

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

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

(наименование института полностью)

Кафедра «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение»

(наименование кафедры)

**08.04.01 Строительство**

(код и наименование направления подготовки)

**Водоснабжение городов и промышленных предприятий**

(направленность (профиль))

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему «Разработка конструкции самопромывного фильтра механической  
очистки на основе спирально-навитых элементов «ТЭКО-СЛОТ»

Студент

Р.А. Митрофанов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

И.А. Лушкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы

к.т.н., доцент В.М. Филенков

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

(личная подпись)

«    » 20      г.

**Допустить к защите**

И.о. заведующего кафедрой

к.т.н., доцент В.М. Филенков

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

(личная подпись)

«    » 20      г.

Тольятти 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	7
1.1 Методы предварительной водоподготовки .....	7
1.2 Обзор существующих устройств механической очистки воды .....	13
1.2.1 Фильтры механической очистки ФМО .....	13
1.2.2 Фильтры щелевые с плоским фильтрующим элементом .....	15
1.2.3 Фильтры щелевые с цилиндрическим щелевым элементом .....	15
1.2.4 Фильтр-циклон .....	16
1.2.5 Самопромывные фильтры .....	22
1.3 Выводы по 1 главе.....	24
Глава 2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ САМОПРОМЫВНОГО ФИЛЬТРА ОЧИСТКИ .....	25
2.1 Разновидности самопромывных фильтров.....	25
2.1.1 Дисковые фильтры .....	25
2.1.2 Сетчатые самопромывные фильтры.....	27
2.1.3 Фильтры самопромывные механической очистки .....	31
2.2 Выбор конструкции внутреннего патрона механического фильтра на основе спирально навитой конструкции «ТЭКО-СЛОТ».....	33
2.3 Выводы по 2 главе.....	44
ГЛАВА 3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТАННОГО ФИЛЬТРА .....	45
3.1 Основные параметры и технические характеристики предлагаемой конструкции фильтра.....	45
3.2 Эксплуатационные особенности работы самопромывного фильтра предлагаемой конструкции .....	52

3.3 Последовательность работ при монтаже и демонтаже предлагаемой конструкции фильтра.....	53
3.4 Пуск, наладка и испытания самопромывного фильтра.....	55
3.5 Полученные показатели на выходе из фильтра ФСМО при испытаниях .	61
3.6 Выводы по 3 главе.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	69

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы:** Обеспечение населения, промышленности и сельского хозяйства стабильной качественной водой требует последующего совершенствования систем водоподготовки. Водозаборные и очистные сооружения являются одними из главных элементов систем водоснабжения. От их конструктивного решения и условий эксплуатации во многом зависит надежность и технико-экономические показатели систем водообеспечения в целом.

Промышленные фильтры остаются одним из основных видов оборудования, используемых в технологических процессах химической, горно-химической, железорудной, угольной, нефтехимической, пищевой и других отраслях промышленности. Предварительная очистка воды из поверхностных источников является одной из важнейших проблем на стадии водоподготовки. Создание новых, компактных механических фильтров при этом является актуальной задачей. При этом важнейшую роль играют эффективность, автоматизация и экономическая целесообразность применяемого водоподготовительного оборудования.

В данной магистерской диссертации рассматривается область применения и конструктивные решения водозаборно-очистных сооружений с применением спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР». В рамках диссертации сконструирована модель самопромывного фильтра для очистки от механических взвесей.

**Объект исследования:** Фильтры предварительной очистки воды.

**Предмет исследования:** Самопромывной фильтр механической очистки воды.

**Целью работы** является разработка конструкции и создание опытной модели самопромывного фильтра механической очистки воды из поверхностных источников.

**Для реализации цели поставлены следующие научно-технические задачи:**

1. Обзор существующих устройств предварительной очистки воды из поверхностных источников, а также особенностей современных методов предварительной водоподготовки.

2. Разработка конструкции самопромывного фильтра на основе спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР» и создание стенда.

3. Анализ полученных результатов работы самопромывного фильтра.

**Методы исследования:** в процессе работы были применены аналитический, экспериментальный методы исследования, анализ нормативно-технической документации.

**Научная новизна заключается в:**

– Теоретическом обосновании конструкций самопромывного фильтра механической очистки на основе спирально-навитых элементов типа «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР»;

– Разработке конструкции самопромывного фильтра механической очистки ФСМО;

– Получении и анализе опытных данных о применении ФСМО в схемах водоподготовки.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что предлагаемые конструктивные решения на основе спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР» позволят улучшить качество забираемой воды и снизить тем самым нагрузку на очистные сооружения.

**Личный вклад автора** состоит в обосновании темы, цели, задач и разработке конструктивных решений самопромывных фильтров механической очистки на основе спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-

СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР», создание опытной модели и её испытание.

**На защиту выносятся:** конструкция сампромывного фильтра механической очистки с применением спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ».

**Апробация работы.** Результаты работы представлены в сборниках трудов:

1. «Студенческие Дни науки в ТГУ»: научно-практическая конференция, ТГУ, Тольятти, 3–29 апреля 2017 года.

2. Международная научно-практическая конференция «Особенности конструкции и принцип действия самопромывных фильтров водоподготовки», Пенза, июнь 2018.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, общих выводов, библиографии из 68 наименований. Общий объем работы 80 стр., включая 36 иллюстраций и 18 таблиц.

# ГЛАВА 1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

## 1.1 Методы предварительной водоподготовки

«Значение чистой воды для человека трудно переоценить. К сожалению, вода практически никогда не бывает чистой, то есть всегда содержит какие-то примеси и растворенные вещества. Она растворяет в себе огромное количество химических веществ, как органических, так и неорганических. Некоторые из них сами по себе возможно и не очень вредны для организма, но становятся вредными при контакте с другими. Другие же полезны, но сочетания могут приносить вред, в целом не сравнимый с пользой. Другая разновидность примесей - микроорганизмы, которые вызывают массу заболеваний: бактерии, вирусы, грибы, простейшие и т.д. Известно, что поступление в организм с питьевой водой веществ, в концентрациях выше предельно-допустимых, может вызвать необратимые изменения в работе важнейших систем жизнедеятельности человека.»[1]

Загрязнение воды оказывает влияние на всю биосферу - растения и организмы, живущие в этих водоемах. В большинстве случаев эффект вредит не только отдельным видам и популяциям, но и естественным биологическим сообществам.

«Загрязнение воды является одной из основных глобальных проблем, которая требует постоянной оценки и пересмотра политики использования водных ресурсов»[1] на всех уровнях (международных, вплоть до отдельных водоносных горизонтов и скважин). Было высказано предположение, что загрязнение воды является лидирующей во всем мире причиной смертей и болезней, и что на ее долю приходится гибель более 14000 человек в день. По оценкам, 580 человек в Индии умирают из-за грязной воды вызывающей болезни каждый день. Около 90 процентов воды в городах Китая загрязнены.

По состоянию на 2007, полтора миллиарда китайцев не имели доступа к питьевой воде. В дополнение к острым проблемам загрязнения водных ресурсов в развивающихся странах, развитые страны продолжают бороться с проблемами загрязнения. Например, в самом последнем национальном докладе по качеству воды в Соединенных Штатах, 44 процента длины рек, 64 процентов озер, и 30 процентов бухт и устьев были классифицированы как загрязненные. Глава национального агентства развития Китая сказал, что в 2007 году четверть длины семи главных рек Китая были так отравлены, что вода навредила коже.

Водными загрязнениями обычно называют загрязнения, когда вода нарушается в результате антропогенных загрязнений и не подлежит человеческому использованию, например, для питьевой воды, или испытывает заметный сдвиг в способности поддерживать ее составные биоценозов, таких как рыба. Природные явления, такие как вулканы, цветение водорослей, ураганы и землетрясения также вызывают значительные изменения качества воды и экологического состояния воды.

Хоть поверхностные и подземные воды были изучены и управляются как отдельные ресурсы между ними есть взаимосвязь. Поверхностные воды просачиваются через почву и становятся грунтовыми водами. С другой стороны, подземные воды могут также питать поверхностные водные источники. Источники загрязнения поверхностных вод, как правило, разделены на две группы в зависимости от их происхождения: PPS и NPS.

Точечные загрязнения источника воды относятся к загрязняющим веществам, которые входят в водные потоки из одного, идентифицированного в качестве источника, такого как трубы или канавы. Примеры источников в этой категории являются сбросы установки очистки сточных вод, завод или сток города после паводка. Закон США о чистой воде (CWA) определяет точечный источник для целей регулирования органов. Определение CWA точечного источника было изменено в 1987 году и включает в себя муници-

пальные системы ливневой канализации, а также промышленные ливневые воды, например, со строительных площадок.

Загрязнение из рассредоточенных источников относится к диффузным загрязнениям, которое не исходит из одного конкретного источника. Загрязнение NPS часто имеет общий эффект небольшого количества загрязняющих веществ, собранных с большой площади. Типичным примером является вымывание азотных соединений с оплодотворенных сельскохозяйственных земель. Питательные стоки в ливневые воды из "потока листа" над сельскохозяйственным полем или лесом также приводятся в качестве примеров загрязнения NPS.

Загрязненные ливневые воды, смываемые с парковок, дорог и автомагистралей, называются городскими стоками и иногда включаются в категорию загрязнения NPS. Однако, поскольку этот сток обычно направляется в системы ливневой канализации и сбрасывается через трубы в местные поверхностные воды, он становится точечным источником.

«Существуют различные методы очистки воды для приведения ее к норме. Рассмотрим наиболее распространенные из них:

**Предварительная очистка воды.** Если в качестве источника водоснабжения для приготовления питьевой воды используются поверхностные воды, требуется проведение тщательной предварительной очистки, которая включает в себя:

- первичное отстаивание с применением или без применения реагентов, в зависимости от состава исходной воды.
- коагуляцию (т.е. введение в обрабатываемую воду солей алюминия, железа или полиэлектролитов), для укрупнения взвешенных и коллоидных частиц и перевода их в фильтруемую форму.
- механическую очистку воды с помощью фильтрования. Очистка воды с помощью фильтрования применяется для самых различных целей.»[12]

«Для очистки воды, подаваемой из общественных водопроводных сетей, как правило, применяется тонкое фильтрование с использованием:

- фильтров обратной промывки (данный тип фильтров представляет собой сетчатые фильтры, очистка в которых происходит посредством осаждения механических загрязнений на сетке фильтра и при обратной промывке водой смываются в дренаж).

- или патронных фильтров (данный тип фильтров представляет собой колбу со сменным фильтрующим элементом – патроном (картриджем), по истечении срока службы которого, производится замена на новый фильтрующий элемент).

В качестве элементов очистки используют сетки и картриджи со степенью фильтрации от 5 мкм до 1 мм, в зависимости от уровня загрязнений. В технике подготовки воды из индивидуальных подземных или поверхностных источников водоснабжения наиболее широко применяют скорые напорные фильтры. В качестве фильтрующего материала в зависимости от целей фильтрации применяется кварцевый песок, антрацит, доломит.»[12]

Механические методы очистки воды — одни из самых дешевых. «Механическая очистка воды позволяет освободить жидкости от взвешенных частиц на 60-65%, от нерастворимых грубодисперсных элементов на 90-95%.»[12]

К механическим методам очистки относятся:

*Процеживание.* Метод процеживания основан на поэтапной фильтрации воды. На первом этапе вода проходит через сетку, задерживающую крупный мусор. Далее вода пропускается через сетку с меньшей длиной ячейки. На последнем этапе размер ячейки сетки минимален, что позволяет задерживать мельчайшие частицы (рис. 1.1).

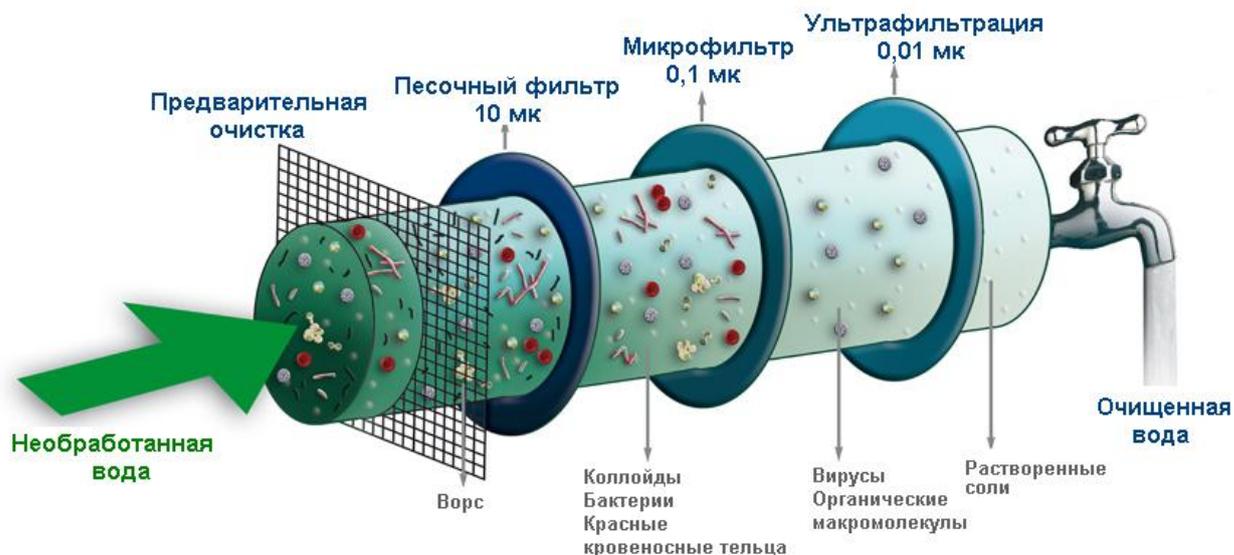


Рисунок 1.1 – Процесс процеживания

*Отстаивание.* Метод используют с целью улучшения качества воды в замкнутых системах водоснабжения. Во время отстаивания частицы с большей плотностью оседают на дне, в то время как частицы с плотностью меньше, чем плотность воды всплывают на поверхность.

*Фильтрация.* Грязная вода, проходя сквозь фильтрующий материал оставляет все ненужные взвеси в фильтре. Выделяют различные виды фильтров. Наиболее распространены: сетчатые, вакуумные. Для активной очистки воды используют центрифуги и гидроциклоны. Мусор в них скапливается на стенках под влиянием центробежной силы.

Фильтры, которые очищают воду от механических загрязнений предназначены для того, чтобы удалять ржавчину, песок и глину, ил, коллоидные загрязнения и другие механические (а значит – сравнительно плотные и крупные) загрязнители. На первой стадии очистки всегда пользуются механическими фильтрами очистки, как самые надежные и востребованные.

Чаще всего проблемы бывают с водой со скважины. Особенно если имеются в виду скважины, которые не имеют укрепленного дна и нормальной подготовки. В таком случае от скважины ничего сверхъестественного ждать не следует, а лучше просто собрать качественную систему фильтрации

и водоподготовки и использовать в работе механические образцы фильтрации. Впрочем, подобные проблемы встречаются не только у владельцев самодельных источников, но также и у жителей многоэтажек.

«На многих объектах водоподготовки и водоочистки оборудование такое как фильтры, фильтр-ловушки и дренажно-распределительные устройства находится в эксплуатации длительное время. Поэтому все чаще возникает необходимость его ремонта, реконструкции и усовершенствования.»[15]

Водоподготовительное оборудование призвано помочь решить вопросы очистки воды в самых различных отраслях промышленности (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Отрасли в которых необходима очистка воды.

– **Энергетика** – водоподготовка на тепловых и атомных станциях, промышленных и отопительных котельных

– **ЖКХ** – «очистка воды в городских системах водоснабжения; доочистка водопроводной воды до требований СанПИН для частных и муниципальных объектов (посёлков, жилых домов, школ, больниц, санаториев, гостиниц, коттеджей); очистка бытовых и ливневых стоков»[15]

– **Химия и нефтехимия, нефтедобыча:** очистка нефти; очистка воды при охлаждении и конденсации продуктов перегонки, приготовлении раство-

ров для химических реакций, в теплосиловых установках для получения пара с заданными параметрами

– **Металлургия:** подготовка воды для кислородно-конвертерного производства; оборотных циклов различных производств; охлаждения оборудования; резки металла; электроэрозии

– **Целлюлозно-бумажная промышленность:** очень большая потребность в специально подготовленной воде

– **Пищевая промышленность:** подготовка воды для любого производства – мясопереработки, производства безалкогольных и алкогольных напитков; производства хлебобулочной продукции, молочной продукции.

Предварительная очистка воды из поверхностных источников является одной из важнейших проблем на стадии водоподготовки. Создание новых, компактных механических фильтров при этом является актуальной задачей. При этом важнейшую роль играют эффективность, автоматизация и экономическая целесообразность применяемого водоподготовительного оборудования.

Для эффективной очистки жидких и газообразных веществ от механических взвешенных частиц разрабатываются и изготавливаются целевые сетчатые фильтры. Отличительная особенность таких фильтров – отсутствие фильтрующего материала (загрузки). Назначение – очистка воды, водных растворов, жидких и газообразных веществ, углеводов, воздуха, жидких пищевых продуктов и т.д. от твердых взвешенных частиц размером от 0,05 до 3 мм.

## **1.2 Обзор существующих устройств механической очистки воды**

### **1.2.1 Фильтры механической очистки ФМО**

*Фильтры ФМО* (рис. 1.3) предназначены для удаления взвешенных частиц размером от 0,05 мм до 1,5 мм; могут быть использованы при механической очистке жидких и газообразных сред.



Рисунок 1.3 – Фильтры механической очистки ФМО

Особенность таких фильтров – периодичность действия вследствие необходимости очистки фильтроэлемента ручным или автоматическим способом с использованием обратного тока отфильтрованной («чистой») среды.

