

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра «Системы автоматизации, автоматизированное управление  
и проектирование»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.В. Ченцов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

**АТОМАТИЗАЦИЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ  
СТОЧНЫХ ВОД**

Руководитель	_____	___.06. 2021 г.	ст. преп. каф. СААУП И.В. Солопко
Выпускник	_____	___.06. 2021 г.	Д.Е. Смоликова
Нормоконтролер	_____	___.06. 2021 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2021

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Автоматизация очистки нефтесодержащих сточных вод» содержит 57 страниц текстового документа, 2 приложения, 31 иллюстраций, 2 таблицы, 21 использованных источников.

АВТОМАТИЗАЦИЯ, ОЧИСТКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, SIMINTECH, СТОЧНЫЕ ВОДЫ, МОДУЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, НЕФТЕСОДЕРЖАЩИЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ

Целью выпускной квалификационной работы является создание автоматизации установки для очистки нефтесодержащих сточных вод от нефтепродуктов. Для снижения антропогенного воздействия нефти на природные водоемы на основе разработки биосорбционной установки для очистки нефтесодержащих сточных вод.

Актуальностью темы исследования является борьба с разливами нефти и нефтепродуктов при авариях. В настоящее время является актуальной для всего мира. Большое количество нефти попадает в природные водоемы и реки, при ее перевозках водным путем, и со сточными водами предприятий нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Разливы, утечки нефтепродуктов, а также отходы производства, как показывает нам практика, неизбежны при добыче нефти, переработке и транспортировке. Основное количество аварийных ситуаций регистрируется на предприятиях нефтедобывающей промышленности и трубопроводного транспорта.

Результатом бакалаврской работы является, построение структурной схемы автоматизации очистки нефтесодержащих сточных вод, описание алгоритма работы главного блока управления, на основе которого создана компьютерная динамическая модель в среде Simintech, позволяющая определить влияние различных значений температуры и скорость ветра на систему фильтрации воды и на работу системы.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
1 Описание структурной схемы системы очистки нефтесодержащих сточных вод .....	7
1.1.Способы очистки воды на предприятиях.....	5
1.2 Автоматизированные модульные установки для очистки нефтесодержащих сточных вод .....	11
1.3 Описание установок и их особенности .....	14
1.4 Создание системы автоматизированного управления .....	20
1.4.1 Функциональная схема САУ.....	24
1.4.2 Принцип работы САУ.....	25
2 Выбор технологических средств автоматизации и определение параметров для моделирования.....	26
2.1 Исследование технологических средств автоматизации .....	26
2.2 Построение модели черного ящика.....	32
3 Разработка модели системы управления установкой для обезвоживания нефтесодержащих сточных вод.....	37
3.1 Выбор среды моделирования.....	37
3.2 Построение компьютерной модели в SimInTech.....	38
Заключение .....	48
Сисок сокращений.....	50
Список используемых источников .....	51
Приложение А.....	55
Приложение Б.....	57

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производственных процессов – основное направление, в настоящее время которого продвигается в международное производство. Все, что раньше выполнял сам человек, функции, не только физические, но и интеллектуальные, постепенно переходят к технике, которая сама выполняет технологическую работу и осуществляет контроль над ними. Вот такое теперь генеральное русло современных технологий. Роль человека во многих отраслях уже сводится лишь к контролю над автоматическим процессом.

Применение комплексных систем автоматизации с использованием автоматизированных систем современной вычислительной техники значительно увеличивает производительность труда, минимизирует вероятность возникновения различных аварийных ситуаций. С помощью систем автоматизации исключается необходимость исполнения сотрудником однообразных операций.

Автоматизация требует дополнительного применения устройств ввода, датчиков (сенсоров), исполнительных устройств, управляющих устройств (контроллеров), устройств вывода, использующих электронную технику и методы вычислений, иногда копирующие нервные и мыслительные функции человека.

В одном ряду с термином «автоматический», применяется понятие «автоматизированный», выделяющий относительно большую роль участия человека в процессе.

Основными загрязнением водоемов является недостаточно очищенные сточные воды на промышленных предприятиях. Нефтепродукты, попадая в водоемы, создают значительные формы загрязнения: плавающую нефтяную пленку, осевшие на дно тяжелые фракции и т.д. При этом снижается самоочищающая способность водоемов, и вода приобретает токсичные свойства. Анализ состояния водных объектов Красноярского края показывает

ухудшение качества поверхностных вод, поэтому необходимо очищать сточные воды и использовать их в системах оборотного водоснабжения. В настоящее время для проявления нефтепродуктов и механических примесей из сточных вод применяются механическим, физико-химическим и биологическим методом, ни один из них не является универсальным. Каждая группа методов имеет определенную область использования, в которой она является наиболее эффективной. Анализ современного состояния и перспектив развития технологий очистки нефтесодержащих сточных вод позволяет сделать вывод о том, что актуальность выбора определенного метода очистки от нефтепродуктов зависит от состава, концентрации, режима поступления и объема шлама, технологические требования к очищенной воде, необходимости регенерации и повторного использования воды с учетом региональных условий. Методы электрообработки получили развитие как эффективные и прогрессивные, так как при их использовании не увеличивается солевой состав и образуется значительно меньшее количество осадка. Для условий Сибири и Крайнего Севера они имеют определенные преимущества перед традиционными технологиями[1].

# **1 Описание структурной схемы системы очистки нефтесодержащих сточных вод**

## **1.1 Способы очистки воды на предприятиях**

На предприятиях в разных отраслях к качеству водоподготовки предъявляются высокие требования. Промышленные методы очистки воды обеспечивают ей надлежащие показатели и необходимые физико-химические свойства. Тем самым создаются условия для реализации сложнейших технологических процессов.

Основными источниками загрязнений нефтью и нефтепродуктами являются добывающие предприятия, системы перекачки и транспортировки, нефтяные терминалы и нефтебазы, хранилища нефтепродуктов, железнодорожный транспорт, речные и морские нефтеналивные танкеры, автозаправочные комплексы и станции. Объемы отходов нефтепродуктов и нефтезагрязнений, скопившиеся на отдельных объектах, составляют десятки и сотни тысяч кубометров. Значительное число хранилищ нефтешламов и отходов, построенных с начала 50-х годов, превратилось из средства предотвращения нефтезагрязнений в постоянно действующий источник таких загрязнений. [2].

Наиболее широко распространенными загрязнителями сточных вод являются нефтепродукты – неидентифицированная группа углеводородов нефти, мазута, керосина, масел и их примесей, которые вследствие их высокой токсичности, принадлежат, по данным ЮНЕСКО, к числу десяти наиболее опасных загрязнителей окружающей среды. Нефтепродукты могут находиться в растворах в эмульгированном, растворенном виде и образовывать на поверхности плавающий слой.

Основные вопросы защиты окружающей среды необходимо решать на основе следующих принципов:

- форма и масштабы человеческой деятельности должны быть соизмеримы с запасами не возобновляемых природных ресурсов;

- неизбежные отходы производства должны попасть в окружающую среду в форме и концентрации, безвредных для жизни. Особенно это относится к водным ресурсам[3].

Природная вода – не только источник водоснабжения и транспортное средство, но и среда обитания животных и растений. Круговорот воды в природе создает необходимые условия для жизни человечества на Земле.

Происхождение воды на земле связано с происхождением самой Земли. Существует две гипотезы образования воды на Земле. В первом случае это существование готовых молекул воды в газопылевом облаке, из которого произошла Земля и которое наблюдается в кометах и метеоритах сегодня. Во втором случае вода образовалась из водорода и кислорода после конденсации газопылевого облака в планету Земля. Впоследствии при повышении температуры недр Земли и их дегазации, а также в процессе миграции водорода и кислорода из центральной части планеты к периферии и химических реакций образовались молекулы воды[4].

Происхождение воды, ее первичное образование как растворителя и ее миграция представляют единое целое в изучении природной воды.

Одним из невозполнимых природных ресурсов является нефть, которая в процессе добычи, транспорта, переработки и потребления постоянно соприкасается с окружающей средой и загрязняет ее, особенно воду.

В настоящее время защита окружающей среды от нефтесодержащих сточных вод – одна из главных задач. Мероприятия, направленные на очистку воды от нефти, помогут сберечь определенные количества нефти и сохранить чистым воздушный и водный бассейны. На земном шаре много воды, но чистой пресной воды очень мало. Круговорот воды в природе создает необходимые условия для существования человечества на земле.

Для правильного подхода к решению актуальных задач в области окружающей среды необходимы определенные знания в этой области. Учебные программы, разработанные во многих университетах и институтах можно

разбить на две крупные группы:

- решение экологических вопросов в политическом, юридическом, экономическом и других гуманитарных направлениях;

- решение экологических вопросов в техническом аспекте, где решаются общетехнические задачи или частные задачи отдельной или близких отраслей промышленности.

Методы очистки сточных вод выбирают в зависимости от их вида: бытовые, промышленные и дождевые. Сточные воды нефтяной и нефтехимической промышленности содержат нефть, нефтепродукты и различные химические вещества (тетраэтилсвинец, фенолы и др.). Эти сточные воды можно классифицировать следующим образом:

Таблица 1 – Классификация сточных вод

Сточные воды		
Технологические процессы, связанные с получением сточных вод	Методы вторичного использования вод и извлечение из них полезных веществ	Дисперсный состав загрязнителя
Свободные и связанные, воды, содержащиеся в сырье и исходных продуктах		Нерастворимые примеси с частицами $10^{-5} - 10^{-4}$ м и более
Промывные воды		Ноллоидные растворы
Водные экстракты и адсорбционные жидкости		Растворенные газы и молекулярно – растворимые органические вещества
Охлаждающие жидкости		Электролиты



Два первых направления классификации не позволяют систематизировать примеси сточных вод для последующей разработки принципов выбора эффективных систем очистки. Третье направление классификации с этой точки зрения является более подходящим. Его сущность заключается в том, что все сточные воды делятся по дисперсионному составу загрязняющего вещества на четыре группы. Классификация третьей группы позволяет для каждой из выше перечисленных групп предложить определенные методы очистки воды.

До недавнего времени количество растворенной нефти в воде практически не рассматривали. Современные исследования дают возможность судить о растворимости разных нефтепродуктов в воде в зависимости от различных факторов[6].

