол открытия 75 °

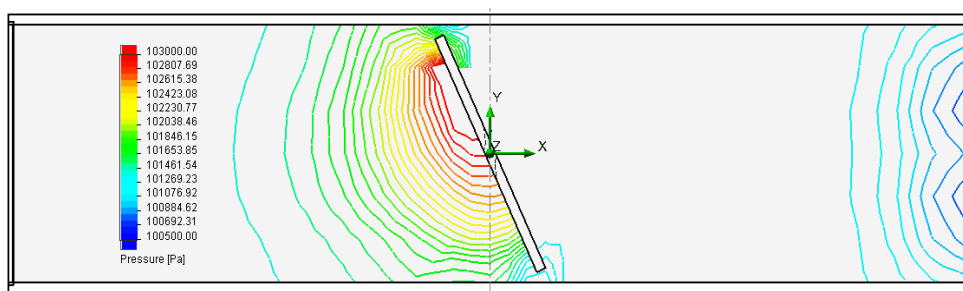


Эюра давлений

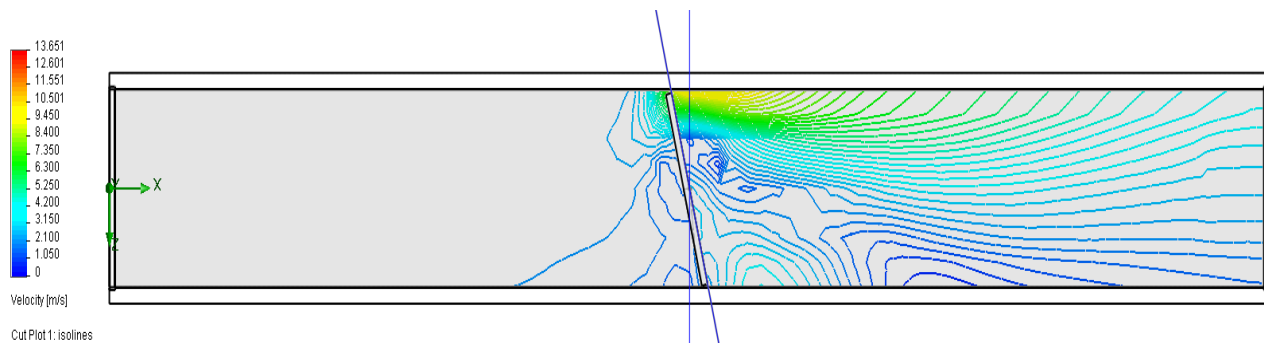


Этюра скоростей

б – угол открытия 45 °



Этюра давлений



Этюра скоростей

в – угол открытия 25 °

Рисунок 70 – Этюра распределения давлений и скоростей воды при обтекании затвора

На рисунке 71 показан сводный график распределения давлений в сечении по оси поворота затвора. При угле открытия 75° перепад давлений

$\Delta P=0,33$ кПа, при 45° – $\Delta P=0,95$ кПа, при 25° – $\Delta P=1,56$ кПа. Перепады давления при обтекании затвора дают дополнительную энергию для резкого закрытия, т.к. динамическое давление определяет кинетическую энергию, перемещаемой с определённой скоростью, среды, что и подтверждают выдвинутую гипотезу.