Применяются для очистки морской, питьевой, технологической воды, а также в оборотных циклах.

Принцип работы фильтра ФМО заключается в том, что исходная вода подается в фильтровальную камеру через подводящий штуцер. При входе в корпус рабочий поток обтекает патрубок фильтрата и проходит сквозь фильтроблок фильтрующего элемента. При этом сетка фильтроблока задерживает средние и крупные мех загрязнения. Очищенный фильтрат собирается в патрубок фильтрата и отводится через отводящий штуцер.

Накапливаемые в нижней части фильтра крупные частицы загрязнений периодически (в зависимости от количества) сбрасываются через дренаж резким открытием арматуры.

В случае интенсивного поступления мелких взвесей фильтрующая поверхность ФЭЛ загрязняется, и пропускная способность фильтра снижается, что отражается на показаниях манометров. При достижении перепада давле-

ния, арматура на штуцере исходной воды закрывается, арматура на нижнем дренаже открывается и производится сброс массы загрязнений.

Отмывка фильтроблока ФЭЛ производится в момент резкого открытия арматуры нижнего дренажа, остатками осветленной воды из камеры фильтра. По окончании отмывки арматура переводится в исходное положение.

### **1.2.2 Фильтры щелевые с плоским фильтрующим элементом**

*Фильтры щелевые ФЩ (рис. 1.4) с плоским фильтрующим элементом* используются при небольших потоках вязких сред (эмульсионные растворы, краски) для очистки от механических включений.

Фильтры ФЩ предназначены для удаления из фильтруемой среды твердых частиц размером от 0,8 до 3 мм.

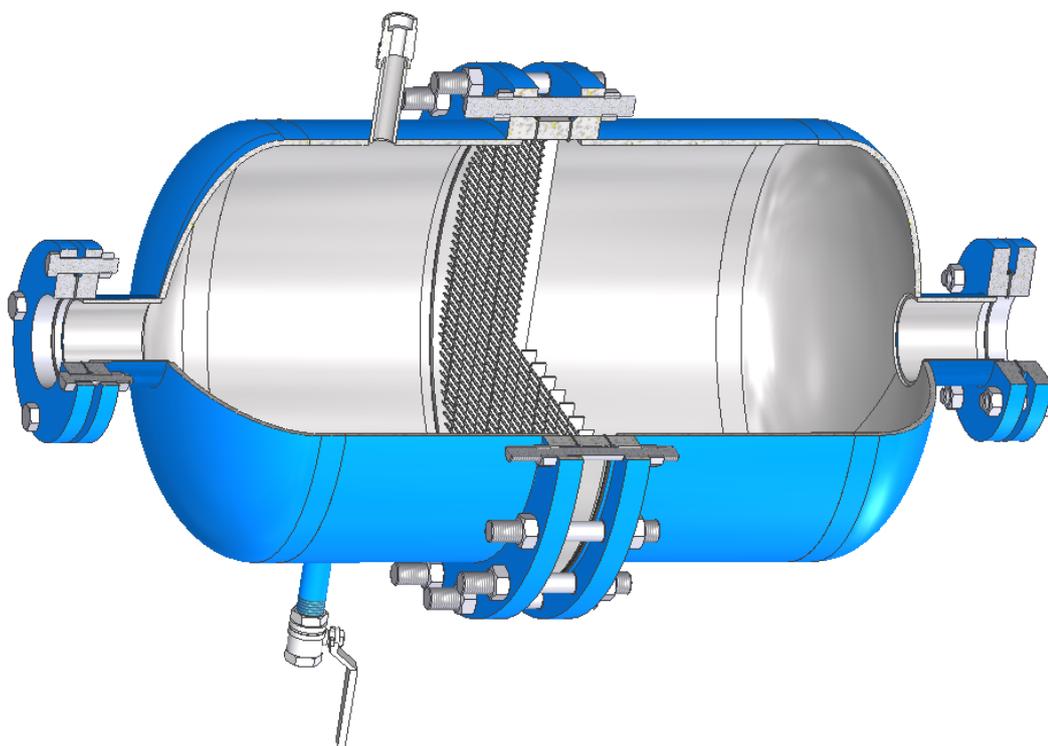


Рисунок 1.4 – Фильтр щелевой ФЩ производства ООО «ПП «ТЭКО-ФИЛЬТР»

### **1.2.3 Фильтры щелевые с цилиндрическим щелевым элементом**

*Фильтры щелевые ФЩ с цилиндрическим щелевым элементом или «корзиной» (рис. 1.5)* используются для очистки водных и неводных раство-

ров с большим фракционным диапазоном загрязнений и значительным загрязнением по массе.

Фильтры ФЩ с «корзиной» имеют тонкость фильтрации от 0,1 мм.

Применяются в производственных процессах фильтрования для оборотных циклов, водных растворов солей, легких фракций углеводородов.



Рисунок 1.5 – Фильтры щелевые ФЩ с цилиндрическим щелевым элементом («корзиной») производства ООО «ПП «ТЭКО-ФИЛЬТР»

#### 1.2.4 Фильтр-циклон

Чтобы обеспечить качество технологической и производственной воды, получаемой из поверхностных вод, нужно применить способ разделения, учитывающий большие различия в качестве исходной воды. При использовании обычных фильтров повышенная концентрация примесей часто значительно снижает производительность фильтров вплоть до полной остановки устройства, что приводит к снижению экономичности и эксплуатационной надежности. На основе этой проблематики был создан новый фильтр для отделения твердых частиц от жидкости, в котором учтены большие изменения концентрации примесей, и который обеспечивает постоянное качество филь-

трации независимо от изменений рабочего давления или расхода с тонкостью фильтрации от 100 и более мкм.

Данный тип фильтра является гибридной системой, состоящей из центробежного сепаратора и линейного фильтра. Фильтры-циклоны предназначены для фильтрации технологической воды и жидкостей с малой вязкостью, имеющих высокую концентрацию механических примесей с различной плотностью и крупностью. В основу принципа действия и конструкции фильтров данного типа положены основные преимущества широко применяемых очистных установок на базе гидроциклонов и центрифуг. Процесс очистки жидкости основан на центробежном эффекте разделения веществ с различной плотностью с последующей фильтрацией остаточных загрязнений на щелевом фильтроэлементе конической формы. Загрязненная жидкость с большой скоростью подается в цилиндрикоконический корпус фильтра через тангенциальный или спиральный входной патрубок и приобретает интенсивное вращение. Твердые частицы с высокой плотностью под действием центробежных сил отбрасываются к стенкам и, двигаясь по спирали к вершине конуса, осаждаются в нижней части корпуса, образуя осадок сгущенной суспензии. Жидкость, очищенная от тяжелых и крупных частиц, в виде обратного вихревого потока проходит через щелевой фильтрующий элемент, расположенный в центре верхней части корпуса, и направляется через выходной патрубок в систему (рис.1.6).

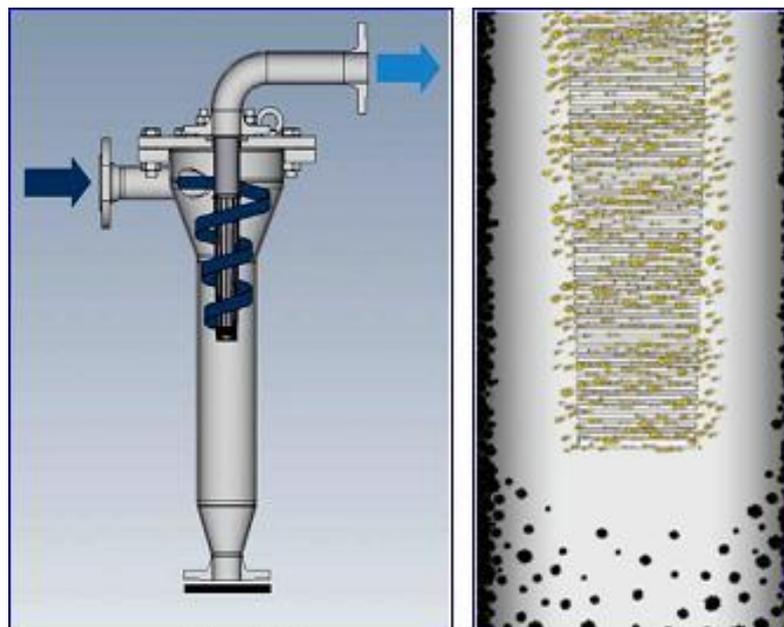


Рисунок 1.6 – Процесс фильтрации фильтр-циклона производства ООО «ПП  
«ТЭКО-ФИЛЬТР»

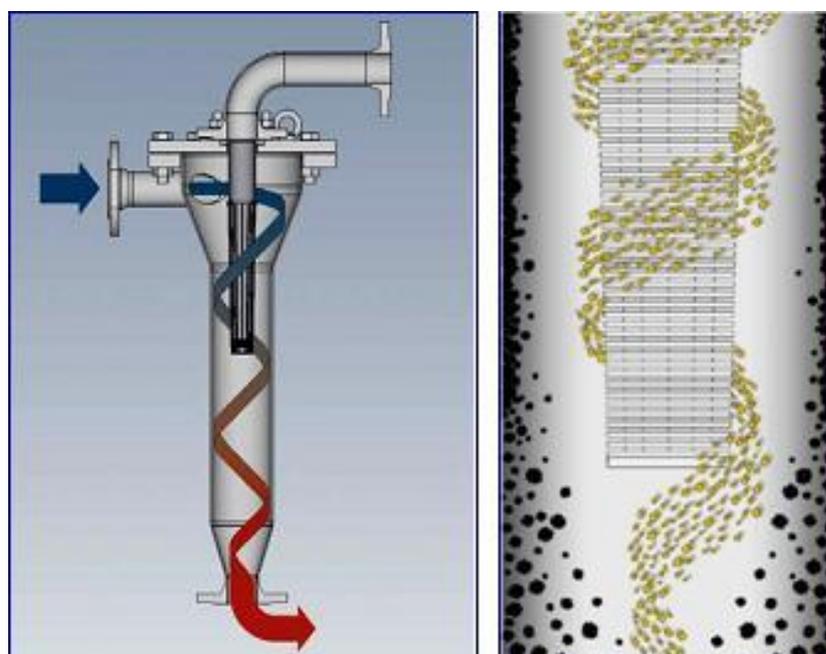


Рисунок 1.7 – Процесс очистки фильтр-циклона производства ООО «ПП  
«ТЭКО-ФИЛЬТР»

По мере накопления осадка в корпусе фильтра и загрязнения фильтро-элемента возрастает перепад давления между «входом» и «выходом» филь-

тра, и при достижении заданного значения производится очистка фильтра и фильтрующего элемента. Для этого нужно открыть запорный клапан на дренажном патрубке, и сгущенный осадок из нижней части корпуса вымывается потоком жидкости в сливной коллектор. Одновременно с удалением осадка вихревым нисходящим потоком жидкости производится удаление загрязнений, осевших на фильтроэлементе (рис.1.7). При промывке фильтра процесс фильтрации жидкости кратковременно прерывается на несколько секунд (2-4 сек). Для больших расходов жидкости данные фильтры могут быть объединены в фильтрационные батареи, при этом очистка фильтров может производиться поочередно.

Фильтры-циклоны ФЦ предназначены для удаления взвешенных частиц в любых отраслях промышленности для очистки жидкостей с большим расसेвом взвешенных частиц.

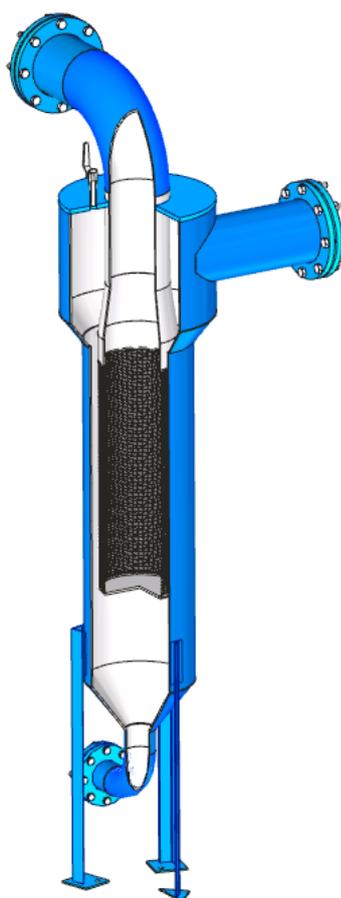


Рисунок 1.8 –Фильтр-циклон производства ООО «ПП «ТЭКО-ФИЛЬТР»

Фильтры ФЦ (рис. 1.8) используются для удаления механических включений размером от 0,05 до 1 мм.

Отличие от ФЩ и ФМО: очистка жидкости происходит за счет центробежной силы, возникающей при тангенциальной подаче потока в корпус фильтра.

Очистка осуществляется в два этапа:

1. Крупные взвешенные частицы отбрасываются на стенки аппарата и опускаются по стенкам в нижнюю кубовую часть.

2. Мелкие взвешенные частицы задерживаются фильтрующим элементом (одним или несколькими), расположенным вертикально в центре аппарата.

При увеличении перепада давления между входом и выходом осуществляется ручная или автоматическая очистка фильтрующего элемента и нижней части аппарата от накопленных загрязнений обратным током отфильтрованной жидкости.

Показатели улавливания загрязнений с помощью данного фильтра зависят от результатов расчетов производимых для каждого случая. Пример расчета показан ниже (рис. 1.9):

	Наименование параметра	Уточняющие данные	Ед.изм	Значение	Примечание
1	2	3	4	5	6
	Общая производительность установки		м <sup>3</sup> /ч	270	ТХ
1.	ФИЛЬТР ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ	новое оборудование	м <sup>3</sup> /ч	240	ТЗ
2.	Количество одновременно работающих	уменьшить один в резерв	шт.	1,1	ТХ
<b>Данные аналитического контроля и требования к фильтрату</b>					
3.	Взвешенные вещества (исходные / фильтрат)	Для измерения иногда исп.НЕМт	мг/дм <sup>3</sup>	20,88	0,05
4.	Окисляемость (БПКл) (исходные / фильтрат)		мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>		
5.	Взвешенные вещества (исходные / фильтрат)		мг/дм <sup>3</sup>	0,00	0,0
6.	Вязкость кинематическая в рабочих условиях		м <sup>2</sup> /с	0,00000297	
7.			мг/дм <sup>3</sup>		
8.			мг/дм <sup>3</sup>		
9.			мг/дм <sup>3</sup>		
10.			мг/дм <sup>3</sup>		
11.	ЗАГРЯЗНЕНИЯ СУММАРНО	исходная вода / фильтрат	мг/дм <sup>3</sup>	20,8	0,1
<b>Исходные и расчетные технические данные</b>					
12.	Производительность 1 ФЭЛ номинально		м <sup>3</sup> /ч	270,2	расчет ФЭЛ
13.	Общая площадь фильтрации ФЭЛ		м <sup>2</sup>	0,035	ТХ, КД расчет
14.	Усредненная скорость фильтрации через ФЭЛ		м/с	1,887	ТХ
15.	Намываемый материал(НМ) загрязнитель / ПЛОТНОСТЬ	ВЗВЕШЕННЫЕ В-ВА (левое)	кг/м <sup>3</sup>	1860,0	справочное
16.	РАБОЧАЯ СРЕДА / ПЛОТНОСТЬ при t °С	p-p CaCl <sub>2</sub> 36%	т/м <sup>3</sup>	1,3488	ТЗ, 20 °С
17.	Удельная грязеемкость ФЭЛ (по твердым в-вам)	за 1 намыв	кг	1,6687	расчет ТХ
18.	Удельная грязеемкость ФЭЛ (по жидким в-вам)	за 1 намыв	м <sup>3</sup>	0,00001	расчет ТХ
19.	Диаметр ФЭЛ (патрона) / ЩЕЛЬ СЕТКИ (поры)		мм / мм	268	0,100
20.	Длина фильтроблока ФЭЛ (патрона) в свету		мм	760	ТХ, КД
21.	Количество N ФЭЛ (патронов) в аппарате		шт.	1	расчет
22.	Толщина намытых загрязнений, номинально		мм	1,0	задано Т
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ТЕХНОЛОГИИ</b>					
23.	Соотношение взвешенных улавливаемых ЦИКЛОНОМ		%	85,0	ТЗ
24.	Количество взвешенных улавливаемых ЦИКЛОНОМ		кг/м <sup>3</sup>	0,0177	расчет
25.	Соотношение взвешенных улавливаемых ФЭЛ		%	10,0	ТЗ
26.	Количество взвешенных улавливаемых ФЭЛ		кг/м <sup>3</sup>	0,0021	расчет
27.	ГРЯЗЕЕМКОСТЬ намыва N ФЭЛ		кг	0,11	расчет
28.	периодичность промывки ФЦ 1 раз за	фильтроцикл	ч / мин	0,21	12,7
29.	Допустимый перепад давления при фильтрации ΔP	Задано технологией	м / кг/см <sup>2</sup>	10,0	1,00
30.	Объем загрязнений намытых за фильтроцикл		м <sup>3</sup>	0,00006	расчет
31.	Объемная скорость промывки ФЭЛ		м <sup>3</sup> /ч	191,13	расчет
32.	Время одной промывки		с	30	задано Т
33.	Рабочий период работы фильтра за год		ч / сутки	8424	361
34.	Реальный объем промывки ФЭЛ		м <sup>3</sup>	0,569	расчет
35.	МАССА намытых загрязнений за год		кг	40103,8	расчет
36.	Объем сточных вод в год		м <sup>3</sup>	22881,0	расчет
37.	ВЫРАБОТКА ФИЛЬТРАТА В ГОД		м <sup>3</sup>	2021760	расчет
38.	Затраты фильтрата на собственные нужды в год		%	1,12	расчет
38a.	МИНИМАЛЬНЫЙ d осажденных частиц	в рабочей камере	мм / мкм	0,846	846,5
<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ФЦ</b>					
39.	Верхний отвод ГОСТ 30763-2001(260x90), home1		мм	372	задано
40.	Выступ патрубка над крышкой, левист.		мм	20	задано
41.	Толщина крышки, в		мм	32	задано ТК
42.	Вынос ШО (штуцера отвода) от ФЦ		мм	160	задано ТК
43.	D тангенциального подреода(диаметр)		мм	273	задано ТК
44.	Расстояние от в/стенки ШП до фл.разъема		мм	86	задано ТК
45.	Расстояние от в/стенки ШП до с/шея КЗ и перехода		мм	48	задано
46.	Высота КЗ ФЦ	+10 св.катет фланца	мм	398	расчет
47.	Высота 1го перехода ФЦ ГОСТ 17378-2001	600x360	мм	300	задано К
48.	D КЗ ФЦ (диаметр)		мм	530	задано К
49.	z КЗ ФЦ (толщина стенки)		мм	10	задано К
50.	Концевые ободы ФЭЛ		мм	10	задано К
51.	Крышка ФЭЛ		мм	6	задано К
52.	Высота РК (рабочей камеры) до разъема	+50 опуск ШО	мм	836	расчет
53.	D РК ФЦ (диаметр)		мм	377	задано К
54.	z РК ФЦ (толщина стенки)		мм	10	задано К
55.	Высота КЧ (кубовой части) от разъема до с/шея		мм	260	задано ТК
56.	Эллиптическое днище или 2й переход ГОСТ, высота	360(или 360x160)	мм	118	задано К
57.	Опуск дренажного патрубка, пол		мм	160	задано К
58.	Нижний отвод ГОСТ 30763-2001(160x90), home2		мм	160	задано К
59.	Расстояние от 0.000 до ниж./отвода		мм	160	задано ТК
60.	D верхнего отвода (диаметр)		мм	273	задано К
61.	z верхнего отвода (толщина стенки)		мм	8	задано К
62.	D нижнего отвода (диаметр)		мм	168	задано ТК
63.	z нижнего отвода (толщина стенки)		мм	4,5	задано К
64.	ВЫСОТА ФИЛЬТРА В СБОРЕ		мм	2774	расчет
65.	Рабочие потери давления в аппарате		м / кг/см <sup>2</sup>	1,91	0,191
		Ведущий инженер-технолог Арбузов А.В.			10.01.2017