При непродолжительности контакта нефтепродуктов с водой без перемешивания последних количество нефтепродуктов, перешедших в воду, с увеличением времени возрастает. С увеличением контакта от 2 до 120 часов количество нефти в воде возрастает от 0,2 до 1,4 мг/л, дизельного топлива – от 0,2 до 0,8 мг/л, а растворимость бензинов зависит не только от времени, но и от метильных и метиленовых групп углеводородов, входящих в состав бензина. Для метильных и метиленовых групп концентрация бензина А76 в воде при контакте от 2 до 120 часов увеличивается от 1,4 до 11,9 мг/л, а для ароматических углеводородов при тех же параметрах в бензине А76 – от 2,6 до 34 мг/л. Как следует из предыдущих примеров количество растворенных нефтепродуктов в воде довольно значительно.

На нефтетранспортных предприятиях сбор сточных вод и их очистку ведут в зависимости от нефтехимических примесей и способов их очистки. В сточных водах нефтетранспортных предприятий находятся нефть и нефтепродукты, которые после отделения от воды можно использовать в народном хозяйстве. Химические примеси, как, например, тетраэтилсвинец, отделяют специальными химическими методами. В этом случае целесообразно применять отдельный сбор сточных вод и комбинированную систему очистки.

При выборе системы сбора и очистки сточных вод руководствуются следующими основными положениями:

- необходимостью максимального уменьшения количества сточных вод и снижения содержания в них примесей;
- возможностью извлечения из сточных вод ценных примесей и их последующей утилизации;
- повторным использованием сточных вод (исходных и очищенных) в технологических процессах и системах оборотного водоснабжения.

Очистка нефтесодержащих сточных вод должна обеспечивать:

- максимальное извлечение ценных примесей для использования их по назначению;
- применение очищенных сточных вод в технических процессах;
- минимальный сброс сточных вод в водоем.

Для очистки сточных вод используют очистные сооружения трех основных типов: локальные, общие и районные или городские. На нефтебазах и насосных станциях трубопроводов применяют очистные сооружения общего типа, а в случае попадания в сточные воды особо вредных химических веществ – очистные сооружения локального типа. В зависимости от степени очистки сточных вод на очистных сооружениях локального или общего типа и характеристики водоема сточные воды либо направляют на районные или городские очистные сооружения, либо сбрасывают в водоем.

Очистные сооружения общего типа предназначены для очистки всех нефтесодержащих вод нефтетранспортного предприятия. Обычно эти очистные сооружения включают механическую, физико-химическую и биологическую очистки. К сооружениям механической очистки относятся песколовки, нефтеловушки, отстойники, флотационные и фильтрационные установки и другие. На этих сооружениях удаляют грубодисперсные примеси. К сооружениям физико-химической очистки относятся флотационные установки с применением химических реагентов, установки с применением коагулянтов

для коллоидных примесей. К сооружениям биологической очистки относятся аэротенки, биофильтры, биологические пруды и другие.

Для очистки сточных вод применяют реагентные методы: коагуляцию, флокуляцию, осаждение примесей, фильтрование, флотацию, адсорбцию, ионный обмен, обратный осмос и др. Очистные сооружения районного или городского типа предназначены в основном для механической, физико-химической и биологической очистки сточных вод. Если на эти очистные сооружения направляют производственные сточные воды, то в них не должно быть примесей, которые могут нарушить нормальный ритм работы канализации и очистных сооружений. Эти производственные воды не должны содержать:

- взвешенных и всплывающих веществ в количестве более 500 мг/л;
- веществ, способных засорять трубы канализационной сети или отлагаться на стенках труб;
- веществ, оказывающих разрушающее действие на материал труб и элементы сооружений канализации;
- горючих примесей и растворенных газообразных веществ, способных образовывать взрывоопасные смеси в канализационных сетях и сооружениях;
- вредных веществ в концентрациях, препятствующих биологической очистке сточных вод или сбросу их в водоем (с учетом эффекта очистки).

Температура этих вод не должна превышать 40 °С. Не допускаются залповые сбросы сильноконцентрированных сточных вод.

Для очистки сточных вод от нефтепродуктов применяют:

- механические;
- физико-химические;
- химические;
- биологические методы.

Из механических, практическое значение имеют отстаивание, центрифугирование и фильтрование; из физико-механических – флотация,

коагуляция и сорбция; из химических – хлорирование и озонирование. Типовые технологические схемы очистки сточных вод от нефтепродуктов показаны на рисунке 1[5].

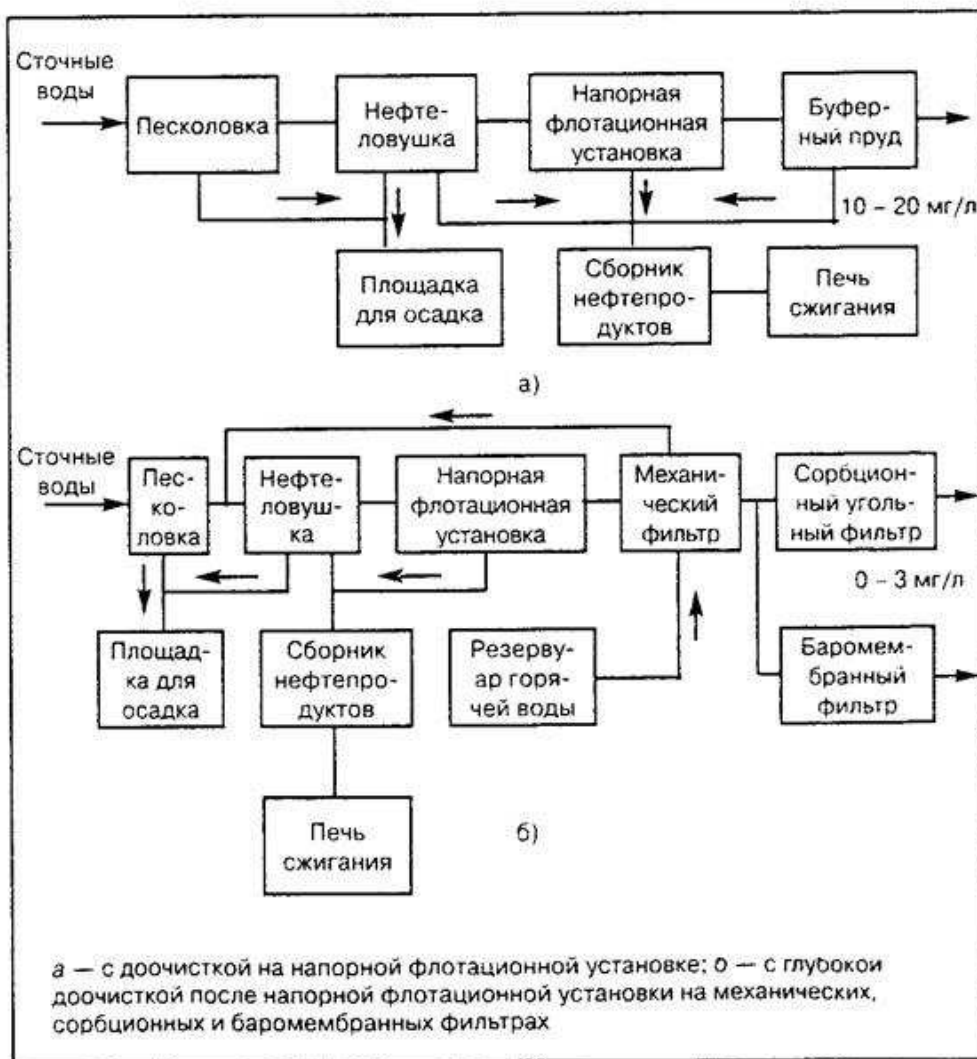


Рисунок 1 – Структурные схемы очистки сточных вод от нефтепродуктов

## 1.2 Автоматизированные модульные установки для очистки сточных вод

Комбинированные установки механической очистки КУМО предназначены для комплексной очистки сточных вод, включающей в себя процессы извлечения отбросов, сепарации песка и жиров, извлечение уплотняемых механических примесей в контейнеры для утилизации.

Установки объединяют в одном технологическом узле механическую решетку, установленную в приемном канале, и аэрируемую песколовку с наклонным шнековым транспортером для извлечения осевшего песка. Оборудование изготовлено из нержавеющей стали.

### **Область применения**

Коммунальное хозяйство, очистка нефтепромышленных стоков, сельское хозяйство, пищевая промышленность и др.

### **Преимущества**

- эффективность улавливания песка до 90% при размере частиц более 0,02 мм;
- конструкция агрегата не допускает заклинивание шнека даже при работе со «сложными» материалами;
- надежная износостойкая конструкция с длительным сроком службы комплектующих не требует постоянного технического обслуживания;
- полностью закрытая конструкция гарантирует отсутствие выбросов и запахов;
- отсутствие внутренних подшипников;
- низкая скорость вращения шнеков;
- возможность разгрузки в пластиковые мешки;
- специальные долговечные щетки для шнека;
- идеальное решение для наземной установки, особенно в условиях ограниченного пространства[5].

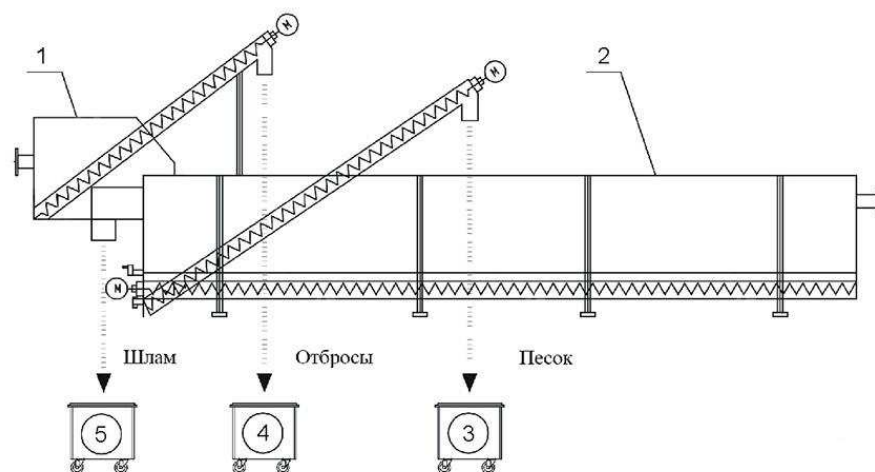


Рисунок 2- Схема надземной установки

Нефтесодержащие сточные воды подаются на установку по напорному трубопроводу в лоток с механической решеткой (1). В лотке предусмотрено гашение напора с помощью установки поперечной перегородки-гасителя. Сточные воды проходят через грабельную либо шнековую механическую решетку. Мусор посредством шнекового транспортера сбрасывается в контейнер (4). Очищенная от мусора вода проходит через песколовку (2), взвешенные минеральные частицы оседают в бункере[6].