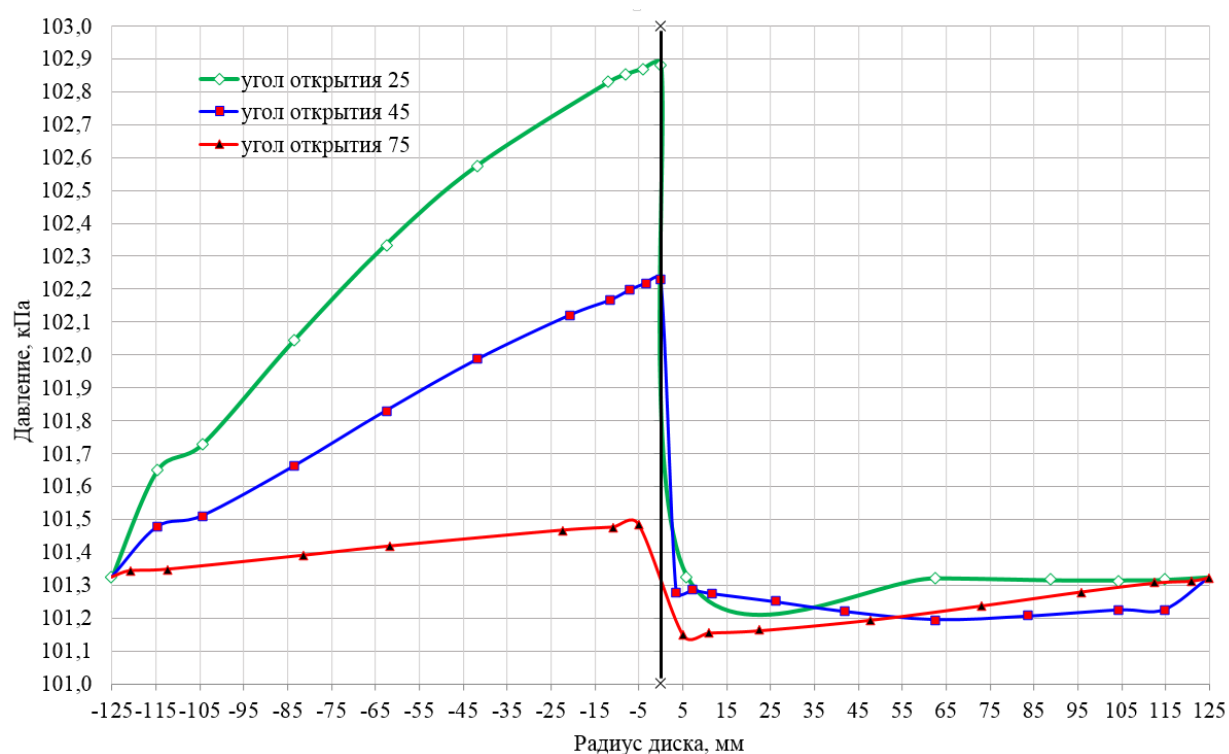


Рисунок 71 – Распределение давлений в сечении по оси поворота затвора

Обобщение результатов проведённых экспериментов позволяет сделать следующий вывод: основной причиной резкого увеличения скорости поворота затвора при закрытии, т.е. при повороте до 25° , является срыв потока, обусловленный формированием зон повышенного и пониженного давления соответственно до и после затвора. Значительный перепад давления даёт дополнительную энергию, способствующую увеличению момента закрытия, сопоставимую с усилием пневмопривода и приводит к удару диска затвора об уплотнитель. Этот процесс обусловлен особенностями конструкции именно пневматического привода.

Рекомендации по устранению ударов:

Для устранения описанной проблемы предлагаются следующие мероприятия:

1. Изменение режима опорожнения ёмкости. Данная рекомендация наиболее простая, малозатратная, не требует замены оборудования и дополнительных монтажных работ.

2. Замена пневмопривода на электропривод и экспериментальный подбор режима закрытия.

3. Изменение формы затвора на более обтекаемую. Решается путем замены затвора, при наличии такового у производителя или изготовлении экспериментального образца (при этом требуется проведение дополнительных расчётов, моделирование, апробация).

Заключение

1. В результате изучения технологической схемы водопроводных очистных сооружений определены наиболее уязвимые места для коррозионного повреждения стальных труб. Определены факторы влияющие на интенсивность коррозии, особенности режима эксплуатации. Наиболее проблемным участком является шламопровод от горизонтальных отстойников. Выбрано место для монтажа опытного участка и сформулированы исходные данные для его проектирования.

2. Сравнительный анализ труб из различных материалов показал, что наиболее предпочтительным для шламопровода является стеклобазальт на полимерном связующем. Этот материал долговечен, прочен, стоек к абразивному износу, обладает приемлемой стоимостью. Однако имеются сложности с монтажом, для соединения деталей трубопровода необходимо герметизировать стыки стеклобазальтовой лентой, пропитывая её эпоксидной смолой. Процесс сопровождается выделением большого количества вредных веществ, достаточно трудоёмкий, требует наличия опыта и высокой квалификации монтажников.