Рисунок 1.9 –Пример расчета фильтров

### 1.2.5 Самопромывные фильтры

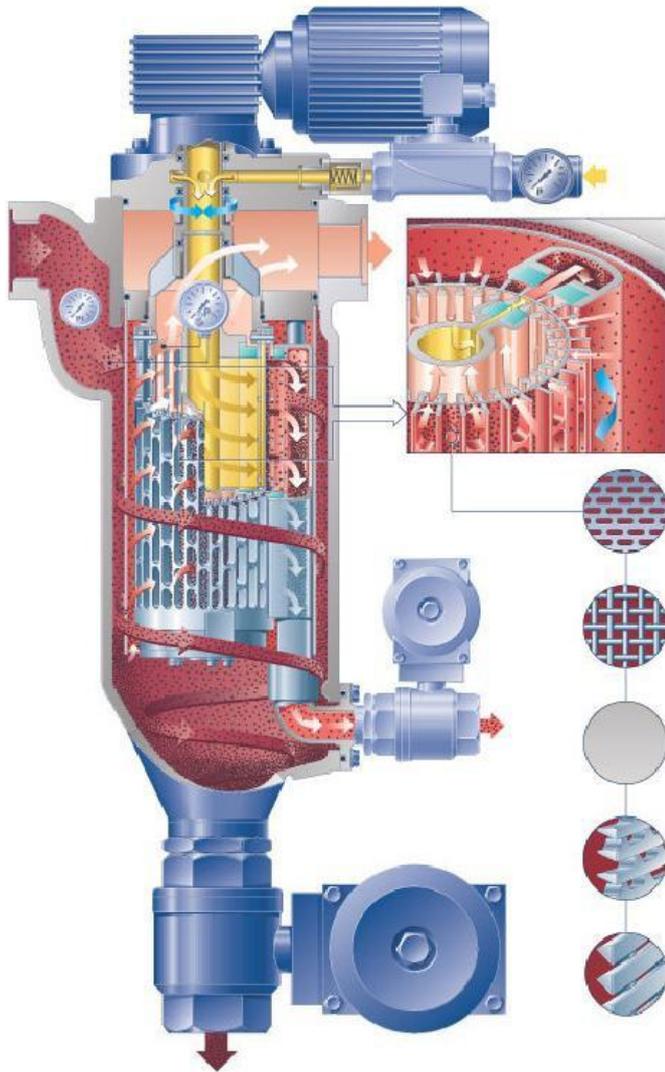


Рисунок 1.10 – Самопромывной  
фильтр

Область применения фильтров не ограничена: везде, где необходима фильтрация с возможностью очистки фильтровального элемента без разборки корпуса, могут использоваться самопромывные фильтры.

Фильтры подходят для фильтрации как низковязких жидкостей, так и высоковязких, что означает, что фильтры пригодны для пищевых жидкостей (вода, сок, масло, шоколад, тесто), для различных паст, густых смазок, липких, клейких жидкостей, красок, гликолей, промышленных масел и т.д.

Большой ряд разновидностей фильтров: от характера очистки фильтровального элемента до разного исполнения фильтровального элемента и материала корпуса фильтра.

Большое количество опций в виде адаптеров-фланцев, клапанов, индикаторов загрязнения, шкафов управления, обогревающих кожухов и встроенной предварительной сепарации.

Так же большой диапазон размеров фильтров, их подсоединений, расходов и давлений.

Главное преимущество – срок службы фильтровального элемента заметно увеличивается в сравнении с неочищающимися фильтрами.

Далее рассмотрим варианты очистки самопромывного фильтра (рис. 1.10):

- Очистка скребком (рис. 1.11);

Очистка производится посредством неподвижного скребка, плотно прижатого к поверхности фильтровального элемента. При повороте рукоятки вручную, либо при срабатывании электропривода, фильтровальный элемент поворачивается так, что весь налёт загрязнений (корж) удаляется с поверхности фильтровального элемента.

Ниже приведем схему очистки скребком:

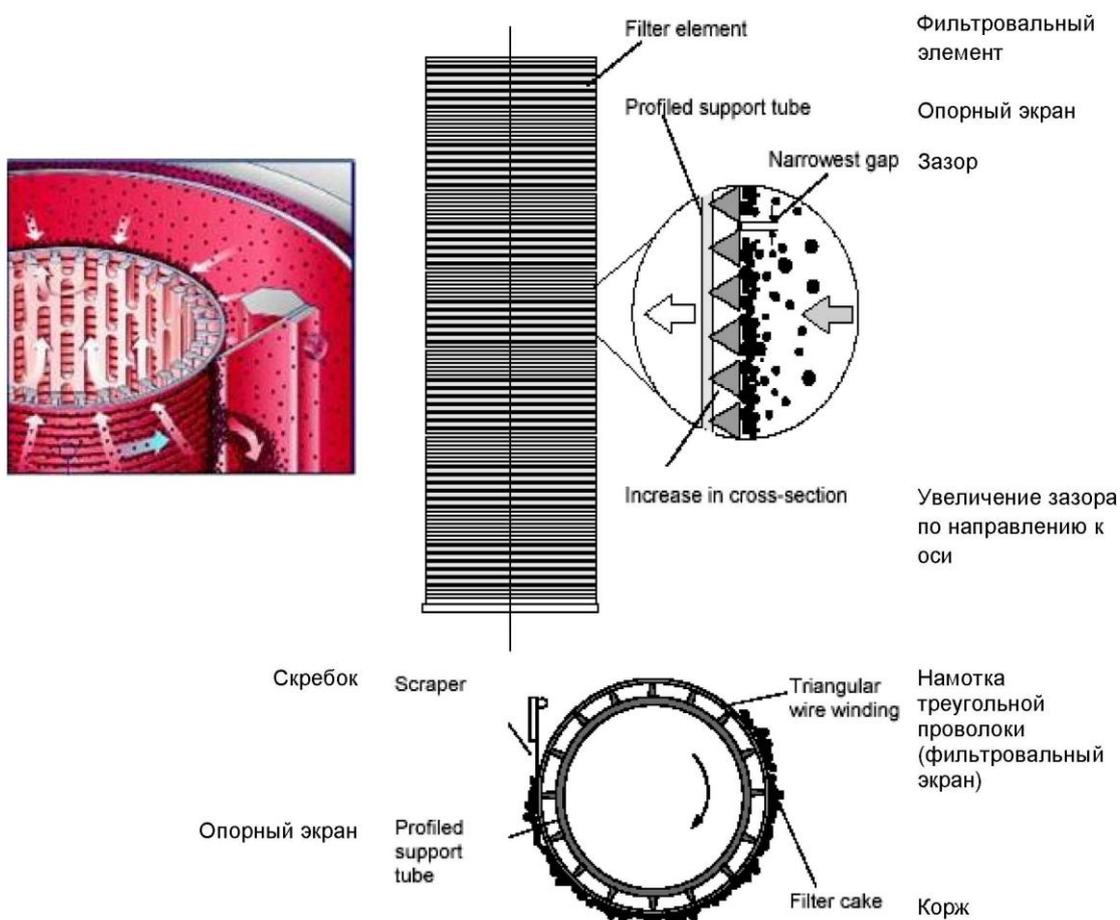


Рисунок 1.11 – Схема очистки фильтрующего элемента скребком.

- Очистка обратным потоком (рис. 1.12);

Очистка осуществляется обратным потоком отфильтрованной среды, либо потоком воздуха от пневмолинии.

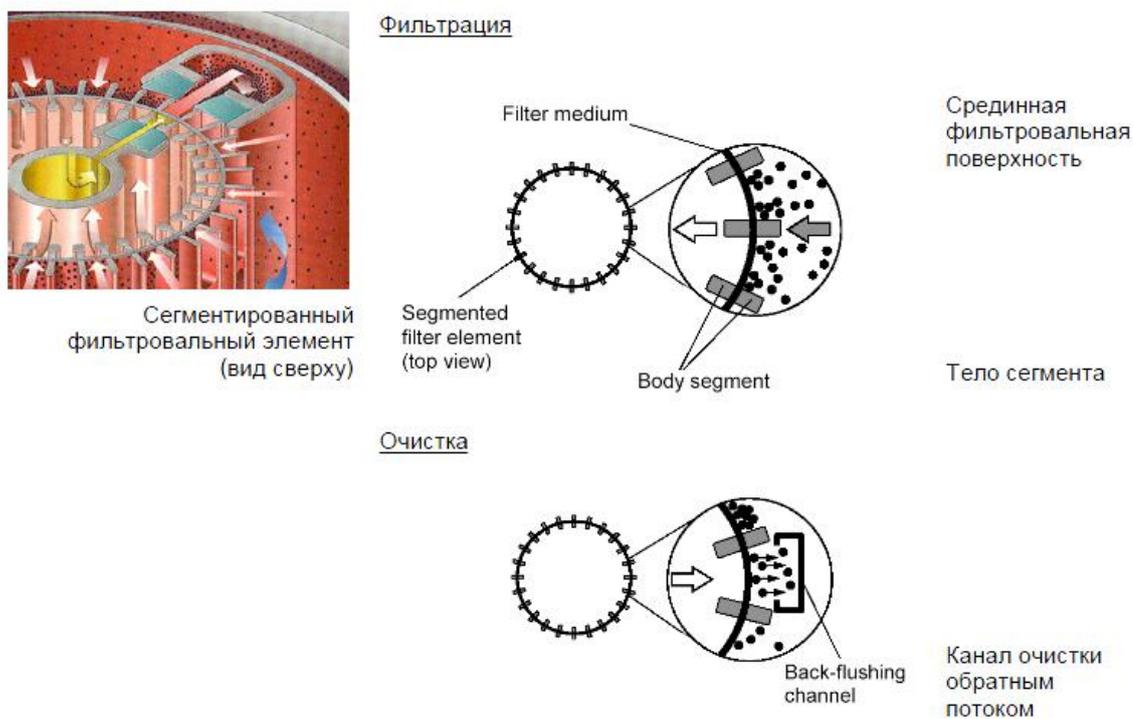


Рисунок 1.12 – Схема очистки фильтрующего элемента обратным потоком.

### 1.3 Выводы по 1 главе

В результате анализа фильтров очистки от взвешенных веществ наиболее перспективным являются самопромывные фильтры механической очистки.

## Глава 2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ САМОПРОМЫВНОГО ФИЛЬТРА ОЧИСТКИ

### 2.1 Разновидности самопромывных фильтров

#### 2.1.1 Дисковые фильтры

Дисковые фильтры применяются для грубой и тонкой очистки воды от механических примесей.

*Назначение.* Дисковые фильтры (рис. 2.1) используют для первоначальной очистки и в качестве грязевиков в различных отраслях производства. Успешно применяют дисковые фильтры в системах водоподготовки, магистральных водопроводов и охлаждающих систем. Также с их помощью защищают теплообменники и градирни от механических примесей.



Рисунок 2.1 – Вид дискового фильтра

*Описание конструкции.* Конструктивно дисковый фильтр представляет собой корпус, внутри которого установлен фильтрующий элемент, в свою очередь выполненный в виде набора дисков (рис. 2.2 и рис. 2.3), плотно прижатых друг к другу.

Диски изготавливаются из высокопрочного пластика, на них нанесены специальные канавки определенного размера, которые соответствуют требуемой степени очистки.



Рисунок 2.2 – Вид дискового фильтра

*Принцип действия.* В рабочем состоянии диски плотно прижаты друг к другу, в результате чего образуются фильтрационные каналы, проходя через которые вода очищается. Вода подается через специальное устройство, придающее потоку вихревое вращение.

Вода пропускается через диски, и все загрязнения задерживаются на фильтрующем элементе. Затем они удаляются при промывке.

Промывка проходит путем запуска обратного тока воды. В этом случае диски размыкаются, освобождая при этом осевшие на них частицы и включения. Промывка включается при достижении заданного перепада давления на фильтре и длится 30-40 секунд.

Дисковый фильтр может работать в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах.



Рисунок 2.3 – Внутренние элементы (диски).

*Основные преимущества дисковых фильтров:*

1. Эффективная фильтрация;
2. Удобная и быстрая промывка;
3. Надежность конструкции;
4. Длительный срок эксплуатации;
5. Компактность установки;
6. Простота монтажа;
7. Минимальные затраты на обслуживание;

Производительность дисковых фильтров зависит от их размеров. Соответственно, чем больше площадь фильтрующего элемента, тем большей пропускной способностью обладает этот фильтр.

Тонкость очистки дисковых фильтров механической очистки воды: от 50 до 250 мкм.

### **2.1.2 Сетчатые самопромывные фильтры**

Сетчатые самопромывные фильтры используются для очистки жидкостей от взвешенных частиц.

*Назначение.* Сетчатые фильтры (рис. 2.4 и рис. 2.5) используются для предварительной фильтрации воды перед установками обратного осмоса или ультрафиолетовой очистки воды для технологических нужд, а также для очистки питьевой воды и очистки воды в оборотных циклах.



Рисунок 2.4 – Самопромывной сетчатый фильтр горизонтального исполнения.



Рисунок 2.5 – Самопромывной сетчатый фильтр вертикального исполнения.

*Описание конструкции.* Сетчатые фильтры представляют собой цилиндрические аппараты с установленными внутри сетчатыми фильтрующими элементами, выполненными из пластика или нержавеющей стали.

*Принцип действия.* Принцип работы сетчатого фильтра заключается в прохождении жидкости через сетчатые фильтрующие элементы, на которых

задерживаются взвешенные частицы. Самоочистка фильтров может быть электрической либо гидравлической.

Электрическая система (рис. 2.6) работает с помощью резиновых сопел. Резиновая щетка очищает поверхность фильтроэлемента, а всасывающий сканер удаляет загрязнения.

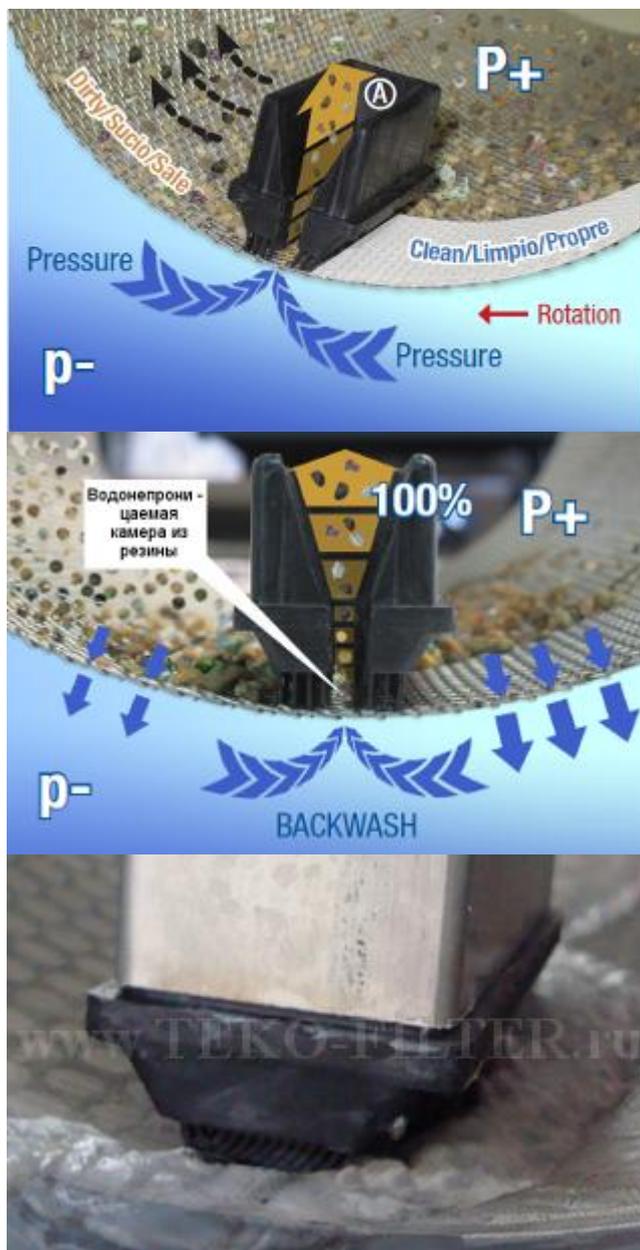


Рисунок 2.6 –Электрическая система фильтрации.