Для отмывки песка от органических загрязнений и стабилизации осадка предусмотрена система постоянной аэрации песколовки. При аэрации и трении песчинок друг о друга песок отмывается от обволакивающих его органических загрязнений, при этом органические соединения с малой плотностью поддерживаются во взвешенном состоянии и не выпадают в осадок. Благодаря отмывке песка его зольность достигает 90%, по сравнению с 60% в неаэрируемых песколовках.

Из бункера песок выгружается в контейнер с помощью шнека (3). Шнек работает периодически по мере наполнения бункера песком. Периодичность работы устанавливается в процессе пусконаладочных работ. Работа установки осуществляется в автоматическом режиме от щита управления.



Рисунок 3 – Установка очистки нефтесодержащих сточных вод

Кроме того, открытые системы позволяют очищать пластовые (и промливневые) воды в одном потоке независимо от состава, давления и газонасыщенности воды и совместно закачивать их в нагнетательные скважины. Открытые системы чаще всего рекомендуются для сточных вод с большим содержанием сероводорода ( $H_2S$ ) и углекислого газа ( $CO_2$ ) и для более глубокой очистки воды от капелек нефти и механических примесей[7].

### **1.3 Описание установок и их особенности**

Блочно-модульные системы помогают обеспечить биологическую очистку сточных вод, включая обеззараживание. Весь процесс фильтрации полностью автоматизированный и практически не нуждается в контроле специалистов. Практически все установки могут обеспечить контроль расхода воздуха, поэтому воздуходувки потребляют меньше электроэнергии, что в свою очередь дает существенную экономию.

При этом обеспечивается необходимая концентрация активного ила. В системе предусмотрены обводные трубы, поэтому при возникновении внештатных ситуаций есть возможность сброса в канализацию. Существуют основные стадии очистки сточных вод:

Напор воды идет по трубопроводу, при этом происходит контроль специальным устройством – расходомером. На самом первом шаге начинается усреднение воды и биологическое очищение. Активный ил возвращается в усреднитель. В нем установлена песколовка. При повышении уровня ила из песколовки автоматически насосом выводятся излишки. Септик или песковая площадка служат ёмкостью для сбора песка. Периодически он оттуда утилизируется. Из первого отстойника автоматом убираются излишки ила и осадок. В мешочных фильтрах начинается обезвоживание и по мере их наполнения они удаляются, заменяясь новыми. Если существует потребность, добавляют возможность автоматической утилизации излишек ила в септик на площадку. Биореактор является основной емкостью для очистки сточных вод. Здесь проходит процесс аэрации. Вода насыщается кислородом. Количество пузырьков зависит от изменения расхода[21].

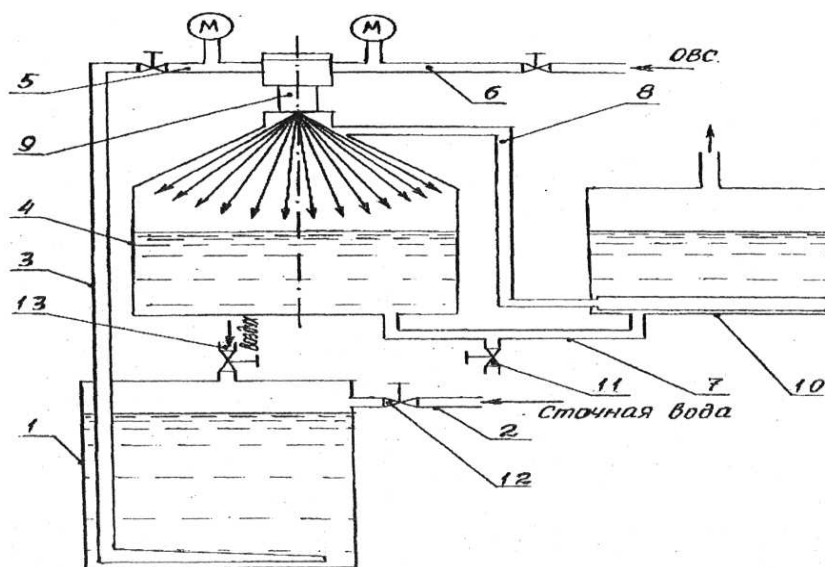
Дополнительная очистка сточных вод в биореакторе получается путем установки плавающей загрузки. Промывка её от накопившихся примесей осуществляется так же автоматически. Активный ил всегда поступает в биореактор. Обеззараживание воды проводится с помощью ультрафиолета. Очищенная вода вытекает самотеком, при правильно угле наклона. Или устанавливается насос для напорного режима. Кроме основной комплектации системы можно дополнить её датчиками контроля и дополнительной системой автоматизации.

Способ очистки сточных вод от органических соединений и взвешенных веществ, включающий создание разветвленного потока воды, насыщение его озоновоздушной смесью с последующим образованием аэрозоля смеси воды и озоновоздушной смеси, отличающийся тем, что перед созданием разветвленного потока воды осуществляют фильтрование воды, после чего создают разветвленный поток озоновоздушной смеси, а насыщение воды озоновоздушной смесью осуществляют путем соединения разветвленных потоков воды и озоновоздушной смеси, последующего многократного



разъединения и соединения смеси воды и озонородушной смеси и создания вихревого потока смеси воды и озонородушной смеси, при этом насыщение ведут при давлении не менее 0,3 МПа[21].

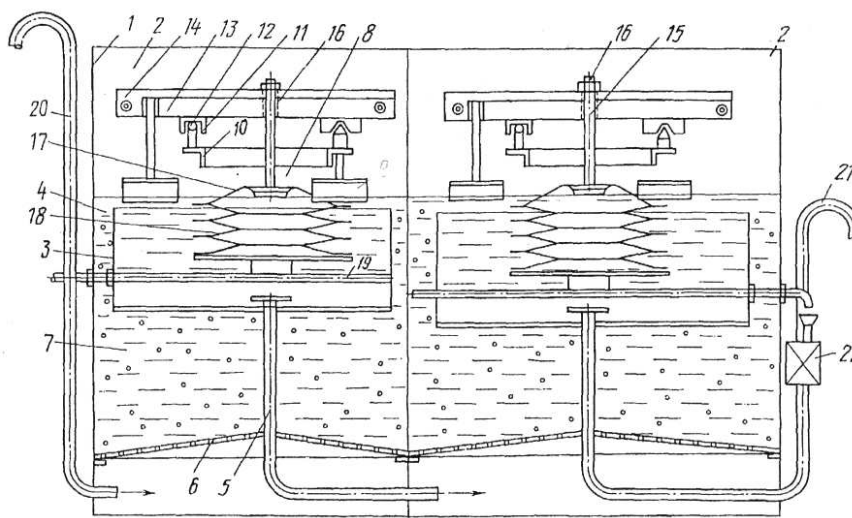
Устройство для очистки сточных вод (рисунок 4) органических соединений и взвешенных веществ, содержащее камеру насыщения с патрубками подвода и отвода воды и озонородушной смеси, расположенный между патрубками подвода и камерой насыщения контактный элемент со змеевиком и диффузор, отличающееся тем, что устройство содержит камеру фильтрования, сообщающуюся с камерой насыщения, контактный элемент образован корпусом и помещенным в него стержнем, соединенным с корпусом резьбовым соединением, змеевик выполнен в виде многократно пересекающихся винтовых канавок на наружной поверхности стержня, одна часть из которых имеет левое, а другая – правое направление навивки, при этом в диффузоре размещен золотник с многозаходными винтовыми каналами на своей наружной поверхности[20].



1 – камера фильтрования; 2 – патрубок для ввода СВ; 3 – трубопровод; 4 – камера насыщения; 5 – патрубок для подвода воды; 6 – патрубок для подвода озонородушной смеси; 7,8 – патрубок для отвода соответственно воды и ОВС; 9 – контактный элемент; 10 – камера накопления воды; 11 – вентиль; 12 – клапан; 13 – патрубок сжатого воздуха.

Рисунок 4 - Схема устройства для очистки сточных вод

Изобретение предназначено для очистки от нефтепродуктов воды, сливаемой в естественные водоемы. Установка содержит корпус, разделенный на отделения. В каждом отделении расположена заглубленная емкость с образованием щелевого канала для вертикального движения воды с нефтепродуктами. В каждом отделении между заглубленной емкостью и дном отделения размещена на решетке механически прочная фильтрующая загрузка. Установка снабжена двумя гидрозатворами. Технический результат состоит в повышении качества очистки воды[20].

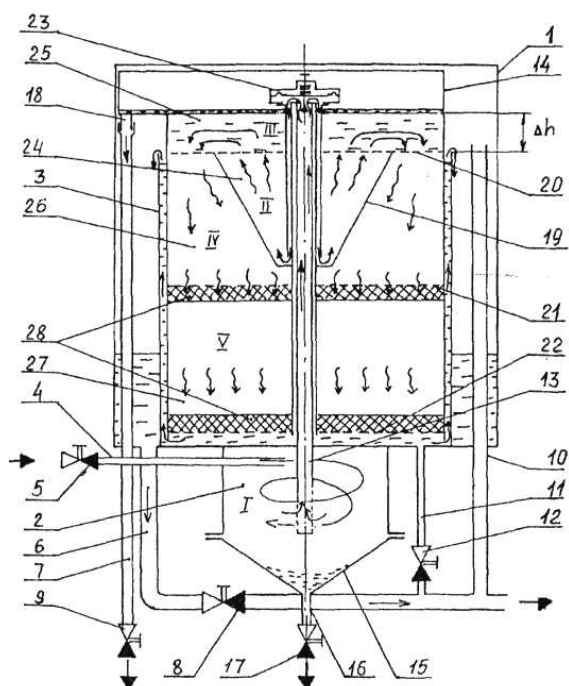


1 – корпус; 2 – отделение; 3 – ёмкость; 4 – щелевой канал; 5 – трубопровод; 6 – решетка; 7 – фильтрующая загрузка; 8 – плавающий нефтесборник; 9 – поплавки; 10 – рама; 11 – поперечные связи; 12 – сферические опоры; 13 – рычаги; 14 – связь; 15 – втулка; 16 – стержень; 17 – воронка; 18 – сильфон; 19 – трубопровод сильфона; 20, 21 – гидрозатворы; 22 – емкость нефтепродуктов.