3. При анализе опыта эксплуатации опытного участка шламопровода выявлена проблема с установленной запорной арматурой фирмы «Festo» дисковые поворотные затворы тип VZAV с пневмоприводом – удары при завершении закрытия затвора. Основной причиной резкого увеличения скорости поворота затвора при закрытии, является срыв потока, обусловленный формированием зон повышенного и пониженного давления соответственно до и после затвора. Значительный перепад давления даёт дополнительную энергию, способствующую увеличению момента закрытия, сопоставимую с усилием пневмопривода и приводит к удару диска затвора об уплотнитель. Этот процесс обусловлен особенностями конструкции именно пневматического привода.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Амосов Николай Тимофеевич, Строгонов Константин Владимирович, Федюхин Александр Валерьевич, Газизов Фарит Насибуллович Оценка технических показателей применения композитных и металлических трубопроводов // Computational nanotechnology. 2018. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-tehnicheskikh-pokazateley-primeneniya-kompozitnyh-i-metallicheskikh-truboprovodov> (дата обращения: 17.05.2020).
2. Анциферов, С.А. Анализ влияния внутренней коррозии на эксплуатацию трубопроводов / С.А. Анциферов, Е.А. Усманова // Вестник НГИЭИ. – 2015. –№ 6 (49). – 1-5 С. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-vnutrenney-korrozii-na-ekspluatatsiyu-truboprovodov> (дата обращения: 30.01.2019).
3. Бохон Игорь Николаевич Влияние скорости потока в водоисточнике на потери напора в сетчатом фильтре водозаборного сооружения // Научный журнал РосНИИПМ. 2015. №1 (17). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-skorosti-potoka-v-vodoistochnike-na-poteri-napora-v-setchatom-filtre-vodozabornogo-sooruzheniya> (дата обращения: 17.05.2021).
4. ГОСТ 12.2.063-2015 Арматура трубопроводная. Общие требования безопасности. – Москва : Издательство стандартов, 2015. – 35 с.
5. ГОСТ 2.610-2006 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения эксплуатационных документов. – Москва : Издательство стандартов, 2008. – 36 с.
6. ГОСТ 26877-2008 Металлопродукция. Методы измерений отклонений формы. – Москва: Издательство стандартов, 2009. – 34 с.
7. ГОСТ Р 55068-2012 Трубы и детали трубопроводов из композитных материалов на основе эпоксидных связующих, армированных стекло- и

базальтоволокнами. Технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 2014. – 40 с.

8. ГОСТ Р 56277-2014 Трубы и фитинги композитные полимерные для внутрипромысловых трубопроводов. Технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 2014. – 52 с.

9. Дисковые поворотные затворы Hogfors // Территория Нефтегаз. 2008. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/diskovye-povorotnye-zatvory-hogfors> (дата обращения: 17.05.2021).

10. Коваленко Н.Н. Проблемы эксплуатации крупных водозаборных сооружений // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2009. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-ekspluatatsii-krupnyh-vodozabornyh-sooruzheniy> (дата обращения: 03.02.2021).

11. Лоскутов Ю.В, Иванов С.П., Багаутдинов И.Н., Гизатуллин Р.Г., Егоров А.В. Влияние схемы намотки на жесткость и напряженное состояние многослойных криволинейных труб из композиционных материалов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-shemy-namotki-na-zhestkost-i-napryazhennoe-sostoyanie-mnogosloynnyh-krivolineynyh-trub-iz-kompozitsionnyh-materialov> (дата обращения: 07.03.2021).

12. Лушкин И.А. Влияние вибрационного воздействия на гидродинамические параметры газожидкостного потока / И.А. Лушкин, Ю.С. Левкин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2018. – № 1 (197). 1-6 С. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vibratsionnogo-vozdeystviya-na-gidrodinamicheskie-parametry-gazozhidkostnogo-potoka> (дата обращения: 08.07.2020).