Гидравлическая система (рис. 2.7) работает с использованием пластиковых сопел, через которые всасываются загрязнения с фильтрующего элемента.

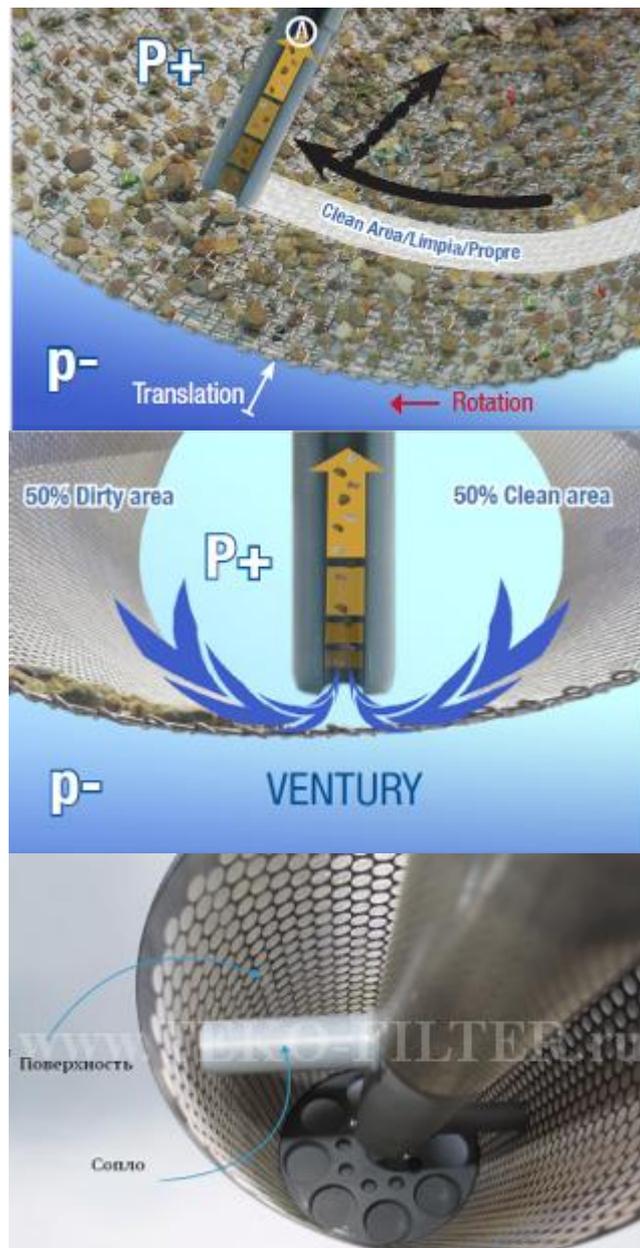


Рисунок 2.7 – Гидравлическая система фильтрации.

Поток обратной промывки поступает при том же давлении, что и исходная вода в процессе фильтрации. При этом процесс очистки воды не останавливается.

Сетчатые фильтры могут работать в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режиме.

Преимущества сетчатых самопромывных фильтров:

1. Экономичность (относительно невысокие цена и затраты на обслуживание);
2. Удобство эксплуатации (возможность полной автоматизации);

3. Непрерывная работа (промыть ведется одновременно с фильтрованием);
4. Компактность;
5. Автоматическая самопромывная система позволяет добиваться необходимого качества очистки;
6. Пригодны для использования в любых отраслях промышленности.

Производительность сетчатых фильтров зависит от их габаритов и составляет от 5 до 690 м<sup>3</sup>/ч.

Тонкость фильтрации – от 0,01 мм до 1,5 мм.

Материал исполнения корпуса: пластик (полиамид со стекловолокном), углеродистая сталь, нержавеющая сталь.

### **2.1.3 Фильтры самопромывные механической очистки**

Фильтры изготавливаются из сталей различных марок с нержавеющей фильтрующим элементом из каркасно-проволочной конструкции «ТЭКО-СЛОТ» (рис. 2.8). Диаметр фильтроэлемента зависит от требуемой производительности аппарата. Направление фильтрации – изнутри наружу. Тонкость фильтрации – в соответствии с требованиями по очистке исходной среды.



Рисунок 2.8 – Фильтрующий элемент из каркасно-проволочной конструкции «ТЭКО-СЛОТ».

Фильтры оборудованы автоматической системой промывки для удаления механических примесей без прерывания основного процесса фильтрации.

ФСМО (рис. 2.9 и рис. 2.10) предназначены для извлечения из жидких сред частиц механических загрязнений.

Фильтр представляет собой аппарат с внутренним сетчатым фильтрующим элементом «ТЭКО-СЛОТ», неравномерно разделенным специальной поворотной заслонкой. Заслонка обеспечивает в установленные заранее периоды перенаправление потока фильтрата для очистки фильтроэлемента от накопленных загрязнений.



Рисунок 2.9 – Корпус фильтра самопромывного механической очистки.

Для обеспечения полностью автоматизированного процесса фильтрации для ФСМО разработана локальная система управления (ЛСУ), которая включает в себя: шкаф автоматического управления фильтром с программируемым контроллером, датчики давления и электроприводы арматуры сброса промывки. ЛСУ позволяет аппарату работать в автоматическом режиме.

Для включения ФСМО в работу подается исходная вода на вход в фильтр, открывается воздушник для сброса воздуха и включается насос по-

дачи рабочей среды. После сброса воздуха воздушник закрывается и открывается арматура на выходе фильтрата. После включения ФСМО в работу производится настройка программы (алгоритма работы).

После первичного накопления загрязнений на первом этапе производится промывка внутренней поверхности сетки ФЭЛ с выносом загрязнений в дренажный коллектор. Второй этап промывки сетки ФЭЛ – фильтратом снаружи внутрь. При этом внутренняя заслонка поворачивается поперек рабочего потока и перенаправляет фильтрат частично на промывку хвостовой (наиболее загрязненной) секции ФЭЛ. После окончания операции промывки заслонка и арматура дренажа переводятся в исходное положение и фильтр возвращается в штатный режим фильтрации.

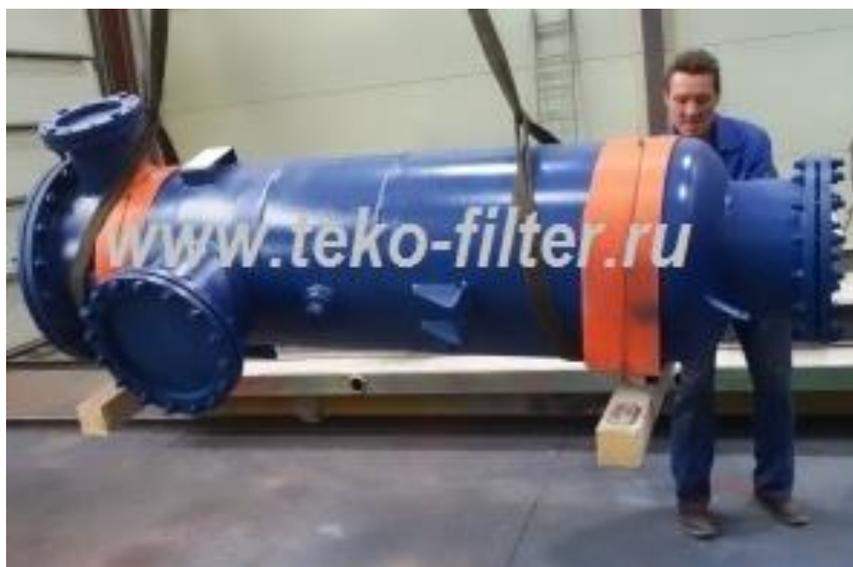


Рисунок 2.10 – Корпус фильтра самопромывного механической очистки.

Именно эту конструкцию возьмем за основу для дальнейшего просчета и конструирования.

## **2.2 Выбор конструкции внутреннего патрона механического фильтра на основе спирально навитой конструкции «ТЭКО-СЛОТ»**

Разработкой фильтров механической очистки (ФМО) ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР» занимается с 2013 года. Для проведения исследований ФМО и гидравлических испытаний фильтрующих эле-

ментов на основе «ТЭКО-СЛОТ», обеспечивающих режимы работы аппаратов, на предприятии был организован Испытательный центр.

**Первый этап исследований** касался изучения гидравлических характеристик ФЭЛ проволочной витой конструкции «ТЭКО-СЛОТ», которые должны были обеспечить максимально эффективную работу фильтра и были простыми в обслуживании. Для проведения этого этапа были разработаны методики проведения гидравлических испытаний, изготовлено и собрано в схемы испытательное оборудование.

Для обеспечения рабочих условий испытательной среды использовалось насосное оборудование, указанное в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Насосное оборудование

№ п.п	Наименование насоса	Тип или марка	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м.в.ст
1	Насос центробежный Grundfos	JP-6	4,0	45
2	Насос центробежный Grundfos	CRN10-7	9,5	55
3	Насос центробежный ХМ	ХМ 80-50-200К	50	50

Для обеспечения снятия показаний во время проведения гидравлических испытаний использовались КИП описанные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Перечень КИП

№ п.п	Наименование средства измерения	Тип или марка	Класс точности, погрешность, цена деления	Пределы измерений
1	Манометр механический	МПЗ-Уф	КТ 1,5	(0-10) кгс/см <sup>2</sup>
2	Манометр цифровой	Dwyer DPG-105	ПГ ±0,25%	(0-7) кгс/см <sup>2</sup>
3	Термометр технический	СП-2К	ЦД 1 °С	(0-50) °С
4	Ротаметр	ZYIA LZM-25G	ЦД 5 л/мин	(10-70) л/мин (0,6-4,2) м <sup>3</sup> /ч

Продолжение таблицы 2.2

№ п.п	Наименование средства измерения	Тип или марка	Класс точности, погрешность, цена деления	Пределы измерений
5	Ротаметр	ZYIA LZM-25G	ЦД 5 л/мин	(20-110) л/мин (1,2-6,6) м <sup>3</sup> /ч
6	Ротаметр	ZYIA LZM-25G	ЦД 5 л/мин	(20-150) л/мин (1,2-9,0) м <sup>3</sup> /ч
7	Ротаметр	РМК 30-ЖУЗ	ЦД 0,285-0,3 м <sup>3</sup> /ч ±2,5%	1,9-30 м <sup>3</sup> /ч

Гидравлические испытания ФЭЛ проводились как на чистой рабочей (испытательной) среде, так и с использованием загрязнителей.

Все проведенные испытания были зафиксированы в протоколах, составлены отчеты по НИР с рекомендациями по использованию конструкций ФЭЛ при изготовлении фильтровального оборудования.

Также были составлены графические зависимости (рис. 2.11) работы фильтров механической очистки предоставленные ниже.

**Второй этап исследований** охватывал исследование работы фильтров ФМО различной конструкции и комплектации, а также разработку, изготовление и испытание шкафа автоматического управления ФМО. Для поведения этого этапа были разработаны методики разработки и постановки на производство опытного промышленного образца, методики проведения гидравлических и приемочных испытаний ФМО, изготовлено и собрано в схемы испытательное оборудование (рис. 2.12).

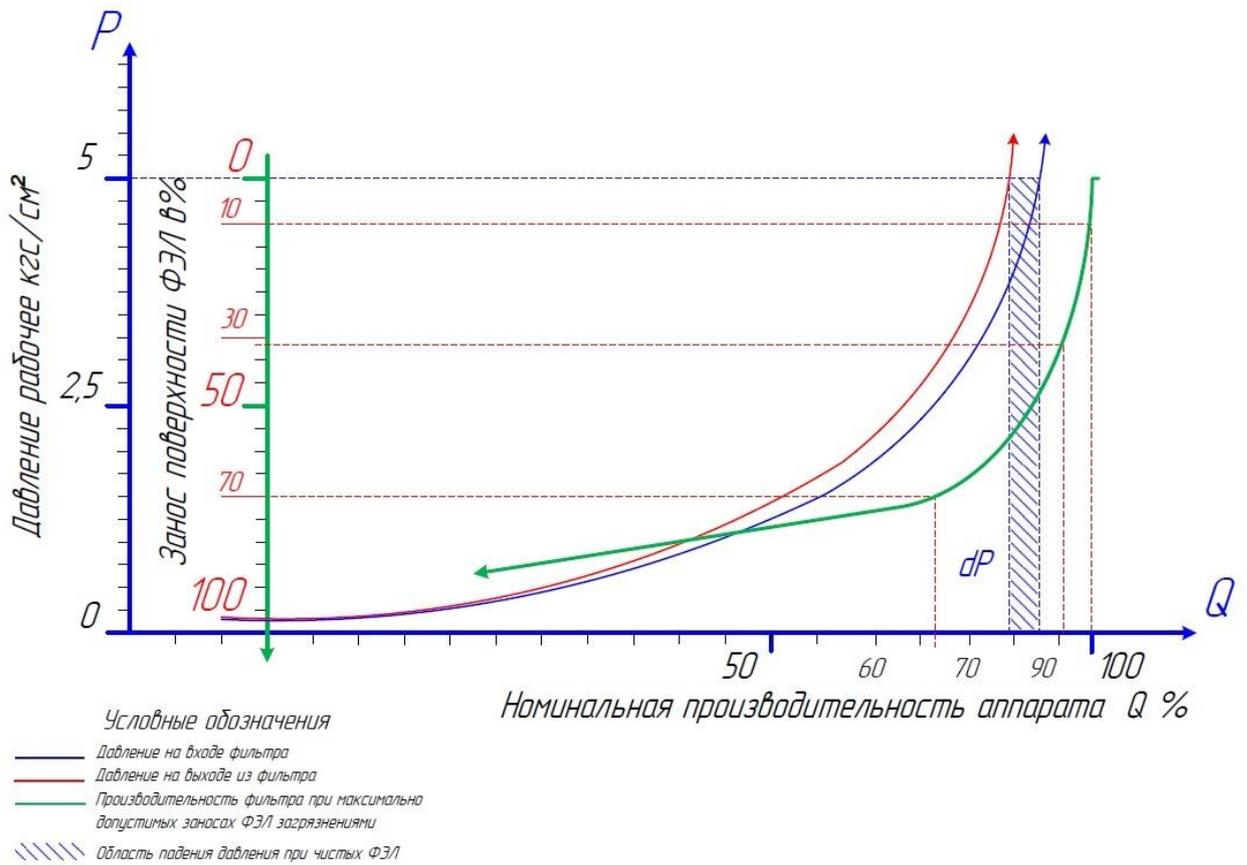


Рисунок 2.11 – Графическая зависимость работы фильтров механической очистки



Рисунок 2.12 – Испытательный центр ООО «ПП «ТЭКО-ФИЛЬТР»

Результатом проведенных исследований является разработка линейки ФМО различной производительности, под различные рабочие условия, а также разработка линейки установок механической очистки (УМО) различной производительности (от 10 до 1600 м<sup>3</sup>/ч) как для ручной, так и для автоматической эксплуатации.

Для обеспечения автоматического режима отработки фильтра механической очистки (и подобных ему аппаратов) схемой предусмотрена установка на всех патрубках фильтра запорной арматуры с исполнительными механизмами (в частности электроприводами), на патрубках входа исходной рабочей среды и выходе фильтрата должны быть установлены датчики давления, воздушник на верхней крышке фильтра должен быть заменен на узел воздушной сдувки, включающий в себя электромагнитный клапан и реле протока.

Универсальный шкаф управления, поставляемый вместе с фильтром позволяет подключать периферийное устройство (нетбук, ноутбук) и производить настройку параметров срабатывания контроллера и интервала времени на отработку запорной арматуры под конкретные рабочие условия (или настраивать режим для проведения пуско-наладочных работ).

Установка механической очистки представляет собой конструкцию собранную из двух идентичных ФМО размещенных на единой платформе и соединенных друг с другом последовательно. ФМО различаются только толщиной фильтрации внутренних фильтрующих элементов.

Доступный эффективный для данной группы фильтров рейтинг фильтрации составляет от 3000 мкм на первой ступени очистки до 1000 мкм на второй ступени очистки.

Доступные параметры рабочего давления составляют от 0,25 МПа до 1,6 МПа.

Средства автоматического управления фильтрами позволяют работать аппаратам в автономном режиме после выбора на шкафах управления поло-

жения «автоматический режим». В обвязке фильтров предусмотрены штуцера для подачи фильтрата на обратную промывку фильтрующих элементов (в случае их заноса загрязнениями) и дренаж для сброса промывных вод.

Для включения установки механической очистки в работу открывается арматура на входе в I ступень, открываются воздушники на фильтрах для сброса воздуха. После сброса воздуха воздушники закрываются и открывается арматура на выходе из II ступени. При загрязнении ФОВ вход I ступени и выход II ступени закрываются и открываются штуцера промывки и дренажи сброса. После промывки программа включения в работу повторяется.

Внутри корпуса фильтра устанавливаются щелевые фильтрующие элементы – плоские перегородки или цилиндрические патроны. Фильтроэлементы могут выполняться из нержавеющей щелевой конструкции «ТЭКО-СЛОТ» (рис. 2.13) или пористых полимерных материалов (рис. 2.14).