Рисунок 5 - Установка для очистки воды

Изобретение относится к области очистки воды, в частности к установкам для очистки природных и сточных вод от нефти, нефтепродуктов и механических примесей. Установка (рисунок 6) включает вертикальный цилиндрический корпус с подающим и отводящим патрубками, расположенный по оси корпуса вокруг подающей, центральной трубы внутренний цилиндр, заполненный фильтрующе-коалесцирующим материалом, причем дополнительно установка снабжена коалесцирующей камерой, установленной

под корпусом, а нижняя часть центральной трубы размещена коаксиально в камере, имеющей также конусообразную крышку, в которой расположен патрубок для отвода механических примесей. В цилиндрической части камеры установлен патрубок для тангенциального ввода загрязненной воды. Коалесцирующая камера заполнена гранулами полипропилена с положительной плавучестью, между внутренним цилиндром и корпусом установлена перегородка, внутренний цилиндр выполнен в виде сменного патрона, снабженного штуцером для слива нефтепродуктов и содержащего слои фильтрующе-коалесцирующих материалов, расположенных в определенной последовательности. В патроне установлены также перфорированные перегородки, разделяющие эти слои. Кроме того, в верхней части патрона, к центральной трубе прикреплен наклонная перегородка в виде усеченного конуса, выше крепления перегородки установлен регулятор поддержания заданного уровня воды в патроне. Установка обеспечивает высокую эффективность и производительность, не допускает снижения качества воды при резком повышении концентрации нефтепродуктов на входе установки и при повышении давления воды, а также обеспечивает эффективное извлечение из сточных вод одновременно плавающих, эмульгированных, коллоидных и растворенных нефти и нефтепродуктов, доводя их содержание в очищенной воде до уровня предельно допустимых концентраций для слива очищенной воды в водоемы рыбохозяйственного значения. Предложенная установка компактна, проста и недорога в изготовлении и обслуживании, потребляет малое количество электроэнергии[20].



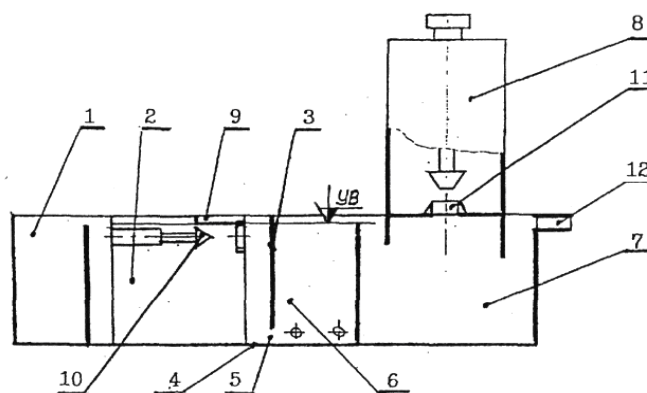
1 – вертикальный цилиндрический корпус; 2 – коалесцирующая камера, заполненная на 10 – 40% (объем) гранулами полипропилена с положительной плавучестью; 3 – перегородка; 4 – патрубок подвода загрязненной воды; 5 – кран; 6 – патрубок отвода очищенной воды; 7 – отвод нефтепродукта; 8,9 – вентили; 10 – труба аварийного перелива; 11 – полный слив воды; 12 – кран; 13 – труба из коалесцирующей камеры в сменный фильтрующий патрон; 14,15 – крышка; 16 – патрубок; 17 – кран; 18 – штуцер для слива нефтепродуктов; 19 – перегородка; 20,21,22 – перфорированные перегородки; 23 – регулятор уровня; 24 – коалесцирующая камера; 25 – камера очистки нефтепродукта; 26 – коалесцирующая камера; 27 – камера окончательной очистки; 28 – волокнистый материал (сорбент), между слоями которого помещен «Перлит М».

Рисунок 6 - Установка для очистки воды от нефтепродуктов и механических примесей

Изобретение относится к области водоочистки, а именно к очистке сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты, а также взвешенные частицы, и может быть использовано при организации замкнутого цикла водопотребления в нефтехимической, машиностроительной, автотранспортной и других отраслях промышленности, а также при очистке буровых вод. Установка содержит, по меньшей мере, один биофильтр, отстойник, циркуляционный насос, систему орошения и сборник осадка. Корпус биофильтра выполнен цилиндрическим. Внутри корпуса, по меньшей мере, на двух вращающихся опорах и зубчатом колесе, закрепленном с возможностью

вращения на валу привода, установлен венец с зубчатой нижней кромкой. На венце посредством тяг на шарнирах закреплена водозаборная труба, на которой укреплены скребки. Технический результат состоит в ускорении очистки сточных вод и снижении себестоимости очистки[20].

Устройство для очистки воды от нефтепродуктов (Рисунок 7) содержит последовательно сообщающиеся между собой приемную емкость, сообщенный с атмосферой сборник нефтепродуктов и резервуар, сообщенный с герметичной емкостью, имеющей приспособление для слива нефтепродуктов. Устройство также снабжено датчиком уровня нефтепродуктов в сборнике нефтепродуктов и приспособлением с клапаном для слива нефтепродуктов из сборника, причем сборник нефтепродуктов и резервуар соответственно нижней и верхней частями сообщены между собой через канал. Технический результат заключается в повышении производительности и надежности процесса очистки за счет накопления и непрерывного освобождения приемной камеры сборника нефтепродуктов.



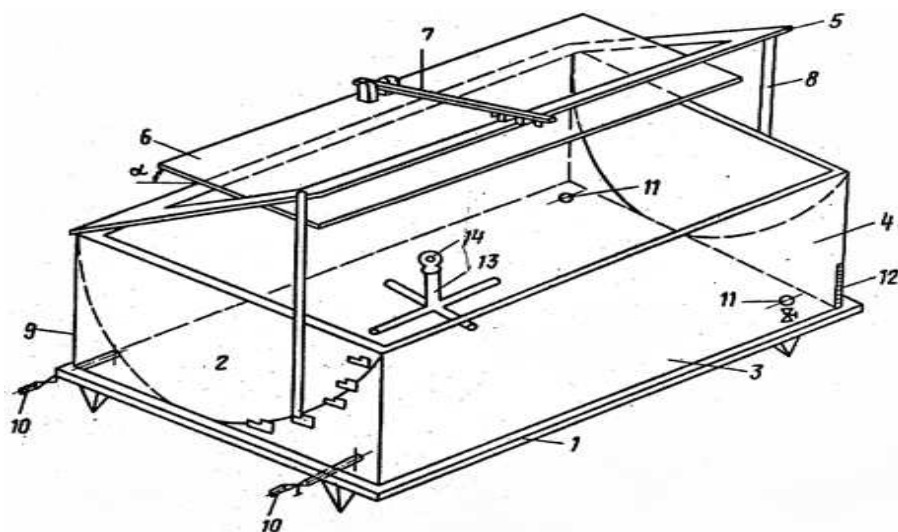
1 – приёмная ёмкость; 2 – сборник нефтепродуктов; 3 – перегородка; 4 – днище; 5 – щелевой зазор; 6 – промежуточная ёмкость; 7 – резервуар; 8 – герметическая ёмкость; 9 – приспособление для непрерывного слива нефтепродуктов; 10 – клапан; 11 – переливное отверстие; 12 – слив.

Рисунок – 7 Устройство для очистки воды от нефтепродуктов

## 1.4 Создание системы автоматизированного управления

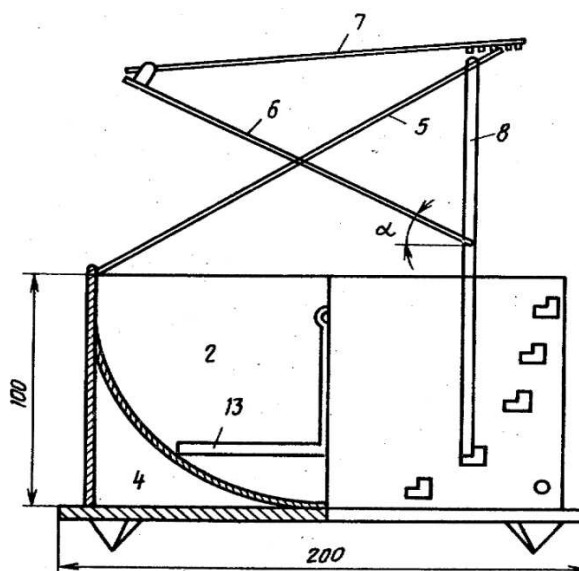
Для устранения недостатков имеющихся установок очистки сточных вод была разработана автоматизированная система для установки очистки нефтесодержащих сточных вод.

Целью создания системы является необходимость снижения трудоемкости и повышение эффективности установки для очистки нефтесодержащих сточных вод путем непрерывного процесса очистки сточных вод от нефтесодержащих продуктов и сокращения длительности процесса, обеспечиваемых системой автоматического управления режимами исполнительных механизмов, связанных с соответствующими системами подъема и установки угла поворота крышки, корректирующей направление движения воздушных потоков. Создание фильтрации воды для глубокой очистки[9].



1 – передвижная установка; 2 – рабочая камера; 3 – боковая стенка; 4 – гидроотсек; 5 – щит крышки; 6 – крышка; 7 – система подъема щита крышки; 8 – система установки щита крышки; 9 – торцевые углы; 10 – труба для подачи загрязнённой воды; 11 – труба для выхода очищенной воды; 12 – термодатчик; 13 – траверса для; 14 – монтажная петля для выгрузки нефтяных осадков и шлама.

Рисунок – 8 Установка для очистки воды



2 – полуцилиндрическая рабочая камера; 4 – гидростеки; 5 – щит; 6 – плоскость; 7 – система подъема щита; 8 – система установки щита; 13 – траверса

Рисунок 9 – Установка для очистки нефтесодержащих сточных вод

Мобильная установка для очистки сточных вод от нефтепродуктов смонтирована в передвижном контейнере либо на грузовой платформе. Может применяться для ликвидации последствий аварий, связанных с разливом нефти и нефтепродуктов в природные водоемы- пруды, озера и т.д. Установка легко транспортируется к месту аварийного разлива либо к накопительной емкости (водоему) локальной системы канализации небольшого предприятия. Очищенная вода может сбрасываться непосредственно в канализационный коллектор либо после незначительного разбавления в природный водоем. Регенерация производится на месте эксплуатации при подключении внешнего источника пара либо после транспортировки установки к стационарному источнику пара (котельной). Разрабатывается на основе фильтроадсорбционной технологии и стационарного комплекта аппаратуры[8].