13. Николаев А.К., Веласкес Альфредо Лазаро Козйо Моделирование процесса разрушения стеклопластиковой трубы // Записки Горного института.

2017. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protsesta-razrusheniya-stekloplastikovoy-truby> (дата обращения: 15.07.2020).

14. Одельский Э. Х. Гидравлический расчет трубопроводов разного назначения. Минск, «Вышэйшая школа», 1997. 103 стр. с илл.

15. Основы гидравлики: учебник для вузов / С.Ш. Сайридинов. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 386 с.

16. Паспорт. Пневмопривод двустороннего действия с ручным дублером с датчиком крайних положений и пневмораспределителем DAPS-CS1565588А.

17. Попова Т. Е., Бондаренко В. Л. Повышение функциональной надежности сооружений водоотводных и водозаборных систем // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2005. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-funktsionalnoy-nadezhnosti-sooruzheniy-vodootvodnyh-i-vodozabornyh-sistem> (дата обращения: 12.11.2020).

18. Постановления Госгортехнадзора РФ от 10.06.2003 N 80 Об утверждении Правил устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов (Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.06.2003 N 4738).

19. Рабинович, Е.З. Гидравлика / Е.З. Рабинович. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Недра, 1977. – 304 с.

20. Сайридинов С.Ш. Особенности проектирования и эксплуатации систем водоснабжения высотных зданий / С.Ш. Сайридинов // Градостроительство и архитектура. – 2017. – № 2 (том 7). – 38-47 С.

21. СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования. – Москва: Госстрой России, ГУПЦПП, 2001. – 35 с.

22. СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования. – Москва : Издательство стандартов, 2000. – 36 с.

23. Тихонов, Н.В. Преимущества и недостатки дисковых поворотных затворов / Н. В. Тихонов, С.Н. Гришаев // СОК. – 2003. – № 3. – 19-22 С. –

URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/preimuschestva-i-nedostatki-diskovyh-povorotnyh-zatvorov> (дата обращения: 18.09.2020).

24. Antsiferov, S.A. Development and testing of a steel regulating thermostatic valve / S.A Antsiferov, E.V. Chirkova, E.A. Usmanova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698. – 7 p. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/6/066013> (дата обращения: 20.08.2020).

25. Dong, Q., and Hu, B. (August 25, 2015). "Dynamic Behavior of Carbon Fiber Explosion Containment Vessels." ASME. J. Pressure Vessel Technol. February 2016; 138(1): 011202. <https://doi.org/10.1115/1.4030435>

26. Hanrot S. À la recherche de l'architecture. Vanne à passage direct et Clapet de non-retour. / S. Hanrot // L'Harmattan. – Paris. – 2012, P. 86.

27. Jiří Militký, Vladimír Kovačič, Jitka Rubnerová, Influence of thermal treatment on tensile failure of basalt fibers, Engineering Fracture Mechanics, Volume 69, Issue 9, 2002, Pages 1025-1033, [https://doi.org/10.1016/S0013-7944\(01\)0119-9](https://doi.org/10.1016/S0013-7944(01)0119-9).

28. Lucan J. Assigne en effet un double objectif à son livre: Régulez un débit ou une pression sur vos réseaux. / J. Lucan // Presses polytechniques et universitaires romandes. – Lausanne. – 2009. P. 6.

29. Mertiny, P., Juss, K., and El Ghareeb, M. M. (October 28, 2009). "Evaluation of Glass and Basalt Fiber Reinforcements for Polymer Composite Pressure Piping." ASME. J. Pressure Vessel Technol. December 2009; 131(6): 061407. <https://doi.org/10.1115/1.4000360>

30. Van de Velde K., Kiekens P., Van Langenhove L. BASALT FIBRES AS REINFORCEMENT FOR COMPOSITES. / Department of Textiles, Ghent University, Technologiepark 907, B-9052 Zwijnaarde, Belgium

31. Van Orman Quine W. VANNE PAPILLON PROTECTION ANTI-CORROSION / W. Van Orman Quine// Gallimard. – Paris. – 2018. – P. 122.