Рисунок 2.13 – ФЭЛ из нержавеющей конструкции «ТЭКО-СЛОТ».



Рисунок 2.14 – ФЭЛ из пористых полимерных материалов.

Простая и надежная конструкция «ТЭКО-СЛОТ» для изготовления фильтрующих элементов выполнена из проволоки треугольного сечения путем навивки её на направляющие. Навиваемая проволока сваривается с направляющими в каждой точке пересечения. Шаг намотки проволоки определяет ширину щелевого зазора фильтроэлемента.

Проволока треугольного сечения создает гладкую фильтрующую поверхность с диффузорно расширяющимися в направлении фильтрации щелями. Опорные элементы образуют жесткий каркас.

Преимущества щелевых проволочных конструкций:

- стремящаяся к "0" глубина щели, что обеспечивает незабиваемость, минимальное гидравлическое сопротивление;
- гарантированный размер щелей с "жестким" допуском;
- повышенная коррозионная стойкость благодаря изготовлению из нержавеющей сталей, в том числе, кислотостойких, жаропрочных, специальных;
- возможность фильтрации снаружи внутрь, изнутри наружу;
- высокая механическая прочность и жёсткость фильтроэлементов позволяет выдерживать высокие нагрузки ( $P_{\text{раб.}}$  до 3 МПа);
- более эффективная очистка обратным потоком жидкости или пара; воздухом под давлением, а также химическими реагентами, без влияния на его геометрические размеры;
- повышенная производительность благодаря большей площади фильтрации и широкому диапазону скоростей;
- конструирование по заказу в соответствии с техническими требованиями заказчика: по типам сборочных соединений, расположению щелей, направлению фильтрации;
- возможность изготовления изделий любых размеров, в том числе, блочных конструкций.

Продукция, изготавливаемая на основе каркасно-проволочных конструкций «ТЭКО-СЛОТ» (рис. 2.15):

1. Плоские, конусные, цилиндрические, дуговые сита, ситовые вкладыши по чертежам заказчика для пивоваренной промышленности, производителей солода, целлюлозно-бумажной промышленности;
2. оборудование для водозаборов открытых водоемов и скважинных фильтров;
3. высокоэффективные щелевые решетки с системой самоочистки и возможностью адаптации к любым каналам для механической очистки сточных вод;
4. оборудование для добычи редкоземельных металлов;
5. фильтрующие элементы ФЭЛ (щелевые колпачки), изготовленные на основе щелевых решеток предназначенные для установки в фильтрах водоподготовки различного назначения.

Щелевая решетка – легкая и очень прочная сварная конструкция, получаемая путем намотки треугольной проволоки на продольные направляющие (стрингеры). Сечение проволоки может быть различное: треугольное, прямоугольное или круглое. Навиваемая проволока сваривается со стрингерами в каждой точке соприкосновения. Шаг намотки проволоки определяет ширину щелевого зазора.

Проволока треугольного сечения образует гладкую фильтрующую поверхность с щелями, диффузорно расширяющимися в направлении фильтрации. Опорные элементы составляют собой жесткий каркас. Ширина щели фильтрующей поверхности может варьироваться от 0,025 до 20 мм.

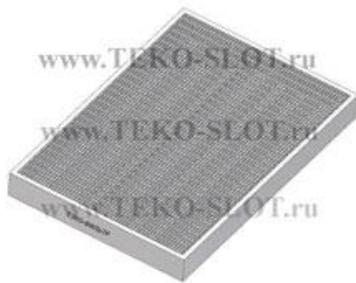
Современное, автоматическое оборудование, с использованием которого изготавливаются щелевые решетки «ТЭКО-СЛОТ», позволяет выдерживать допуск на ширину щели до  $\pm 0,015$  мм.



ФЭЛ



Фильтрующий элемент



Сито плоское квадратное



Решетка плоская круглая



Цилиндрическая корзина



Фильтроэлемент намывной



Корзина с косым фланцем



Корзина коническая

Рисунок 2.15 – Продукция, изготавливаемая на основе каркасно-проволочных конструкций «ТЭКО-СЛОТ»

Направление фильтрации через щелевую решетку «ТЭКО-СЛОТ» может быть реализовано по принципу:

1. Снаружи – внутрь (рис. 2.16);
2. Изнутри – наружу (рис. 2.17);



Рисунок 2.16 – Направление фильтрации снаружи - внутрь



Рисунок 2.17 – Направление фильтрации изнутри - наружу

Применение проволоки специального треугольного сечения (Технические характеристики см. табл. 2.3) с заостренными концами обеспечивает особые гидравлические свойства щелевых решеток «ТЭКО-СЛОТ».

Таблица 2.3 – Технические характеристики трубы «ТЭКО-СЛОТ»

Диаметр, мм		Профиль проволоки*		Кол-во опорных профилей	Щель (мм)	Материал*
Наруж.	Внутр.	Намотка	Опорные			
83	76	1,0×2,0	1,5×2,5	20	0,05÷2,0	AISI 304 AISI 316 AISI 321
84	76	1,5×2,5	1,5×2,5	32		
87	79	1,5×2,5	1,5×2,5	36		
94	86	1,5×2,5	1,5×2,5	40		
95	88	1,0×2,0	1,5×2,5	26		
96	88	1,5×2,5	1,5×2,5	26		
100	92	1,5×2,5	1,5×2,5	44		
109	102	1,0×2,0	1,5×2,5	25		

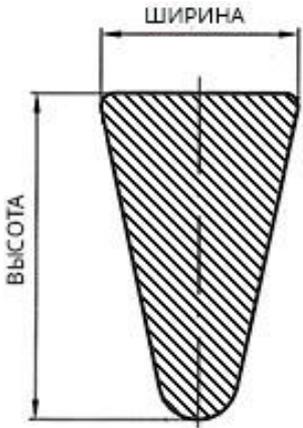
Продолжение таблицы 2.3

Диаметр, мм		Профиль проволоки*		Кол-во опорных профилей	Щель (мм)	Материал*
Наруж.	Внутр.	Намотка	Опорные			
110	102	1,5×2,5	1,5×2,5	25	0,05÷2,0	AISI 304 AISI 316 AISI 321
114	106	1,5×2,5	1,5×2,5	44		
124	117	1,0×2,0	1,5×2,5	30		
125	117	1,5×2,5	1,5×2,5	48		
139	131	1,5×2,5	1,5×2,5	48		
153	146	1,0×2,0	1,5×2,5	48		
154	146	1,5×2,5	1,5×2,5	48		
157	149	1,5×2,5	1,5×2,5	60		
180	172	1,5×2,5	1,5×2,5	66		
213	206	1,0×2,0	1,5×2,5	76		
214	206	1,5×2,5	1,5×2,5	76		
258	250	1,5×2,5	1,5×2,5	96		
267	260	1,0×2,0	1,5×2,5	72		
268	260	1,5×2,5	1,5×2,5	72		
287	279	1,5×2,5	1,5×2,5	72		

\*Примечания:

1. Возможно изготовление щелевых труб из специальных марок нержавеющей стали.
2. В таблице указаны размеры стандартного профиля (табл. 2.4), в случае необходимости оборудование может быть перенастроено для выпуска изделий с другими профилями проволоки.

Таблица 2.4 – Параметры проволоки

	Ширина	Высота	Марка стали
	1	2	AISI 304
AISI 316			
AISI 321			
1,5	2,5	AISI 304	
		AISI 316	
		AISI 321	
2	3	AISI 304	
		AISI 316	
		AISI 321	

Положительные технологические особенности:

1. Высокая пропускная способность фильтрующей поверхности;
2. Низкое гидравлическое сопротивление;
3. Полное исключение возможности забивания щели фильтрующей поверхности;
4. Равномерное распределение фильтруемой среды по всей фильтрующей поверхности, исключающее появление застойных зон;
5. Эффективная обратная промывка;
6. Высокая механическая прочность;
7. Длительный безаварийный срок эксплуатации.

### **2.3 Выводы по 2 главе**

В результате анализа исследований проведенных на Производственном предприятии «ТЭКО-ФИЛЬТР» самопромывных фильтров механической очистки, а также технологических возможностей спирально-навитых элементов «ТЭКО-СЛОТ» выявлена возможность использования объединенного конструктивного решения.

Предложена конструкция самопромывного фильтра механической очистки ФСМО.

# ГЛАВА 3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТАННОГО ФИЛЬТРА

## 3.1 Основные параметры и технические характеристики предлагаемой конструкции фильтра

Фильтр ФСМО (рис. 3.1) предназначен для эксплуатации в схемах водоподготовки для очистки пресной и морской воды на различных промышленных предприятиях, в том числе на объектах теплоэнергетики, водозаборах, оборотных схемах. Фильтр можно использовать как внутри помещений, так и на открытых площадках. Фильтр может быть установлен в горизонтальном, либо вертикальном положении, и только на нагнетательной стороне трубопроводной схемы.

Работа фильтра характеризуется изменением количества загрязняющих веществ (механических взвесей) в исходной воде с технологией периодического сброса накопленных загрязнений без остановки процесса фильтрации.

Конструкция, габаритные и присоединительные размеры фильтра соответствуют габаритному чертежу, разработанному к данному проекту.

Согласно произведенному расчету (приложение 1) фильтр ФСМО имеет следующие технические характеристики и габариты (табл. 3.1, рис. 3.2).

Фильтр состоит из следующих основных элементов (рис. 3.2):

- корпус, поз. 1;
- прецизионный фильтрующий элемент, поз. 2;
- штуцера подключения фильтра, поз. 3, 4, 5;
- ЛСУ (локальная система управления) поз. 10, P1, P2, A-4, A-3.

Фильтр представляет собой однокамерный вертикальный (или горизонтальный) аппарат с крышкой (9) и сервис камерой (8) для проведения ревизии и ремонта внутренних устройств, и с эллиптическим днищем. В эллиптическом днище предусмотрен штуцер(3) подводящего потока и дренаж(7) для

полного опорожнения корпуса фильтра. На верхней части обечайки под углом 90° предусмотрен штуцер (4) отводящего потока.

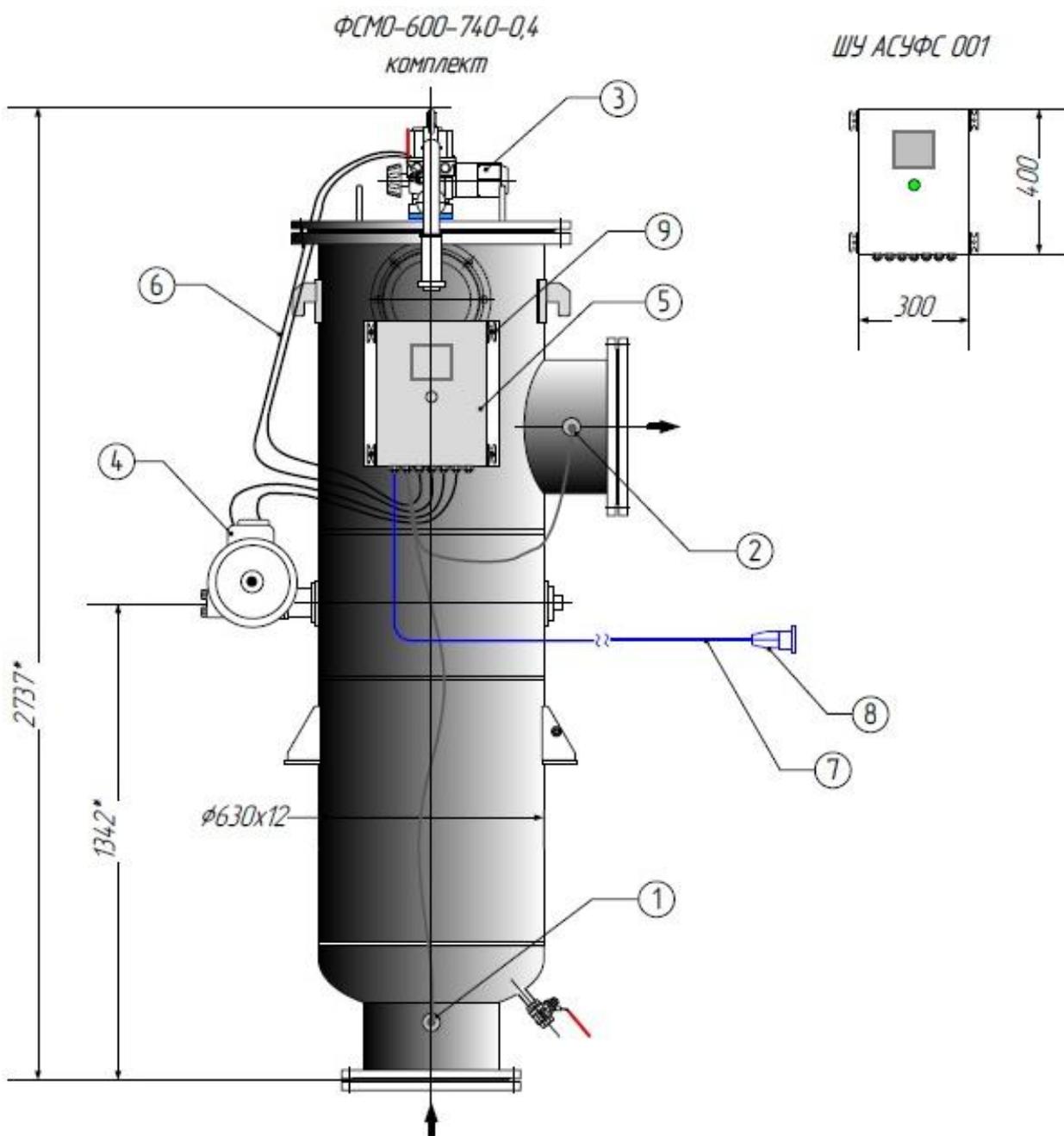


Рисунок 3.1 – Фильтр ФСМО

Таблица 3.1 – Основные технические данные

Наименование параметра		Значение
Давление рабочее, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )		0,26 (2,6)
Давление расчетное, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )		0,6 (6,0)
Пробное давление испытания, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	гидравлического	0,6 (6,0)
	пневматического	-
Рабочая температура среды, °С		не более плюс 40
Минимально допустимая рабочая температура, °С		плюс 1
Наименование рабочей среды		Вода техническая (речная)
Габаритные размеры, мм:		
диаметр		630
толщина стенки		12
ширина в плане		1224×1433
высота		2740
Допускаемый перепад давления (сопротивление перед промывкой), МПа		0,15
Количество ФЭЛ, шт / Тонкость фильтрации, мкм		1 / 400
Вместимость, м <sup>3</sup>		0,69
Производительность максимальная при перекрытии рабочей поверхности ФЭЛ не более чем на 45%, м <sup>3</sup> /ч		740
Масса пустого аппарата, кг		880

Выбор модификации рабочего положения фильтра (вертикально, горизонтально) согласовывается с заказчиком или на основании ТЗ.

Корпус фильтра (1) выполнен из углеродистой стали.

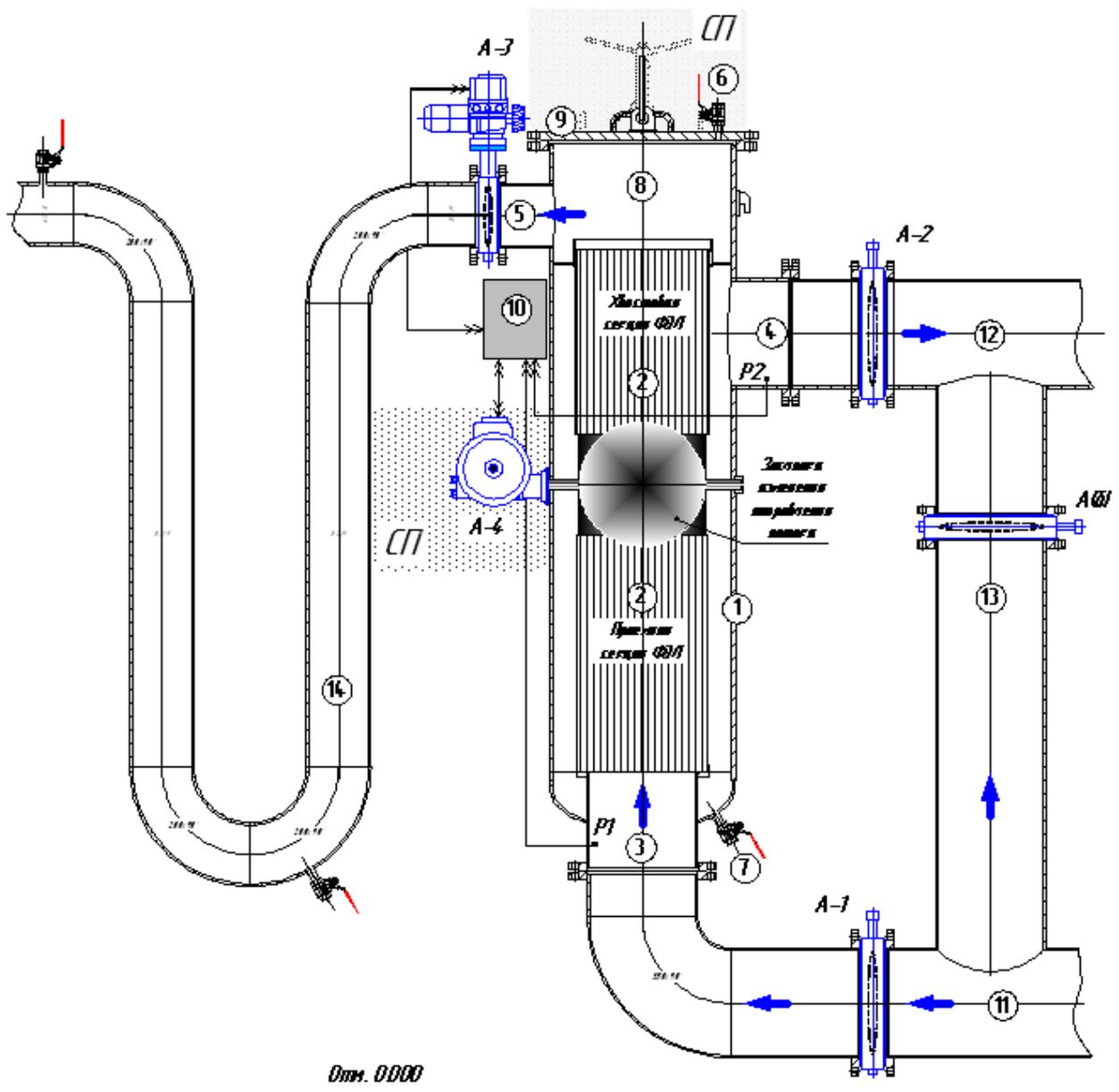


Рисунок 3.2 – Принцип работы ФСМО.