Недостатком прототипа является высокая трудоемкость при обслуживании, отсутствие автоматической очистки установки от нефтесодержащих продуктов, и необходимо постоянное внимание рабочего персонала за информацией о достигнутых результатах и принятие решений об

изменении вручную высоты расположения и угла поворота плоскости, корректирующей направление движения воздушных потоков при изменении скорости ветра и температуры окружающей среды. Необходимо постоянное внимание за установкой и сменной фильтров при загрязнении

#### **1.4.1 Функциональная схема САУ**

Установка очистки нефтесодержащих сточных вод относится к автоматически управляемым установкам путем фильтрования не только при помощи окружающей среды, но и автоматизированного управления. Технический результат заключается в повышении производительности и эффективности установки для очистки нефтесодержащих сточных, а также в снижении трудозатрат при обслуживании.

Установки очистки стоков базируются на фильтрации поверхностных сточных вод с использованием различных сорбентов: активированных углей, цеолитов, полимерных синтетических материалов.

Автоматическое управление в технике, совокупность действий, направленных на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта без непосредственного участия человека в соответствии с заданной целью управления. Автоматическое управление широко применяется во многих технических и биотехнических системах для выполнения операций, не осуществимых человеком в связи с необходимостью переработки большого количества информации в ограниченное время, для повышения производительности труда, качества и точности регулирования, освобождения человека от управления системами, функционирующими в условиях относительной недоступности или опасных для здоровья. Цель управления тем или иным образом связывается с изменением во времени регулируемой (управляемой) величины — выходной величины управляемого объекта. Для осуществления цели управления, с учётом особенностей



управляемых объектов различной природы и специфики отдельных классов систем, организуется воздействие на управляющие органы объекта — управляющее воздействие. Оно предназначено также для компенсации эффекта внешних возмущающих воздействий, стремящихся нарушить требуемое поведение регулируемой величины. Управляющее воздействие вырабатывается устройством управления (УУ). Совокупность взаимодействующих управляющего устройства и управляемого объекта образует систему автоматического управления. (Рисунок 9).

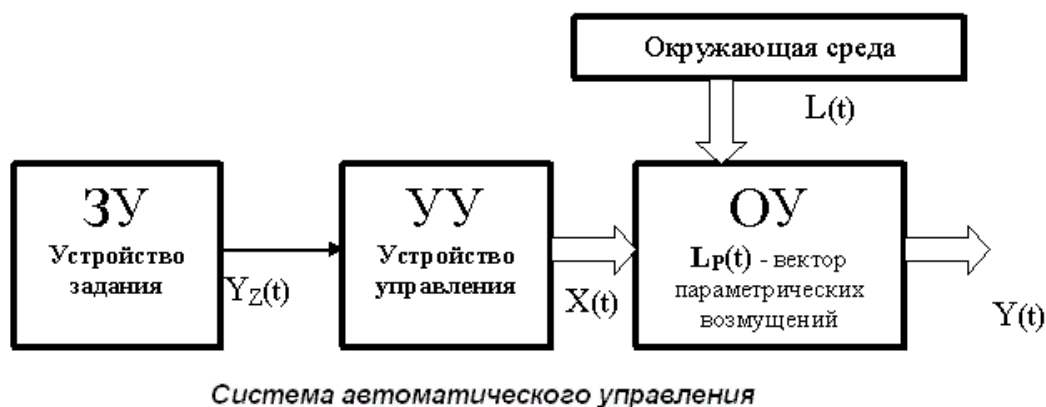


Рисунок 10 – Функциональная схема САУ

### 1.4.2 Принцип работы САУ

Принцип действия САУ по возмущению состоит в том, что вместо измерения рассогласования  $\varepsilon$  измеряется само возмущение ЗУ, и воздействует на УУ, которое преобразует этот сигнал и компенсирует его, т.е. прикладывает к ОУ воздействие  $u(t)$ , обратное действию возмущения  $z_1$ , (рисунок 10). Такое УУ обеспечивает инвариантность (независимость) управляемой величины  $y(t)$  от возмущающего воздействия  $z_1$ .

Быстродействие таких САУ выше в сравнении с САУ, работающими по отклонению. Другим достоинством САУ является их простота. Недостатком САУ, работающих по возмущению, считают компенсацию только одного основного возмущения, что снижает их точность. По сравнению с САУ,

работающими по отклонению, САУ по возмущению являются разомкнутыми системами.

Преимущество заявляемого технического решения заключается в повышении эффективности элементов установки для очистки нефтесодержащих сточных вод вследствие непрерывной подачи загрязненной воды, за счет применения системы автоматического управления, обеспечивающей контроль за процессом очистки нефтесодержащих сточных вод и корректирующей направление движения воздушных потоков при изменении скорости ветра и температуры окружающей среды без непосредственного участия в управлении процессом замораживания нефтесодержащих сточных вод рабочего персонала, что в целом свидетельствует об увеличении производительности и эффективности установки для обезвоживания осадка сточных вод.

### **Выводы по главе 1**

По результатам проведенного анализа для достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы выполнены следующие задачи:

- описание выбранных автоматизированных средств управления;
- Рассмотрены технологии установки для очистки нефтесодержащих сточных вод;

## **2 Выбор технологических средств автоматизации и определение параметров для моделирования.**

### **2.1 Исследование технологических средств автоматизации**

Для получения достоверной качественной информации о параметрах технологического процесса (ТП) необходимо выбрать соответствующий метод.

Выбор метода измерения определяется конкретными условиями измерения (измеряемой средой, ее параметрами, особенностями ТП и т. д.) и требованиями, предъявляемыми к точности измерения и функциям, выполняемым средствами измерения.

Основными критериями выбора средств автоматизации являются:

- диапазон измеряемой величины;
- класс точности;
- условия эксплуатации.

В соответствии с диапазоном измерения выбирается тип датчика.

В выборе преобразователей необходимо учитывать вид сигнала, поступающего с выхода датчика. Для каждого вида сигнала существует определенный вид преобразователя, рассчитанный на работу с этим сигналом.

В состав системы управления установкой очистки нефтесодержащих сточных вод входят:

- датчик скорости ветра;
- датчик температуры окружающей среды;
- датчик углового положения плоскости;
- блок управления;
- гидравлические приводы.
- фильтры для очистки загрязненной воды

Для реализации автоматизированной системы был выбран контроллер (блок управления) Arduino Uno (Рисунок 11).

Arduino используется для создания электронных устройств с возможностью приема сигналов от различных цифровых и аналоговых датчиков, которые могут быть подключены к нему, и управления различными исполнительными устройствами. Проекты устройств, основанные на Arduino, могут работать самостоятельно или взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере. Платы могут быть собраны пользователем самостоятельно или куплены в сборе[9].

Arduino Uno контроллер построен на ATmega328. Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Рабочее напряжение 5В, рекомендуемое входное равно 7–12В. Температурный режим работы от  $-40^{\circ}$  до  $+90^{\circ}$ . Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB, либо подать питание при помощи адаптера AC/DC или батареи[8].



Рисунок 11 – Контроллер Arduino Uno

Для определения скорости ветра был выбран датчик скорости ветра ДСВ1.1 (Рисунок 12). Предназначен для измерения скорости ветрового потока. Предназначен для определения ветровых порывов от 0 до 30 м/с, погрешность измерения не более  $\pm 2$  м/с. Напряжение питания от 8В до 32В Диапазон рабочих температур от  $-40^{\circ}$  до  $+55^{\circ}$  и предельных от  $-60^{\circ}$  до  $+65^{\circ}$ .



Рисунок 12 – Датчик скорости ветра ДСВ1.1

Для измерения температуры окружающей среды выбран цифровой датчик температуры DS18B20 (Рисунок 13). DS18B20 - это цифровой датчик температуры. Датчик очень прост в использовании. Во-первых, он цифровой, а во-вторых – у него один контакт, с которого мы получаем сигнал. Этот датчик температуры основан на популярной микросхеме DS18B20. Он позволяет определить температуру окружающей среды в диапазоне от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  и получать данные в виде цифрового сигнала с 12-битным разрешением по 1-Wire протоколу. Этот протокол позволит подключить огромное количество таких датчиков, используя всего 1 цифровой порт контроллера, и всего 2 провода для всех датчиков: земли и сигнала. Напряжение питания составляет от 3В до 5,5В, также есть возможность программирования параметров тревожного сигнала. Для подключения 1-Wire устройств к Arduino существует готовая библиотека.



Рисунок 13 – Датчик температуры DS18B20

Для определения углового положения был выбран датчик КУ–040 (Рисунок 14). Для использования датчика поворота угла необходимо сначала записать в Arduino специальную библиотеку для работы с датчиком. Затем нужно подключить энкодер (датчик угла поворота) к питанию и контроллеру Arduino. Энкодер определяет угол поворота с помощью подсчета числа импульсов со старта. В неподвижном положении ручки энкодера определить угол поворота невозможно. Ручка энкодера может вращаться на 360° в обе стороны. Выходной сигнал имеет два канала, в которых идентичные последовательности импульсов сдвинуты на 90° относительно друг друга, что позволяет определять направление вращения. Датчик имеет один 5-пиновый штыревой разъем для подключения питания и контроллера:

- 1) Питание: «+» – напряжение питания, GND – общий контакт.
- 2) Данные: CLK – выходной сигнал №1 (тактовый импульс), DT – выходной сигнал №2 (направление импульса), SW – выходной сигнал с кнопки.

Питание энкодера может осуществляться или от контроллера Arduino или от внешнего источника питания. Напряжение питания 4,5 – 5,5 В.

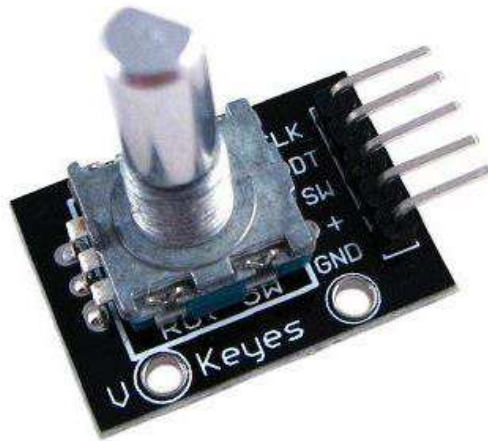


Рисунок 14 – Датчик углового положения

Для определения высотного положения использовалась система, включающая в себя резисторы с номиналом  $R_0, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$ , а также контакты  $K_0, K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$ , они находятся на отсечках положений от «0» до «5» и соответствуют определенной высоте  $h$ . Принцип действия основан на передвижении контакта  $K$ , по положениям  $K_0, K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$ . При разных положениях высоты  $h$ , блок управления делает вывод, на каком положении сейчас находится контакт  $K$ .

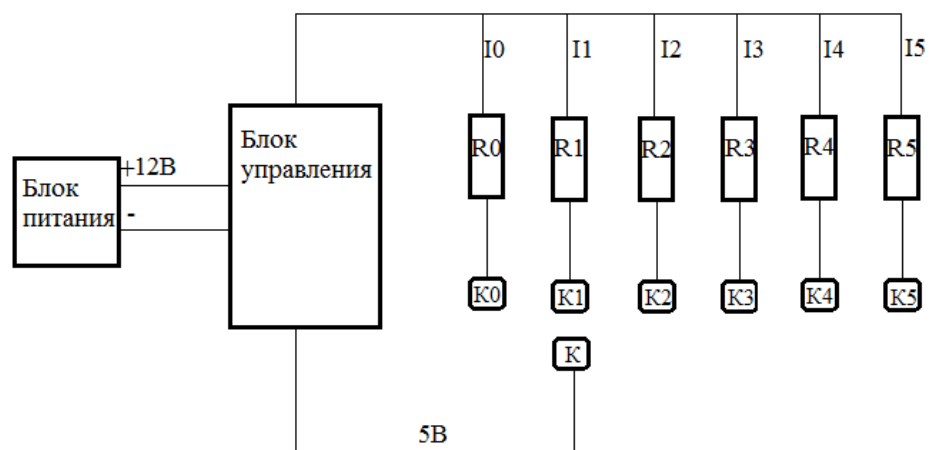


Рисунок 15 – Датчик высотного положения

Для осуществления подъема щита 5 и поворота плоскости 6 (Рисунок 15) используются гидравлические приводы ФААС 400СВАС (Рисунок 16). Диапазон рабочих температур от  $-40^{\circ}$  до  $+55^{\circ}$ , Линейная скорость штока равна 1 см./сек. Максимальный потребляемый ток, равен 1 А.

Гидравлические приводы по сравнению с другими имеют небольшие габариты и малую инерционность, что позволяет осуществлять бесступенчатое регулирование скорости исполнительных органов машин и получать достаточно высокий КПД. Главное достоинство гидроприводов в возможности работы в динамических режимах при частых включениях, остановках, реверсах движения или изменениях скорости, причем качество переходных процессов можно контролировать и изменять в нужном направлении. Исполнительным органом гидропривода является гидравлический цилиндр (или по-другому гидравлический двигатель). Основными деталями гидроцилиндра являются корпус, включающий цилиндр и крышки, поршень со штоком или плунжер, внутренние поверхности этих деталей образуют рабочую камеру. Процесс внутри гидроцилиндра основан на попеременном заполнении его рабочей камеры рабочей жидкостью и вытеснении ее, при этом осуществляется перемещение выходного звена (штока или плунжера) [10].



Рисунок 16 – Гидравлический привод



## 2.2 Построение модели черного ящика

Первое определение системы подчеркивает ее целевую принадлежность, но не говорит о ее внутреннем устройстве. Поэтому систему можно изображать в виде непрозрачного «ящика», выделенного из окружающей среды. Такая модель отражает важное свойство системы: целостность и обособленность от среды. Несмотря на то, что система (ящик) обособлена и выделена из среды, она не является полностью от нее изолированной, так как ее цель – это заранее запланированные изменения в окружающей среде. Другими словами система связана со средой и с помощью этих связей воздействует на нее. Эти связи изображаются в виде стрелок направленных от системы в среду, и называются *выходами системы*. Так как система является средством достижения цели, должны существовать возможности передачи ей исходных данных (информации, программы, материал, заготовок, энергетических и топливных ресурсов), а также возможности управления системой. Также связи изображаются в виде стрелок направленных от среды в систему и называются *входами системы*[20].

Перейдем от первого определения системы к его визуальному эквиваленту. Во-первых, приведенное определение ничего не говорит о внутреннем устройстве системы. Поэтому ее можно изобразить в виде непрозрачного «ящика», выделенного из окружающей среды. Подчеркнем, что уже эта, максимально простая, модель по-своему отражает два следующих важных свойства системы: целостность и обособленность от среды.

Во-вторых, в определении системы косвенно говорится о том, что хотя «ящик» и обособлен, выделен из среды, но не является полностью от нее изолированным.

## Модель «черного ящика»

Перейдем от первого определения системы к его визуальному эквиваленту. Во-первых, приведенное определение ничего не говорит о внутреннем устройстве системы. Поэтому ее можно изобразить в виде непрозрачного «ящика», выделенного из окружающей среды. Подчеркнем, что уже эта, максимально простая, модель по-своему отражает два следующих важных свойства системы: целостность и обособленность от среды[20].

Во-вторых, в определении системы косвенно говорится о том, что хотя «ящик» и обособлен, выделен из среды, но не является полностью от нее изолированным.

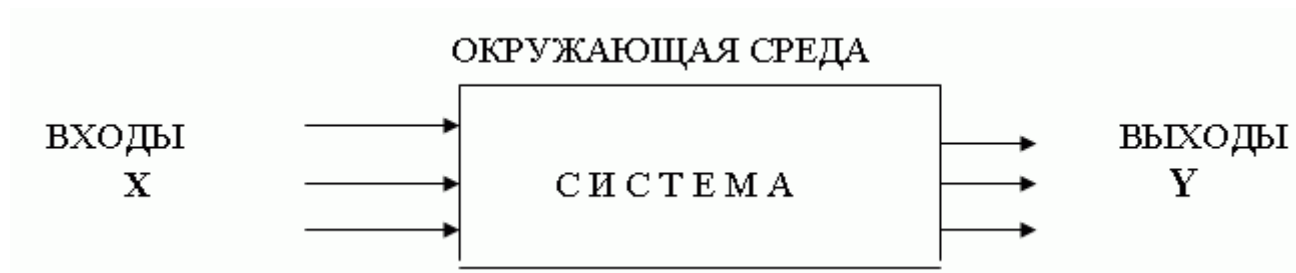


Рисунок 17 — Модель «черного ящика»

Иначе говоря, система связана со средой и с помощью этих связей воздействует на среду. Эти связи называются выходами системы. Подчеркнем еще раз, что выходы системы в данной графической модели соответствуют слову «цель» в словесной модели системы (в первом определении). Кроме того, система является средством, поэтому должны существовать и воздействия на нее, т.е. такие связи со средой, которые направлены извне в систему, которые называются входами системы[20].

В результате мы построили модель системы, которая получила название «черного ящика» (см. рисунок 16). Это название образно подчеркивает полное отсутствие сведений о внутреннем содержании системы. В модели задаются только входные и выходные связи системы со средой, т.е. множество X и Y

входных и выходных переменных. Такая модель, несмотря на внешнюю простоту и на отсутствие сведений о внутреннем строении системы, часто оказывается очень полезной. Отметим, однако, что построение модели «черного ящика» не является тривиальной задачей, так как на вопрос о том, сколько и какие именно входы и выходы следует включать в модель, ответ не прост и не всегда однозначен[20].

При рассмотрении любой системы обнаруживается, что ее целостность и обособленность, отображенные в модели черного ящика, выступают как внешние свойства. Внутренность же «ящика» оказывается неоднородной, что позволяет различать составные части самой системы. При более детальном рассмотрении некоторые части системы могут быть, в свою очередь, разбиты на составные части и т.д. Те части системы, которые мы рассматриваем как неделимые, называются элементами. Части системы, состоящие более чем из одного элемента, называют подсистемами. При необходимости можно ввести обозначения или термины, указывающие на иерархию частей. В результате получается модель состава системы, описывающая из каких подсистем и элементов она состоит (см. рисунок 18).

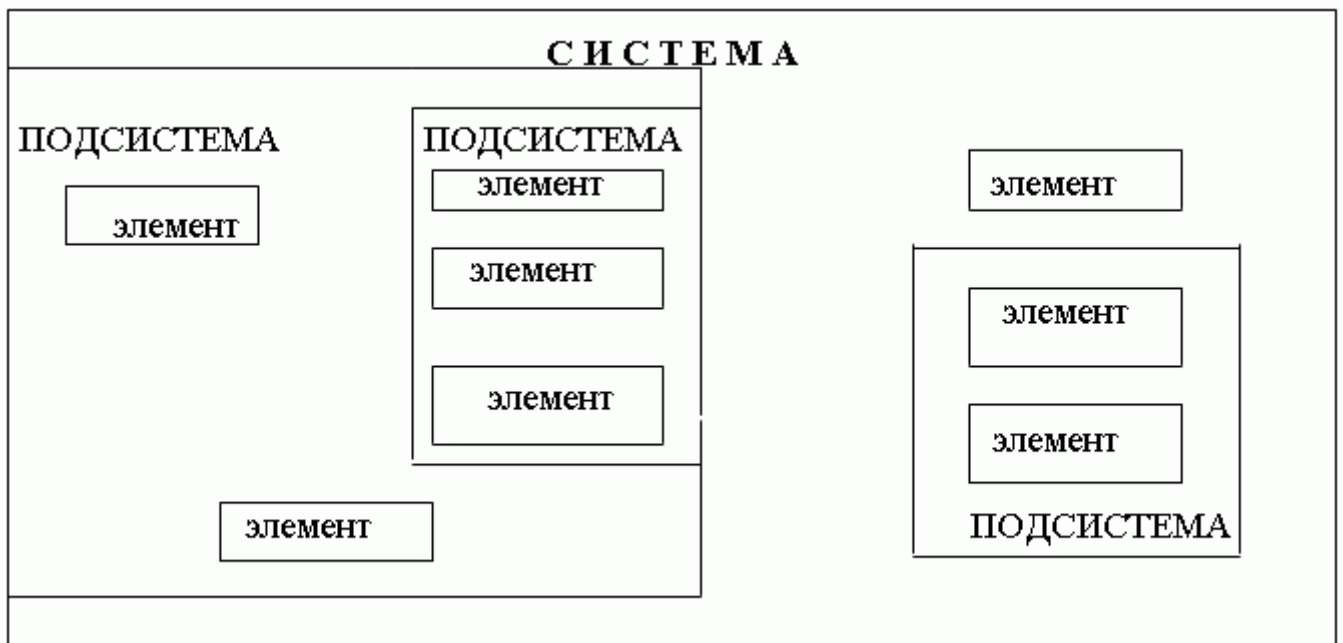


Рисунок 18 – Система и подсистема модели черного ящика

Произведя анализ технологического процесса и описания системы определим входные и выходные координаты, а также возмущающие воздействия.