Внутри фильтровальной камеры расположен прецизионный фильтрующий элемент (2), который состоит из трех секций:

- 1) приемной фильтровальной секции;
- 2) секции изменения направления потока (с заслонкой отклонения потока);
- 3) хвостовой фильтровальной секции. Способ фильтрации изнутри наружу.

Ближе к торцевой крышке в сервис камере расположен штуцер (5) отвода промывки фильтра.

Для обеспечения работы секции изменения (отклонения) направления потока в конструкции фильтра предусмотрен вал поворотный с узлами уплотнения в местах его продолжения сквозь стенку аппарата. Один из узлов опорный для вала, второй имеет фланец для крепления электропривода заслонки отклонения, и отверстие в корпусе для контроля протечки узла уплотнения.

Секции фильтроэлемента установлены, состыкованы и закреплены на посадочных местах посредством стыковочных и сварных деталей.

Для обеспечения нормальной работы с фильтром поставляется локальная система управления (ЛСУ), которая включает в себя шкаф управления (ШУ АСУФС), КИП (датчики давления) и электроприводы арматуры дренажного штуцера и заслонки отклонения потока.

Фильтр устанавливается в рабочее положение ответными фланцевыми соединениями непосредственно к рабочим трубопроводам. На корпусе фильтра предусмотрены две опоры для его закрепления на опорных местах в рабочей вертикальной позиции. Фильтр устанавливается только на нагнетательной стороне схемы подачи воды.

Внимание! Категорически запрещается устанавливать запорную арматуру непосредственно на подводящем и отводящем штуцере фильтра. Допускается устанавливать запорную арматуру для отсечения подводящего и отводящего потока не ближе 500 мм от ответных фланцевых соединений подводящего и отводящего штуцеров.

Запрещено устанавливать фильтр непосредственно на нагнетательный патрубок насоса.

Запрещено устанавливать обратные клапана на расстояние ближе 6-кратного диаметра от подводящего штуцера.

Работа фильтра автоматизирована и заключается в периодическом осуществлении следующих операций:

- а) фильтрацию (механическая очистка от взвешенных частиц);

б) первичная (прямая) промывка накопленных загрязнений с приемной и хвостовой секций ФЭЛ;

в) основная (обратная) промывка хвостовой секции ФЭЛ.

Исходная вода (техническая, речная, морская и т.п.) подается единым потоком в ФЭЛ через подводный штуцер. При входе в корпус рабочий поток сбрасывает скорость и одновременно фильтруется изнутри наружу через приемную и хвостовую части ФЭЛ. При этом внутренняя поверхность фильтроблока задерживает крупные и средние (до 450 мкм) механические загрязнения в большем количестве в его хвостовой секции. Очищенный (осветленный) фильтрат собирается снаружи поверхности фильтроблока ФЭЛ и постоянно отводится через отводящий штуцер.

Накапливаемые в хвостовой секции ФЭЛ наиболее крупные и средние частицы периодически (в зависимости от их количества) сбрасываются через промывочный штуцер сервис камеры при помощи автоматической отработки электроприводов.

В случае интенсивного поступления крупных взвесей (паводок, наносы) фильтрующая поверхность ФЭЛ быстро загрязняется и пропускная способность фильтра с течением времени снижается, что отражается на показаниях датчиков давления. При достижении перепада 0,1 МПа (максимально 0,15 МПа) производится автоматическая операция смыва загрязнений с внутренней поверхности фильтроблока. Успешное проведение обратной промывки возможно при обязательной разнице давления между подводом и отводом не менее 0,03 МПа.

Операция промывки ФЭЛ - единый процесс, протекающий в два этапа без остановки основного рабочего процесса - фильтрации.

Первый этап начинается с открытия запорной арматуры на дренажном штуцере. Происходит разделение рабочего потока на короткое время, приблизительно 1/3 которого фильтруются через поверхность ФЭЛ, 2/3 производит смыв наибольшего количества загрязнений с хвостовой секции филь-

троблока в трубопровод дренажа, через сервис камеру, и далее в канализацию или сборный приямок.

Второй этап начинается по установленной в ЛСУ команде таймера. Основной электропривод по команде поворачивает внутреннюю заслонку поперек рабочего потока. При этом через приемную секцию ФЭЛ на короткое время устанавливается форсированный режим фильтрования, а часть фильтрата по перепаду давления проникает снаружи внутрь через сетку хвостовой секции ФЭЛ, обратным током вымывая остатки загрязнений в дренажный штуцер через сервис камеру.

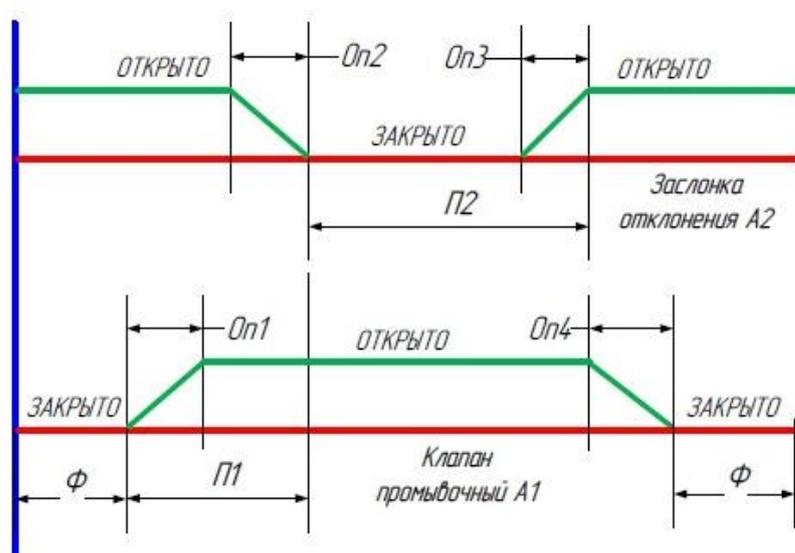
Второй этап промывки (и вся промывка в целом) завершается возвратом в исходное положение сначала заслонки отклонения, а затем затвора поворотного на дренажном штуцере. При этом фильтр возвращается в штатный режим фильтрации.

Важно! При изменении установок таймера промывки следует учитывать, что временной интервал основной (обратной) промывки всегда должен быть меньше временного интервала, устанавливаемого для первичной промывки.

В случае, когда установленные после пуско-наладочных работ и после продолжительной эксплуатации фильтра, периоды штатной фильтрации начнут сокращаться по времени, а частота операций промывки будет возрастать, следует остановить фильтр и перевести поток на байпасную линию, либо включить в работу резервный фильтр и произвести ревизию (ручную очистку) хвостовой секции ФЭЛ.

В дополнение к схеме прилагается алгоритм работы самопромывного фильтра (рис. 3.3).

## АЛГОРИТМ РАБОТЫ ФСМО



### Условные обозначения

- П1 Промывка первичная
- П2 Промывка вторичная
- Ф Фильтрация
- Op1 Операция 1
- Op2 Операция 2
- Op3 Операция 3
- Op4 Операция 4

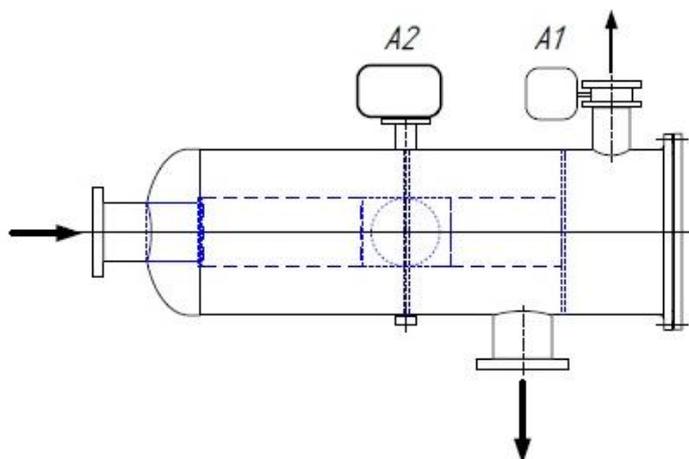


Рисунок 3.3 – Алгоритм работы ФСМО

### 3.2 Эксплуатационные особенности работы самопромывного фильтра предлагаемой конструкции

Предлагаемая конструкция имеет ряд эксплуатационных ограничений (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Эксплуатационные ограничения

Наименование показателя	Значение показателя
Давление рабочее, МПа	0,26
Рабочая температура среды, не более °С	плюс 40
Минимально допустимая рабочая температура, °С	плюс 1

### Продолжение таблицы 3.2

Наименование показателя	Значение показателя
Пробное гидравлическое давление, МПа	0,6
Наименование показателя	Значение показателя
Пропускная способность максимальная, м <sup>3</sup> /час при 45% заносе, не менее	740
Допускаемый максимальный перепад давления (сопротивление перед промывкой), МПа	0,1
Тонкость фильтрации, мкм, не менее	400
Минимальный размер задерживаемых частиц мкм, не менее	450
Рабочая среда	Техническая (речная) вода

Гидроудары при включениях и/или переключениях не допускаются.

Критически является перепад давления на фильтре 0,15 МПа, перепад давления более 0,15 МПа не допустим.

Перед пуском после монтажа и/или ремонта обязательным условием является проведение гидравлических испытаний.

После окончания всех монтажных работ присоединить корпус фильтра к общему контуру заземления, для исключения возможности повреждения оборудования блуждающими токами, а именно образования электрохимической коррозии.

Для проверки сопротивления заземлителей используются приборы омметр и/или мультиметр, показания прибора не должны превышать 0,05 Ом.

### **3.3 Последовательность работ при монтаже и демонтаже предлагаемой конструкции фильтра**

#### **При монтаже:**

- 1) Расконсервировать фильтр – снять заглушки со всех штуцеров.
- 2) Снять крышку(9) с корпуса(1). Проверить надежность крепления хвостовой секции ФЭЛ и возможный люфт. Установить крышку на корпус и обтянуть её крепёж.

При обнаружении значительного люфта более 1 мм в верхней части секции или сползание секции со стыка гильзы заслонки поворотной - выполнить ревизию хвостовой секции.

3) Установить фильтр на выбранном участке трубопровода, присоединить предусмотренные проектом обвязки компенсаторы. Запорную арматуру трубопроводов подвода и отвода потока допускается при монтаже фильтра устанавливать не ближе 500мм от стыковочных фланцев подводящего и отводящего штуцеров.

4) На обвязке подводящих и отводящих линий проектом обязательно должна быть предусмотрена байпасная (обводная) линия (рис. 3.2 поз.13).

5) На обвязке дренажных линий промывки проектом обязательно должен быть предусмотрен предсбросовый гидрозатвор (рис. 3.2 поз.14).

6) Установить запорную арматуру на штуцера дренажа опорожнения(7) и воздушника(6).

7) Присоединить корпус фильтра к общему контуру заземления.

8) Установить арматуру с электроприводом на штуцер дренажа промывки (5).

9) Установить электропривод заслонки отклонения потока на стыковочный фланец узла уплотнения вала поворотного (А-4).

10) Установить в бобышки подводящего, отводящего штуцеров датчики давления (P1, P2) строго в соответствии с маркировкой.

11) Навесить шкаф управления(10) на подвеску крепления автоматики. Подключить электроприводы к ШУ. Подвести и коммутировать силовой кабель к предусмотренному силовому комплекту ШУ строго в соответствии со схемой электрических подключений. Не допускается замена местами на контактах «фаза» - «0».

#### **При демонтаже:**

1) Переключить поток на обводную линию(13) (байпас) или произвести запуск резервного фильтра.

2) Установить (при необходимости) заглушки на подводящей (А-1) и отводящей (А-2) арматуре.

3) Открыть воздушник (6) и дренаж опорожнения (7). Освободить фильтр от воды.

4) Обесточить и произвести демонтаж ЛСУ фильтра.

5) Демонтировать фильтр.

### **3.4 Пуск, наладка и испытания самопромывного фильтра**

Перед пуском фильтра после монтажа необходимо произвести гидравлические испытания.

Для гидравлических испытаний применять образцовые манометры одного типа, предела измерения, класса точности, одинаковой цены деления, прошедшие госповерку. Манометры должны иметь класс точности не ниже 2,5. Один манометр установить на опрессовочном устройстве, другой – на фильтре. На фильтре испытательный манометр устанавливать на штуцере воздушника через трехходовой шаровой кран

Порядок проведения гидравлических испытаний фильтра.

1) Подключить опрессовочное устройство к штуцеру гидравлических испытаний (дренажный патрубок опорожнения фильтра).

2) Заполнить фильтр чистой технической водой через подводящий (отводящий) коллектор (или промывочный дренаж). Для этого открыть шаровой кран воздушника, закрыть арматуру на трубопроводе подвода, отвода рабочей среды и промывочного дренажа.

3) После того, как фильтр заполнится и из воздушника пойдет вода без пузырей воздуха, кран перекрыть.

4) Произвести гидравлическое испытание корпуса фильтра, обвязки и арматуры пробным давлением 0,6 МПа. Выдержать при пробном давлении 15 минут, при этом проверить все соединения на наличие протечек. При обнаружении протечек снизить давление до 0 МПа, произвести подтяжку всех соединений и повторно произвести испытания, также выдержать при проб-

ном давлении 15 минут, затем снизить давление до рабочего 0,26 МПа, выдержать не менее 45 минут, при этом вести наблюдение за показанием манометра на опрессовочном устройстве. Если давление снизилось более чем на 0,05 МПа, значит, имеются пропуски в арматуре. В этом случае снизить давление в фильтре, слить воду (или перелить в следующий фильтр), произвести ревизию арматуры обвязки (подвода-отвода) фильтра, повторить гидравлическое испытание в вышеуказанной последовательности.

5) После проведения гидравлического испытания сбросить давление и слить воду из фильтра.

После проведения гидравлического испытания отсоединить образцовый манометр, присоединить измерительные приборы (манометры) на подводящий и отводящий трубопровод, произвести его наладку в соответствии с требованиями паспорта и руководства по эксплуатации. Наладку ЛСУ должна производить служба КИП предприятия или соответствующая организация. Включить и настроить ШУ.

После проведения всех вышеперечисленных работ фильтр готов к включению в работу.

Порядок установки (замены) хвостовой секции ФЭЛ в фильтр:

1. Арматуру на подводе исходной воды и отводе фильтрата перекрыть. Открыть воздушник - сбросить избыточное давление. Открыть дренаж опорожнения фильтра и слить остатки жидкости.

2. Разобрать соединение на шпильках (болтах) разъёма корпуса и крышки. Снять крышку.

3. Открутить гайки и снять прижимное кольцо уплотнителя. Удалить уплотнитель (кольцо).

4. Присоединить к монтажным шпилькам траверсу подъема ФЭЛ, вытаскивать вверх хвостовую секцию ФЭЛ. Осмотреть ее на предмет заноса и отсутствия разрушений. Очистить или подать заявку на замену.

Способ очистки хвостовой секции от загрязнений назначается в зависимости от характера и количества загрязнений.

5. Установить новую или очищенную секцию ФЭЛ, добиваясь посадки стыковочного края с посадочной фаской гильзы корпуса заслонки поворотной.

6. Надеть уплотнитель (кольцо) и прижать его стальным кольцом. Закрыть и обтянуть крепежные гайки прижимного кольца.

7. Заменить прокладку, установить крышку на корпус, собрать соединение разъёма корпуса и крышки на шпильках, обтянуть крепёж.

8. Заполнить фильтр водой. Опрессовать фильтр рабочим давлением, выдержать не менее 45 минут.

9. При нарушении герметичности конструкции (течи), снизить давление до 0 МПа, восстановить герметичность (устранить течи) и произвести повторное гидравлическое испытание.

Порядок действия обслуживающего персонала при выполнении задач применения фильтра самопромывного (см. рис. 3.2):

1. Перед включением фильтра, находящегося в резерве, в работу необходимо произвести осмотр фланцевых соединений, запорной арматуры, установленных датчиков давления, контроль ЛСУ.

2. Включить шкаф управления (ЛСУ) выставить на панели управления ручной режим управления «ОПЕРАТОР». Ввести уставки значений перепада давления, при которых должно происходить включение режима самопромывки ФЭЛ (или уставки работы ФСМО по таймеру). Выставить уставки таймера режима промывки или оставить исходные (заводские).

3. Включить фильтр в режим фильтрования – плавно и полностью открыть арматуру А-1, А-2 на трубопроводах подвода исходной среды и отвода фильтрата, вытеснить воздух и закрыть воздушник. Фильтрование ведется в прямом потоке по технологии «изнутри наружу». Произвести наблюдение за

работой фильтра в пределах 10 минут в ручную включая открытие-закрытие арматуры на дренаже промывки.