Входные, выходные координаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Входы, выходы системы

Входы	Выходы
Скорость ветра окружающей среды	Угол поворота плоскости
Температура окружающей среды	Высота подъема плоскости
Скорость поступления загрязненной воды	Скорость выброса очищенной воды

В блоке управления входят данные о температуре окружающей среды и скорости ветра из блока имитации окружающей среды. Далее, из блока управления поступают команды на изменение положения угла положения крышки и изменение положения высоты крышки в блоке изменения угла положения угла крышки и высоты положения крышки соответственно. В данные блоки поступает сигнал о максимальном и минимальном положении угла положения крышки и высоты положения крышки соответственно. Также, при аварийной ситуации, из блока управления поступает аварийный сигнал на подсистемы изменения угла положения крышки и высоты положения крышки.

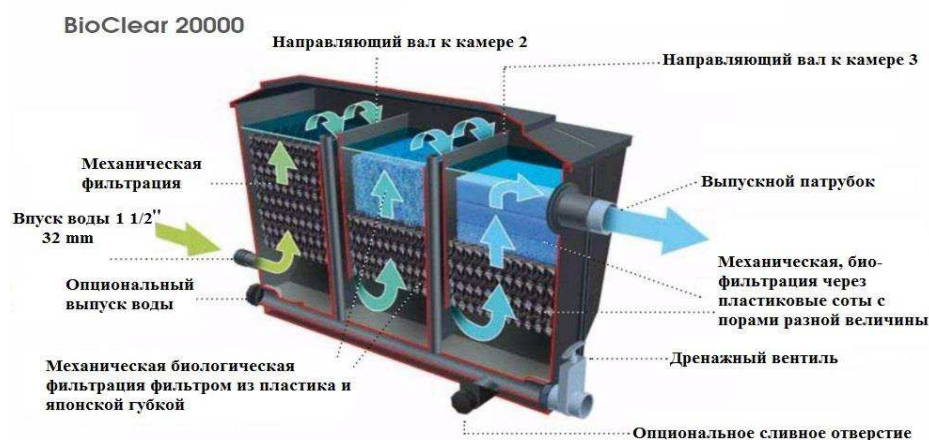


Рисунок – 19 Схема фильтрации воды

Отдельно от блока управления и блока окружающей среды, входит подсистема для фильтрации загрязненной воды, состоящая из трех фильтров.

После построения диаграммы декомпозиции исследуемой системы можно приступить к следующему шагу, такому как моделирование системы управления установкой для очистки нефтесодержащих сточных вод. Для этого нужно выбрать среду моделирования, а также подсистемы и связи, представленные в диаграмме следует наполнить содержанием.

## **Выводы по главе 2**

Построена структурная схема Модели черного ящика. Были представлены датчики для внедрения автоматизированную систему управления установкой для очистки нефтесодержащих сточных вод. Описаны технические средства автоматизации, включающие в себя главным образом: предохранительные, регулирующие задвижки и контрольно-измерительные приборы. Осуществлен выбор датчиков.

### **3 Разработка модели системы управления установкой для обезвоживания осадка сточных вод**

#### **3.1 Выбор среды моделирования**

К числу программных средств, с целью непосредственного изучения методов теории автоматических систем и приобретения практических навыков автоматизированного проектирования автоматических устройств и систем на их основе, относятся как зарубежные (Simulink, Skilab, MATRIX, VisSim, LabVIEW и др.), так и отечественные (МИК, ПА 9, CLASSIC, MBТУ, SimInTech и др.) системы автоматизации динамических расчетов (САДР). В силу сложившихся обстоятельств в настоящее время доминируют преимущественно зарубежные программы.

Название SimInTech является сокращением от перевода на английский язык оригинального названия ПК MBТУ (Моделирование в технических устройствах, Simulation In Technic). Являясь альтернативой зарубежным аналогам, ПО SimInTech позволяет рассчитывать, моделировать, исследовать и синтезировать различные технические устройства (механические, гидравлические, теплотехнические, электротехнические и др., в том числе средства и системы автоматики). Вся необходимая сопроводительная документация, методическое обеспечение и исчерпывающая справочная контекстная система SimInTech выполнена на русском языке, что для многих российских пользователей снимает языковой барьер, который имеет место при освоении и использовании таких программ, как Simulink и др., с англоязычным методическим и справочным сопровождением.

Визуальные, интерактивные средства программирования, используемые в среде SimInTech, сопроводительная документация и методическое обеспечение, отличающиеся «прозрачностью» и доступностью для понимания, позволяют пользователю, при наличии элементарных навыков работы в среде

операционной системы Windows, за кратчайший срок изучить его и успешно работать в его среде.

### 3.2 Построение компьютерной модели в SimInTech

Моделирование – это один из важнейших этапов при разработке технологических процессов. Одним из способов моделирования является компьютерное моделирование. Сущность методологии компьютерного моделирования состоит в замене исходного технологического объекта его математической моделью, и, в дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов. Работа с моделью дает возможность относительно быстро и без существенных затрат исследовать свойства и поведение объекта.

Общий вид модели, выполненной в программной среде SimInTech, представлен на рисунке 20.

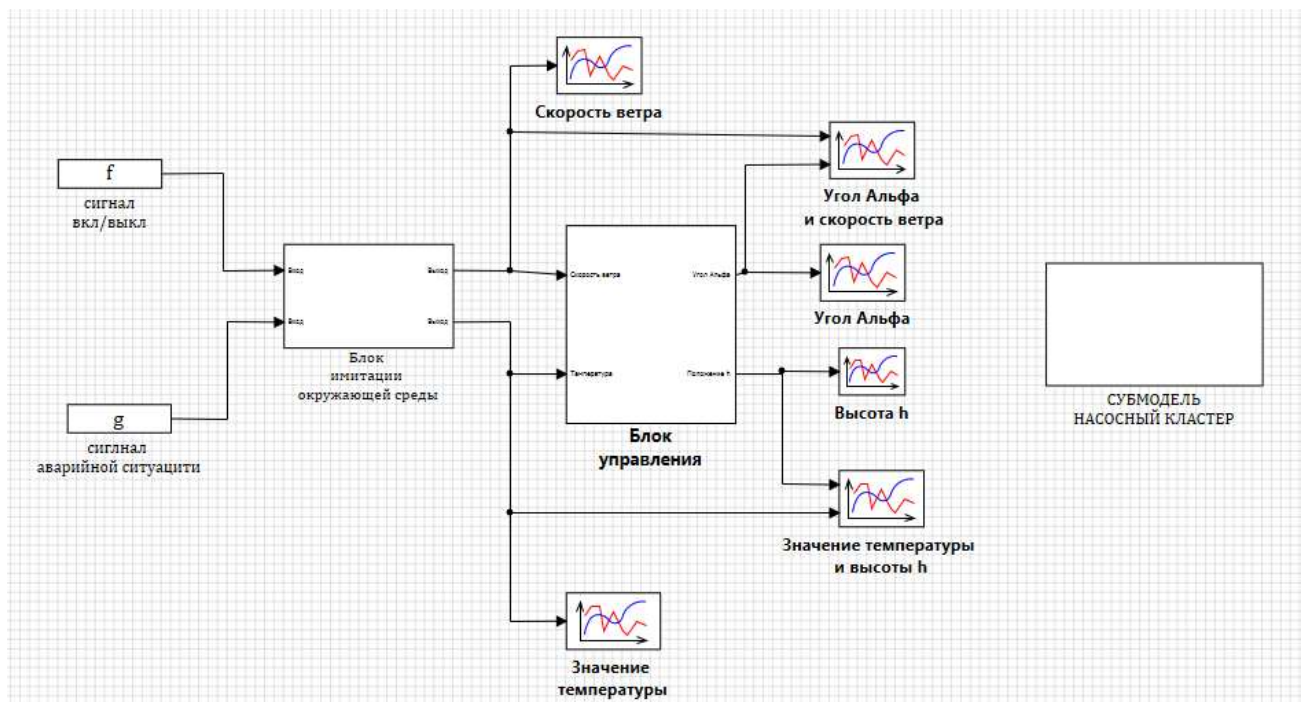


Рисунок 20 – Общий вид модели

На рисунке 20 располагаются вычислительные блоки: блок имитации окружающей среды и блок управления, также графики зависимости. На рисунке также представлена субмодель насосного кластера.

Данные блоки являются важнейшим аспектами в работе, через данные блоки идет все управление установки. По графикам зависимости можно наблюдается изменения не только самой установки, но и изменения окружающей среды.

Основным направлением деятельности кластера является испытание и сервисное обслуживание нефтяных, химических и шламовых насосов, предназначенных для перекачивания нефтепродуктов, а также воды.

На рисунке 21 изображена субмодель насосного кластера, состоящая из трех фильтров, для очистки воды. Насосный кластер объединяет три однородных насосов для подачи нефтесодержащих сточных вод и один насос для откачки воды, не только в случае аварийной ситуации, но и для перекачки загрязненной воды из одного отсека в другой. Через двигатели происходит расчет мощности подачи воды в следующий насос, который отвечает за перекачку воды из одного отсека в другой отсек очистки воды. Двигатели отвечают с какой скоростью будет проходить загрязненная вода через фильтры. Второй насос схемы фильтрации отвечает за подачу воды в следующий отсек и откачки воды из предыдущего отсека для фильтрации воды. Также второй насос отвечает и за аварийную ситуацию, в случае аварии происходит откачка воды из всех отсеков, при этом продолжается очистка воды. Для каждого фильтра есть графики зависимости, через эти графики можно наблюдать как работает каждый из фильтров. Объем из каждого отсека также отвечают фильтры, в них устанавливаются условия при каком объеме воды выполняется очистка.