4. При отсутствии замечаний по работе фильтра и сигнализации об ошибках работы ЛСУ выставить на панели управления ШУ автоматический режим управления «АВТОМАТ». Продолжить наблюдение за работой фильтра в штатном режиме.

Расход исходной рабочей среды через фильтр во время работы должен оставаться постоянным (без скачков) для равномерной нагрузки на ФЭЛ и обеспечения максимального отделения крупных и средних взвешенных частиц.

5. При необходимости периодически во время работы фильтра отбирать пробы фильтрата с пробоотборника обвязки фильтра для проведения контроля качества фильтрования.

6. При достижении перепада давления в фильтре между входом и выходом 0,1 МПа (но не более 0,15 МПа) должна автоматически включиться операция самопромывки фильтра, если было выбрано переключение по перепаду давления, или операция самопромывки включится независимо от перепада, если было выбрано переключение по таймеру.

Если операция самопромывки не наступает, следует проверить показания датчиков давления подводящего и отводящего штуцеров, сравнить с показаниями манометров трубопровода обвязки или проверить правильность программных установок ШУ. После выявления причины несрабатывания, устранить замечания и повторить действия с п.2.

Если операция самопромывки включается без замечаний - фильтр оставляется в работе в штатном режиме.

Также в дополнение к использованию аппарата прилагаются таблицы режима работы фильтра (табл. 3.3) и характерных неисправностей и способов их устранения (табл. 3.4).

Таблица 3.3 – Режимы работы фильтра

Наименование режима работы	Характеристика	Значение
Фильтрация	Скорость фильтрования, м/сек Перепад давления, не более, МПа Т...Фильтрация, мин	3,2-1,7 0,15 5-180
Первичная промывка	Скорость промывки, м/сек Т...Очистка фильтроблоков ФЭЛ, сек	1,7-2,9 20-100
Основная (обратная) промывка	Скорость промывки, м/сек Т...Отмывка хвостовой секции ФЭЛ, сек	2,5-3,5 30-120

Перевод фильтра из одного режима в другой осуществляется по показателям перепада давления на входе-выходе или по установкам таймера с помощью работы сервоприводов внутренних устройств.

Т - отработка автоматики ФСМО по таймеру.

Таблица 3.4 – Характерные неисправности и способы их устранения

Наименование неисправности, внешнее проявление и дополнительные признаки	Вероятная причина	Способ устранения
Наблюдается подтекание воды во фланцевых и резьбовых разъемах.	Нарушение герметичности в резьбовом соединении Ослабление затяжки в соединениях, пробита подмотка или прокладка	Остановить фильтр с переключением потока через байпасную линию или резервный фильтр. Подтянуть контргайки, произвести подмотку, заменить прокладку
Вынос грязного фильтрата при незначительном перепаде давления	Разрушение фильтрующего элемента	Остановить фильтр с переключением потока через байпасную линию или резервный фильтр. Обесточить ШУ. Вскрыть фильтр, произвести ревизию фильтрующего элемента, при необходимости - очистку или замену хвостовой или приемной секции.

Продолжение таблицы 3.4

Наименование неисправности, внешнее проявление и дополнительные признаки	Вероятная причина	Способ устранения
Резкое снижение или прекращение производительности фильтра	<p>Массированный занос фильтрующего элемента загрязнениями (взвесями).</p> <p>Выход из строя запорно-регулирующей арматуры.</p>	<p>Остановить фильтр с переключением потока через байпасную линию или резервный фильтр. Обесточить ШУ.</p> <p>Вскрыть фильтр, произвести ревизию фильтрующего элемента, при необходимости - очистку или замену хвостовой или приемной секции.</p> <p>Заменить вышедшую из строя арматуру..</p>
Показания P1 и P2 на панели управления ШУ отсутствуют или не соответствуют истинным, полученным от других датчиков (манометров)	Выход из строя датчика (-ов) давления	<p>Остановить фильтр с переключением потока через байпасную линию или резервный фильтр. Обесточить ШУ.</p> <p>Произвести замену неисправного датчика. Опрессовать фильтр. Поставить в резерв.</p>
Подтекание из узла уплотнения подшипников вала заслонки изменения направления потока	Износ (засор) узла уплотнения	<p>Остановить фильтр с переключением потока через байпасную линию или резервный фильтр. Обесточить ШУ.</p> <p>Демонтировать электропривод. Произвести разборку узла уплотнения и замену изношенных втулок и колец (предусмотрены поставкой ЗИП). Заполнить ФСМО водой и произвести гидравлическое испытание с ручным вращением вала. При отсутствии замечаний установить электропривод. Подключить. Поставить фильтр в резерв.</p>

Техническое обслуживание фильтра производится в соответствии с планом ремонтных работ. Периодичность обслуживания должна быть не реже, чем один раз в год.

При техническом обслуживании производится следующее:

1) Фильтр вскрывается и через сервис камеру осматривается ФЭЛ, определяется его целостность, наличие и степень заноса поверхности фильтрования отложениями. При необходимости производится очистка (без выемки или с выемкой хвостовой секции).

2) Осматриваются подшипниковые узлы уплотнения вала заслонки поворотной на предмет подтекания, разуплотнения, износа, отложений. При необходимости используется ЗИП для замены втулок уплотнения.

### **3.5 Полученные показатели на выходе из фильтра ФСМО при испытаниях**

Таблица 3.5 – Таблица параметров

<b>№, п/п</b>	<b>Наименование параметра</b>	<b>Ед. измер.</b>	<b>Значение</b>
<b>1.</b>	Площадь фильтрации ФЭЛ	<b>мм<sup>2</sup></b>	382023,9
<b>2.</b>	Наименов., щель мм, Fсм <sup>2</sup> , исп., материал!	<b>мм<sup>2</sup></b>	1869530,9
<b>3.</b>	Максимально допустимая скорость РС в щелях ФЭЛ	м/с	<b>1,4</b>
<b>4.</b>	Количество ФЭЛ в системе	шт.	<b>1</b>
<b>5.</b>	Допустимое перекрытие загрязнениями рабочей поверхности одного ФЭЛ	%	<b>45</b>
<b>6.</b>	Пропускная способность перекрытого загрязнениями ФЭЛ	м <sup>3</sup> /ч	770,2

Продолжение таблицы 3.5

№, п/п	Наименование параметра	Ед. измер.	Значение
7.	Изменения скорости РС в щелях фильтроблока в зависимости от степени их перекрытия загрязнениями		
	Изменения скорости РС в щелях фильтроблока в зависимости от степени их перекрытия загрязнениями	Перекрытие фильтроблока %	v, м/с
7.1.	расчетная формула: $v = (4 \cdot QЭ / n) / (3600 \cdot \pi \cdot \rho \cdot j \cdot DВН^2)$	0	0,536
7.2.	QЭ - расход через ФЭЛ экспериментальный;	10	0,595
7.3.	n - количество ФЭЛ; 3600 - ко-эфф.перевода единиц	20	0,670
7.4.	$\rho \cdot j$ - плотность жидкости; $DВН^2$ - квадрат вн.диаметра от	30	0,766
7.5.	Fфп1 (перекрытой рабочей площади)	40	0,893
7.6.		50	1,072
7.7.	<b>красным цветом выделены недопустимые скорости</b>	60	1,340
7.8.	<b>движения рабочей среды в щелях фильтроблока</b>	65	1,531
7.9.		70	1,786
7.10.		75	2,144

### 3.6 Выводы по 3 главе

В ходе эксперимента подтверждена расчетами работа самопромывного фильтра производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР».

Фактическая производительность установки составила 618 м<sup>3</sup>/ч;

При подборе материальной базы следует всесторонне учитывать особенности свойств рассматриваемых материалов, как положительных, так и отрицательных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 В результате анализа фильтров очистки от взвешенных веществ наиболее перспективным являются самопромывные фильтры механической очистки.

2 В результате анализа существующих типов и конструкций фильтров механической очистки воды из поверхностных источников выбран наиболее эффективный тип фильтра – самопромывной фильтр производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР» с .

3 Выбор типа фильтрующего элемента остановился на конструкции типа «ТЭКО-СЛОТ» ввиду надежности и хороших технических характеристик.

4 В ходе эксперимента подтверждена расчетами работа самопромывного фильтра производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР».

5 В результате анализа исследований проведенных на Производственном предприятии «ТЭКО-ФИЛЬТР» самопромывных фильтров механической очистки , а также технологических возможностей спирально-навитых элементов «ТЭКО-СЛОТ» выявлена возможность использования объединенного конструктивного решения.

6 Предложена конструкция самопромывного фильтра механической очистки ФСМО.

7 Фактическая производительность установки составила  $618 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

8 Изучив вопрос о производстве и надежности фильтров самопромывных с констуктивом «ТЭКО-СЛОТ» можем сделать вывод, что данное оборудование применяется пока в схемах очистки очень редко, т.к. конструкция самого фильтра требует долгих и сложных расчетов. Соответственно очень мало компаний могут предложить качественную и работающую правильно продукцию.

9 При подборе материальной базы следует всесторонне учитывать особенности свойств рассматриваемых материалов, как положительных, так и отрицательных.

10 В дальнейшем линейка фильтров будет увеличиваться и стандартизироваться что приведет к снижению цены, а также к расширению сфер применения конструкции ФСМО.

11 Эффективность данного вида фильтра подтверждена расчетами и в дальнейшем будет только улучшаться.

**Основные положения диссертации опубликованы в 2 статьях автора:**

1 Митрофанов Р. А., Лушкин И.А. Особенности оборудования предварительной водоподготовки, конструкции и сферы применения. В сборнике: «Студенческие Дни науки в ТГУ» : научно-практическая конференция (Тольятти, 3–29 апреля 2017 гоа). С. 18-21.

2. Международная научно-практическая конференция «Особенности конструкции и принцип действия самопромывных фильтров водоподготовки», Пенза, июнь 2018.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1989. - 461 с.
- 2 ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора (с Изменением N 1). Государственный стандарт союза ССР.
- 3 Роев Г.А., Юфин В.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов.- М.: Недра, 1987.- 224 с.
- 4 СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения.
- 5 Алифанова, А.И. Контроль качества воды: учебное пособие/ А.И. Алифанова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 103с.
- 6 Кульский Л. А. Теоретическое обоснование технологии очистки воды. Киев, Наукова думка, 1968.
- 7 ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества.
- 8 Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территорий промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. - М.: ВНИИВОДГЕО, ВНИИВО, 1983. - 67 с.
- 9 Викулина В.Б. Метрологическое обеспечение контроля качества воды: учеб.пособие / В.Б. Викулина. П.Д. Викулин; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск.гос.строит. ун-т». М.:МГСУ, 2011.183с.
- 10 Яковлев С.В. и др. Очистка производственных сточных вод. М.: Стройиздат, 1979. - 320 с.
- 11 Кульский Л.А. и др. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды. Киев.: Наукова думка, 1980. - 680 с.

- 12 Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / Под ред. Михайлова К.А. и Образовского А.С.. – М.: Стройиздат, 1976. – 368 с.
- 13 Порядин А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. – М.: Изд. НУМЦ Госкомэкологии РФ, 1999. – 338 с.
- 14 Образовский А.С., Ереснов Н.В., Ереснов В.Н. и др. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников. – М.: Стройиздат, 1976.
- 15 Вдовин Ю.И. Совершенствование технологий водоприема и водозаборных сооружений для систем водоснабжения на Севере: Дис. ...д-ра техн. наук. – М., 1996.
- 16 ВНИИ ВОДГЕО. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод. Пособие к СНиП – М.: Стройиздат, 1990.
- 17 Мезенева Е.А. Совершенствование водозаборно-очистных сооружений фильтрующего типа: Автор. дис. ...канд. техн. наук. – Н.-Новгород, 1993.
- 18 Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. – М.: Госстройиздат, 1971.
- 19 ТУ 3600-010-33513134-2017 Трубы щелевые (каркасно-проволочные) «ТЭКО-СЛОТ»  
Альтшуль А.Я., Животинский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987 – 414 с.
- 20 ТУ 3113-006-33513134-2009 Фильтрующие элементы типа ФЭЛ ТС
- 21 Основы гидравлики, водоснабжения и канализации / В.И. Калицун, В.С. Кедров, Ю.М. Ласков, П.В. Сафонов. М.: Стройиздат, 1980. 495 с.
- 22 ГН 2.1.5.689-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Минздрав России, Москва, 1998.
- 23 . ТУ 4859-003-33513134-2008 Дренажные устройства
- 24 ТУ 3113-009-33513134-2011 Пластинчатые ФЭЛ
- 25 ТУ 3683-009-33513134-2012 Оборудование фильтровальное
- 26 Орлов Г.А., Шевелев Ф.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран. – М.: Стройиздат, 1987.
- 27 ГОСТ Р 52857.4-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.

- 28 ГОСТ Р 52857.5-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
- 29 РД 26-15-88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность и герметичность фланцевых со-единений.
- 30 ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
- 31 ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- 32 ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
- 33 Орлов Г.А., Железнова Г.Л. Перспективные методы подготовки питьевой воды. – М.: ЦНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1987.
- 34 Wegelin M., Boller M. Particle Removal by Horizontal-Flow Roughing Filtration. – Aqua, 1988, N3, p.115...127.
- 35 Стрелков А.К., Быкова П.Г. и др. Способы и сооружения для очистки природных и сточных вод. – Куйбышев: Изд. Куйбышевск. госуниверситета, 1987.
- 36 Маньковский Г.П., Ереснов Н.В. и др. Водоснабжение промпредприятий и населенных мест. – Ч. I. – М.–Л.: ОНТИ, 1938.
- 37 Малишевский Н.Г. Водоприемники из открытых водоемов – Харьков: Изд. ХГУ, 1958.
- 38 Минц Д.М., Мельцер В.З. Упрощенный метод технологического моделирования процесса фильтрования // Сб. науч. тр. / АКХ. Водоснабжение. – Вып. 98. – М. 1973. – С. 128...143.
- 39 Кузовлев Г.М. О проектировании водохранилищных и морских водозаборов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1966. – № 1. – С. 18...23.
- 40 Вдовин Ю.И. Теория и практика фильтрующего водоприема для систем водоснабжения. – М.: ВИНТИ, 1998.
- 41 Журба М.Г. Пенополистирольные фильтры. – М.: Стройиздат, 1992.

- 42 Trueb E. Horizontaldurchflossene Kiesfilter zur Vorreinigung von oberflächennahem Wasser, besonders in Entwicklungsländern // 3R International. – 1982. – P. 1...2.
- 43 Порядин А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. – М.: Изд. НУМЦ Госкомэкологии РФ, 1999.
- 44 Берданов В.М., Боголюбов К.С. и др. Искусственное пополнение подземных вод в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1978.
- 45 Fruhling A. Wasserversorgung der Städte. – Berlin, 1904.
- 46 Wegelin M. Particle Removal by Horizontal – Slow Roughing Filtration. – Aqua. – 1987. – N 2. – P. 80...88.
- 47 Hall I.I. A ready-made water filter plant. – Amer. City. – 1987. – Vol. 72. – N 8. – P. 115...126.
- 48 Шейко Г.К. Инфильтрационное водоснабжение. – Харьков: Изд. ХИ-ИКС, 1940.
- 49 Черепашинский М.А. Водоснабжение. – С.-Пб., 1905.
- 50 [Электронный ресурс].– Режим доступа свободный <http://www.teko-filter.ru/>
- 51 Журба, М.Г. Водозаборно-очистные сооружения и устройства / М.Г. Журба, Ю.И. Вдовин. – М.: Изд. Астрель, 2003. – 468 с.
- 52 Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. В 3-х томах. Том 2. Очистка и кондиционирование природных вод. 2-е издание дополненное и переработанное. Научно-методическое руководство и общая редакция М.Г.Журбы. – М.: Из-во АСВ, 2004.
- 53 СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Госстройиздат, 1985. – 131 с.
- 54 Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. Издание третье, переработанное и дополненное – М.: Стройиздат, 1982–440с.
- 55 Классификаторы технологий очистки природных вод. Журба М.Г., Нечаев А.П., Ивлева Г.А., Говорова Ж.М. и др. -М.: ГПИ Союзводоканалпроект, 2000. – 118 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Расчет на прочность фильтра ФСМО

«Расчет на прочность выполнен на ЭВМ по программе «Пассат 2.08», разработанной ООО НТП «Трубопровод».»[31]

Таблица П.1 Исходные данные для расчета

Рабочая среда	Вода
К заполнения аппарата	1.00
Плотность жидкости/газа	1000 кг/куб.м
Вид испытаний	Гидроиспытания
Давление испытаний	1 МПа

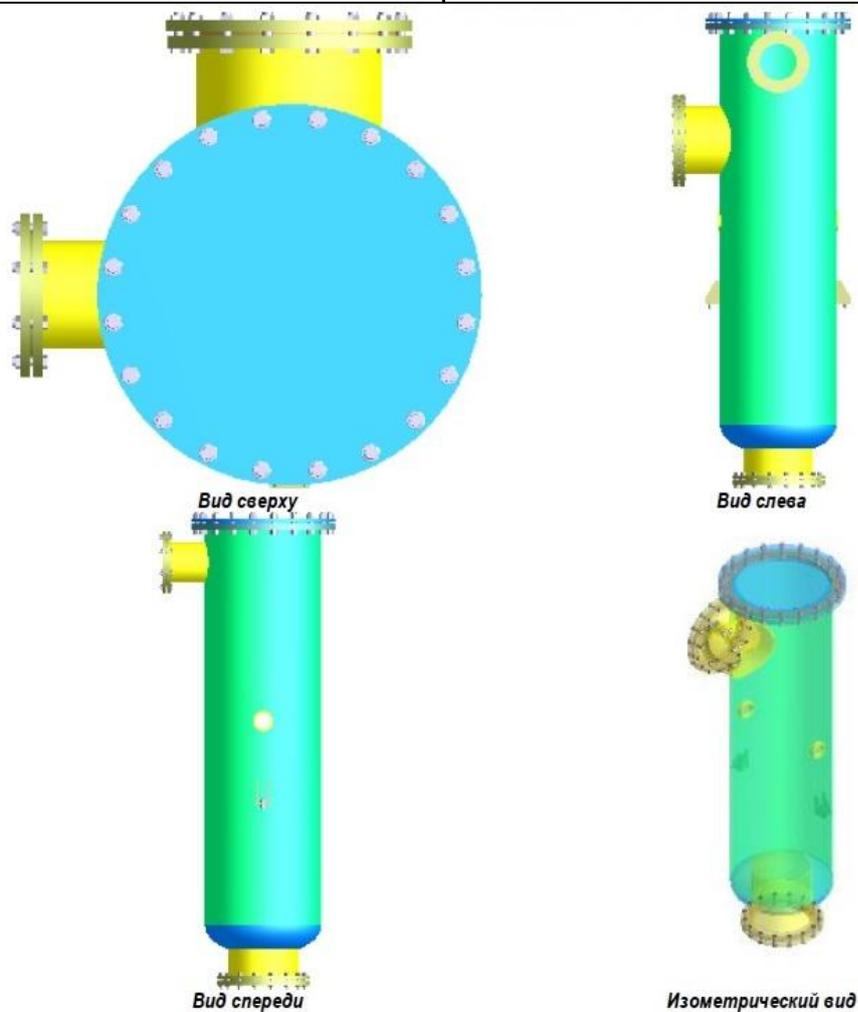


Рисунок П.1 Общий вид аппарата:

Продолжение приложения 1

**Основные элементы**

**Исходные данные**

Таблица П.2 Исходные данные основных элементов

Элемент	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм	Кoeff. прочности сварного шва
Днище эллиптическое №1	Ст3	606	12	163.5	2.8	1
Обечайка цилиндрическая №1	Ст3	606	12	2150	2.8	1
Крышка плоская №1	Ст3	606	30	64	2.8	1

**Результаты расчета**

Таблица П.3 Результаты расчета рабочих условий основных элементов.

Элемент	Расчетная температура, °С	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Днище эллиптическое №1	50	0.9229	137.5	4.837	4.143	выполнено
Обечайка цилиндрическая №1	50	0.9215	137.5	4.837	4.112	выполнено
Крышка плоская №1	48	0.9004	137.5	27.48	1.094	выполнено

Продолжение приложения 1

Таблица П.4 Условия испытания основных элементов.

Элемент	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Днище эллиптическое №1	1.023	190.9	4.426	5.753	выполнено
Обечайка цилиндрическая №1	1.021	190.9	4.426	5.71	выполнено
Крышка плоская №1	1	190.9	24.85	1.522	выполнено

**Штуцера**

**Исходные данные**

Таблица П.5 Исходные данные штуцеров

Элемент	Метка	Тип	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм
Штуцер №1	Штуцер №1	Проходящий без укрепления	09Г2С	353	12	140	2
Штуцер №5	Штуцер №5	Проходящий без укрепления	Ст3	85	12.5	8	2
Штуцер №4	Штуцер №4	Проходящий без укрепления	Ст3	85	12.5	8	2
Штуцер №3	Штуцер №3	Проходящий без укрепления	Ст3	203	8	185	2
Штуцер №2	Штуцер №2	Проходящий без укрепления	09Г2С	353	12	190	2

Продолжение приложения 1

**Результаты расчета**

Таблица П.6 Результаты расчета рабочих условий штуцеров.

Элемент	Расчетная температура, °С	Расчетное давление, МПа	Диаметр отв., не треб. укрепления, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Штуцер №1	50	0.9241	783.5	2.966	выполнено
Штуцер №5	50	0.911	562.6	3.479	выполнено
Штуцер №4	50	0.911	562.6	3.5	выполнено
Штуцер №3	50	0.9031	568.6	2.307	выполнено
Штуцер №2	50	0.908	564.9	2.286	выполнено

Таблица П.7 Условия испытания штуцеров.

Элемент	Расчетное давление, МПа	Диаметр отв., не треб. укрепления, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Штуцер №1	1.024	1025	4.118	выполнено
Штуцер №5	1.011	734.5	4.83	выполнено
Штуцер №4	1.011	734.5	4.859	выполнено
Штуцер №3	1.003	741.2	3.203	выполнено
Штуцер №2	1.008	737	3.174	выполнено

**Расчёт заполнения**

Таблица П.8 Расчет заполнения.

Элемент	Полный объем, м <sup>3</sup>	Объем продукта, м <sup>3</sup>	Высота столба, мм	Макс. высота столба при 100%, мм	□
Днище эллиптическое №1	0.029	0.029	2.3·10 <sup>3</sup>	2.3·10 <sup>3</sup>	1
Штуцер №1	0.010	0.010	2.5·10 <sup>3</sup>	2.5·10 <sup>3</sup>	1
Фланцевое соединение №1	0.0056	0.0056	2.5·10 <sup>3</sup>	2.5·10 <sup>3</sup>	1

Продолжение приложения 1  
 Днище эллиптическое №1

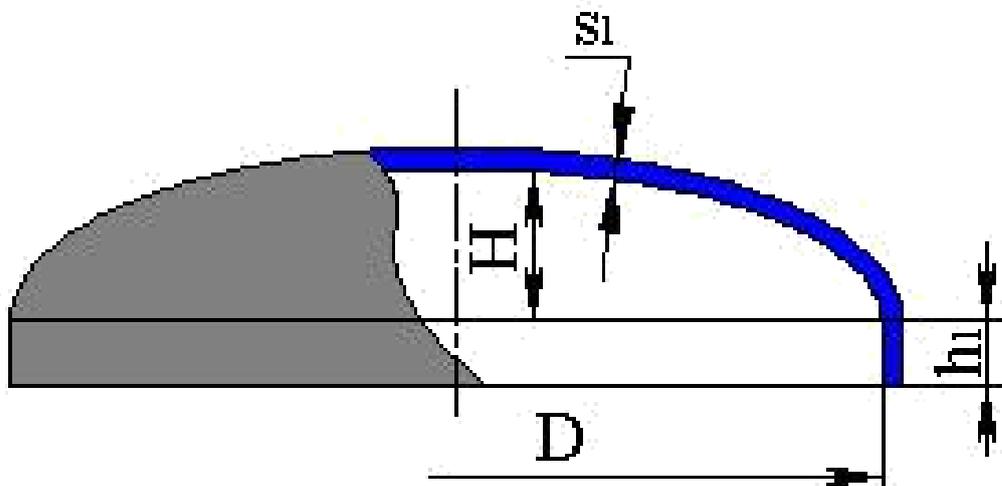


Рисунок П.2 Общий вид эллиптического днища

Таблица П.3 - Исходные данные

Материал:	Ст3
Внутр. диаметр, D:	606 мм
Толщина стенки днища, s1:	12 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1:	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c2:	0.8 мм
Прибавка технологическая, c3:	0 мм
Суммарная прибавка к толщине стенки, c:	2.8 мм
Высота днища, H:	151.5 мм
Длина отбортовки, h1:	0 мм

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \times H} = \frac{606^2}{4 \times 151,5} = 606 \text{ мм}$$

Продолжение приложения 1

Коэффициент прочности сварного шва:

$$\varphi = 1$$

**Расчёт в рабочих условиях**

Таблица П.4 - Условия нагружения

Расчётная температура, T:	50	°C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0.9229	МПа

**«Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007**

*Допускаемые напряжения:*

Допускаемые напряжения для материала Ст3 при температуре T = 50 °C (рабочие условия):

$$[\sigma] = 137.5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала Ст3 при температуре T = 50 °C:

$$E = 1.96 \times 10^5 \text{ МПа}$$

*Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением:*

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \times H} = \frac{606^2}{4 \times 151,5} = 606 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$S_{\varphi} + c = \frac{p \times R}{2 \times \sigma \times \varphi - 0,5 \times p} + c = \frac{0,9229 \times 606}{2 \times 137,5 \times 1 - 0,5 \times 0,9229} + 2,8 = 4,837 \text{ мм}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемое давление:

$$p = \frac{2 \times \sigma \times \varphi \times s_1 - c}{R + 0,5 \times s_1 - c} = \frac{2 \times 137,59 \times 1 \times 12 - 2,8}{606 + 0,5 \times 12 - 2,8} = 4,143 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено»[32]

Продолжение приложения 1

### Расчёт в рабочих условиях

Таблица П.5 - Условия нагружения

Расчётная температура, Т:	20	°С
Расчётное внутреннее избыточное давление, р:	1,023	МПа

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

«По ГОСТ Р 52857.1-2007 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено условие:

$$P_{\text{исп}} < 1,35 \times \frac{\sigma_{20}}{\sigma}$$

$$1,35 \times \frac{\sigma_{20}}{\sigma} = 1,35 \times \frac{140}{137,5} = 1,269 \text{ МПа} \geq 1,023 \text{ МПа}$$

### Допускаемые напряжения:

Допускаемые напряжения для материала Ст3 при температуре Т = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = 190,9 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала Ст3 при температуре Т = 50 °С:

$$E^{20} = 1,99 \times 10^5 \text{ МПа}$$

*Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.*

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \times H} = \frac{606^2}{4 \times 151,5} = 606 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$S_{\varphi} + c = \frac{p \times R}{2 \times \sigma \times \varphi - 0,5 \times p} + c = \frac{1,023 \times 606}{2 \times 190,9 \times 1 - 0,5 \times 1,023} + 2,8 = 4,426 \text{ мм}$$

Заключение: Условие работоспособности выполнено

Продолжение приложения 1

Допускаемое давление:

$$p = \frac{2 \times \sigma \times \varphi \times s_1 - c}{R + 0,5 \times s_1 - c} = \frac{2 \times 190,9 \times 1 \times 12 - 2,8}{606 + 0,5 \times 12 - 2,8} = 5,753 \text{ МПа}$$

$$5,753 \text{ МПа} \geq 1,023 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено»[32]

## Штуцер №1

Таблица П.5 - Исходные данные

Элемент	Штуцер №1
Условное обозначение (метка)	Штуцер №1
Элемент, несущий штуцер	Днище эллиптическое №1
Тип элемента, несущего штуцер	Днище эллиптическое
Тип штуцера	Проходящий без укрепления

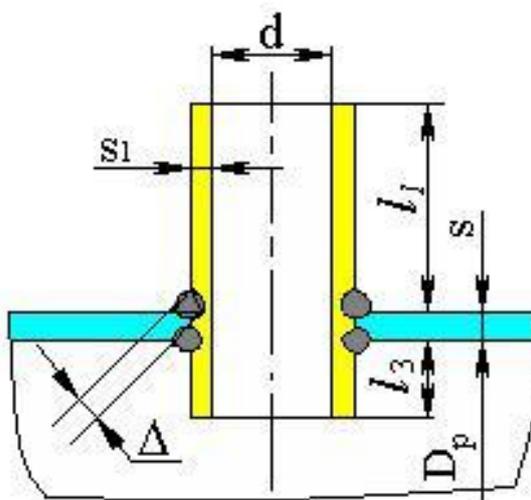


Рисунок П.3 Общий вид штуцера

Таблица П.6 - Исходные данные штуцера

Материал несущего элемента:	Ст3
Толщина стенки несущего элемента, s:	12 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c:	2.8 мм
Материал штуцера:	09Г2С
Внутренний диаметр штуцера, d:	353 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	12 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), cs:	2 мм
Длина штуцера, l1:	140 мм

Продолжение приложения 1

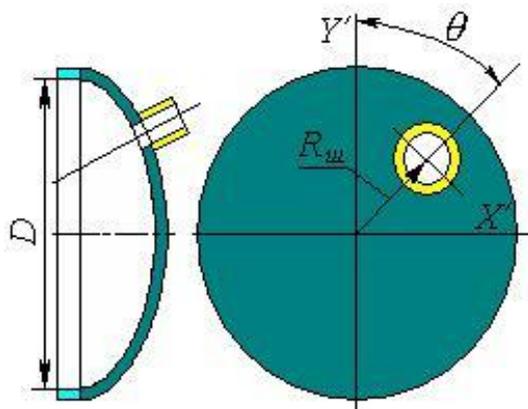


Рисунок П.4 Расположение штуцера в эллиптическом днище.  
Таблица П.7 - Исходные данные штуцера

Смещение штуцера, Rш:	0 мм
Угол поворота штуцера, $\theta$ :	0°
Длина внутр. части штуцера, l3:	224 мм
Прибавка на коррозию, cs1:	0 мм
Минимальный размер сварного шва, $\square$ :	14 мм

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\varphi = 1$$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \times H} \times \sqrt{1 - 4 \times \frac{(D^2 - 4 \times H^2)}{D^4} \times R_{ш}^2} = 606^2 / (2 \times 151,5) *$$

$$(1 - 4 \times (606^2 - 4 \times 151,52) \times 02 / 606^4)^{1/2} = 1212 \text{ мм};$$

**Расчёт в рабочих условиях**

Таблица П.8 - Условия нагружения

Расчётная температура, T:	50	°C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0.9241	МПа

**Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007**

*Свойства материала элемента, несущего штуцер*

Продолжение приложения 1

«Допускаемые напряжения для материала Ст3 при температуре  $T = 50$  °С (рабочие условия):

$$[\sigma] = 137,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала Ст3 при температуре  $T = 50$  °С:

$$E = 1,96 \times 10^5 \text{ МПа}$$

*Свойства материала штуцера*

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре  $T = 50$  °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 188,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре  $T = 50$  °С:

$$E = 1,96 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$S_{\varphi} + c = \frac{p \times (d + 2 \times c_s)}{2 \times \sigma_1 \times \varphi_1 - p} = \frac{0,92290 \times 353 + 2 \times 2}{2 \times 188,5 \times 1 - 0,9241} = 0,8772 \text{ мм}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемое давление:

$$p = \frac{2 \times \sigma_1 \times \varphi_1 \times s_1 - c_s}{d + s_1 + c_s} = \frac{2 \times 188,5 \times 1 \times 12 - 2}{353 + 12 + 2} = 10,27 \text{ МПа}$$

$$10,27 \text{ МПа} \geq 1,023 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \times H} \times \sqrt{1 - 4 \times \frac{(D^2 - 4 \times H^2)}{D^4} \times R_{\text{щ}}^2} = 606^2 / (2 \times 151,5) *$$

$$(1 - 4 \times (606^2 - 4 \times 151,52) \times 02 / 606^4)^{1/2} = 1212 \text{ мм};$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 2,04 \text{ мм}$$

## Продолжение приложения 1

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \times c_s = 353 + 2 \times 2 = 357 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \times \left( \frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \times \sqrt{D_p \times (s-c)} = 2 \times ((12 - 2.8) / 2.04 - 0.8) \times \\ (1212 \times (12 - 2.8))^{1/2} = 783,5 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$ : Условие прочности выполнено»[32]

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{lp} = \min\{l_1; 1,25 \times \sqrt{d + 2c_s \times (s_1 - c_s)}\} = \min\{140; 1,25 \times ((353 + 2 \\ \times 2) \times (12 - 2))^{1/2}\} = 74,69 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$X_1 = \min\{1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}\} = \min\{1,0, 188,5 / 137,5\} = 1$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{zp} = \min\{l_3; 0,5 \times \sqrt{d + 2c_s \times (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{224; 0,5 \times ((353 \\ + 2 \times 2) \times (12 - 2 - 0))^{1/2}\} = 29,87 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \times (s - c)} = (1212 \times (12 - 2.8))^{1/2} = 105,6 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$L_0 = l_0 = 105,6 \text{ мм}$$

Продолжение приложения 1

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = \overline{D_p \times (s - c)} = 0.4 \times (1212 \times (12 - 2.8))^{1/2} = 42.24 \text{ мм}$$

$$v = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{lp} \times s_1 - c_s \times X_1 + l_{2p} \times s_2 \times X_2 + l_{3p} (s_3 - c_s - c_{s1}) \times X_3}{l_p (s - c)}}{1 + 0.5 \times \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \times \frac{d + 2c_s}{D_p} \times \frac{\varphi}{\varphi_1} \times \frac{l_{lp}}{l_p}} \right\} =$$

$$= \min \{ 1; [1 + (74.69 \times (12 - 2) \times 1 + 0 \times 0 \times 0 + 29.87 \times (12 - 2 - 0) \times 1) / (105.6 \times (12 - 2.8))] / [1 + 0.5 \times (357 - 42.24) / 105.6 + 2 \times (353 + 2 \times 2) / 1212 \times 1 / 1 \times 74.69 / 105.6] \} = 0.7142;$$

$$p = \frac{2K_1 \times (s - c) \times \varphi \times [\sigma]}{D_p + (s - c)V}$$

$$= 2 \times 2 \times (12 - 2.8) \times 1 \times 137.5 \times 0.7142 / [1212 + (12 - 2.8) \times 0.7142] =$$

2.966 МПа

Допускаемое давление [p] = 2.966 МПа

$$2.966 \text{ МПа} \geq 0.9241 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5(d_p - d_{op})s_p = 0.5 \times (357 - 42.24) \times 2.04 = 0.321 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_r = l_{lp} s_1 - s_1 p - c_s X_1 + l_{2p} \times s_2 \times X_2 + l_{3p} s_3 - c_s - c_{s1} X_3 + l_{lp} s - s_p - c = 74.69 \times (12 - 0.8772 - 2) \times 1 + 0 \times 0 \times 0 + 29.87 \times (12 - 2 - 0) \times 1 + 105.6 \times (12 - 2.04 - 2.8) = 0.001736 \text{ м}^2$$

$$A_r = 0.321 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \geq 0.001736 \text{ м}^2$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)**

Таблица П.9 - Условия нагружения

Расчётная температура, T:	20	°C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	1,024	МПа