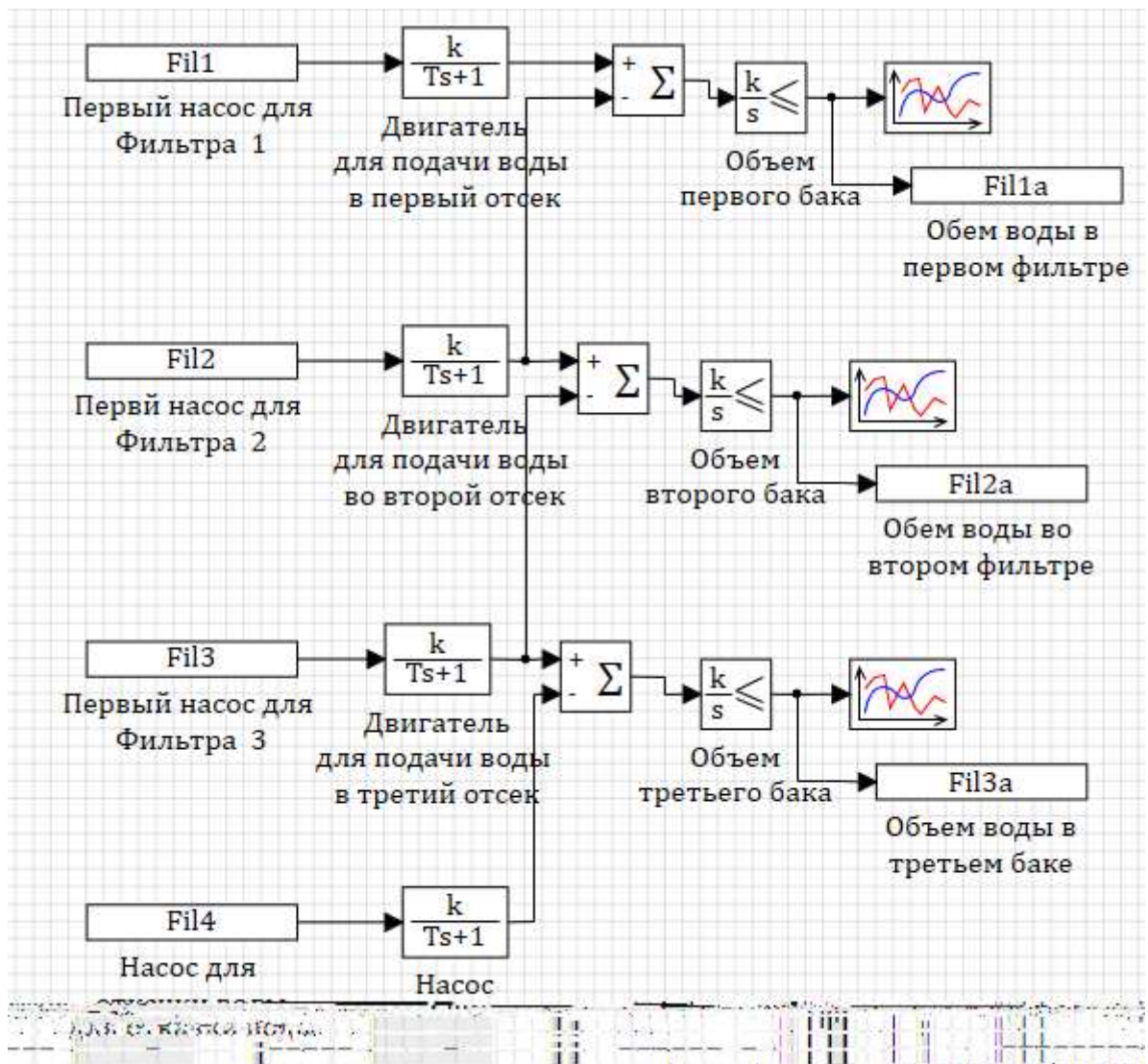


Рисунок – 21 Субмодель насосный кластер

Модель установки разделяется на два важных блока управления. Субмодель «Блок имитации окружающей среды» и субмодель «Блок управления». Через данные блоки проходит вся работа модели (рисунок 22).

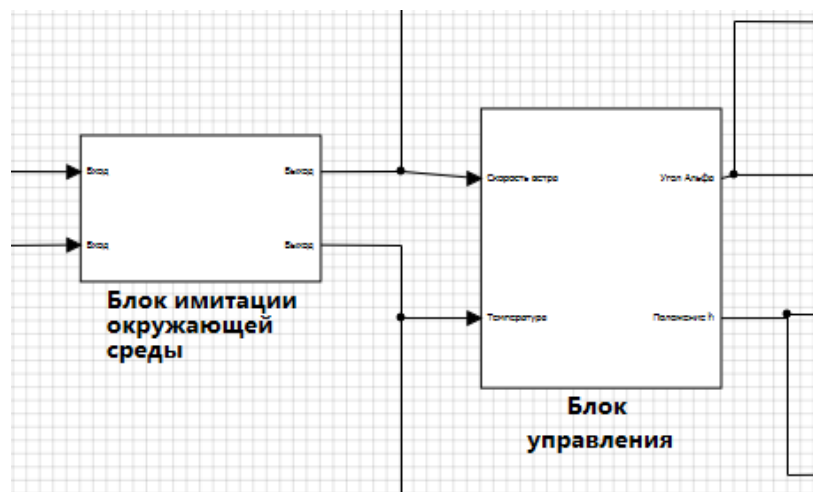


Рисунок 22 – Вычислительные блоки

В субмодели «Блок имитация окружающей среды» модулируется имитация скорости ветра и температуры окружающей среды (Рисунок 23). Здесь заложены датчик скорости ветра и датчик температуры.

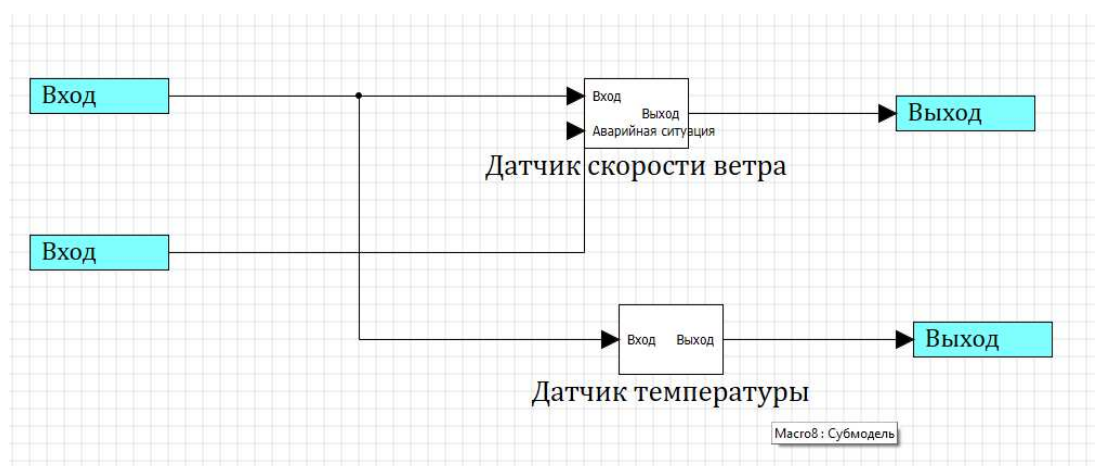


Рисунок 23 – Имитация окружающей среды

В датчиках скорости ветра и температуры, заложены алгоритмы работы и управления окружающей средой, в датчиках можно менять температуру и скорость ветра, в зависимости от погодных условий. Но так как установка используется в летнее время используем температуру только плюсовую.

В датчике температуры окружающей среды (рисунок 23), температуру принимаем в летнее время, так как при температуре ниже промерзания

нефтедержащих вод, очистка не будет происходить, а при температуре в летнее время года и выше, будет быстро происходить очистка нефтедержащих продуктов.

В блоке датчик скорости ветра, изображенный на рисунке 24, заложены не только действия при возникновении аварийной ситуации, но и работа установки при нормальных условиях окружающей среды. Высокая скорость ветра уменьшает время работы установки очистки от нефтедержащих продуктов, соответственно, чем больше скорость ветра, тем меньше затрачивается времени на очистки сточных вод, поэтому скорость ветра принимаем от 1м/с до 10м/с.

Данные получены экспериментальным путем.

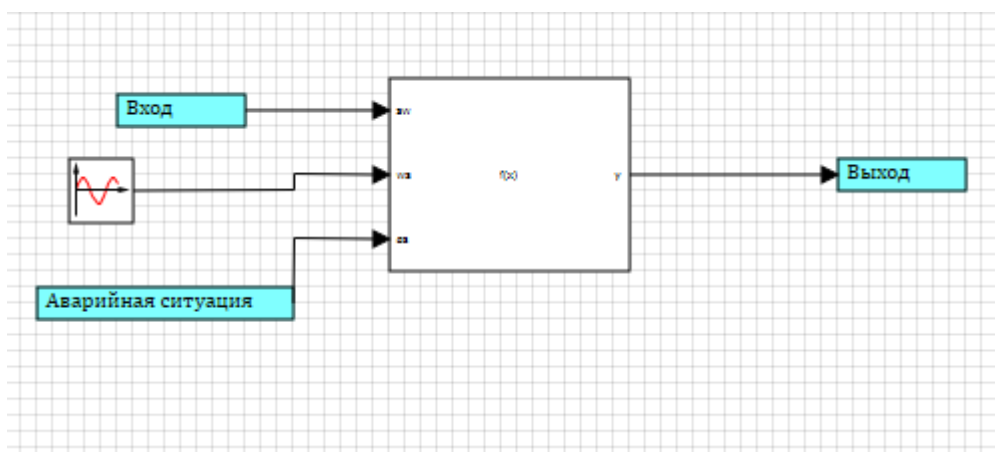


Рисунок 24 – Датчик аварийной ситуации

В субмодели «Блок управления» модулируется зависимость угла альфа и положения  $h$  от скорости ветра и температуры окружающей среды (рисунок 25). В данном блоке заложена логика процесса работы установки (скрипт работы алгоритма указан в Приложении Б), последовательность действий. Угол  $\alpha$  (отвечает за угол положения открывания крышки установки) принимаем от  $50^\circ$  до  $70^\circ$ , чем меньше скорость ветра, тем больше угол  $\alpha$ . Положение высоты  $h$ , отвечает, при какой высоте будет открываться крышка, при этом высота открывания крышки напрямую зависит от угла Альфа.

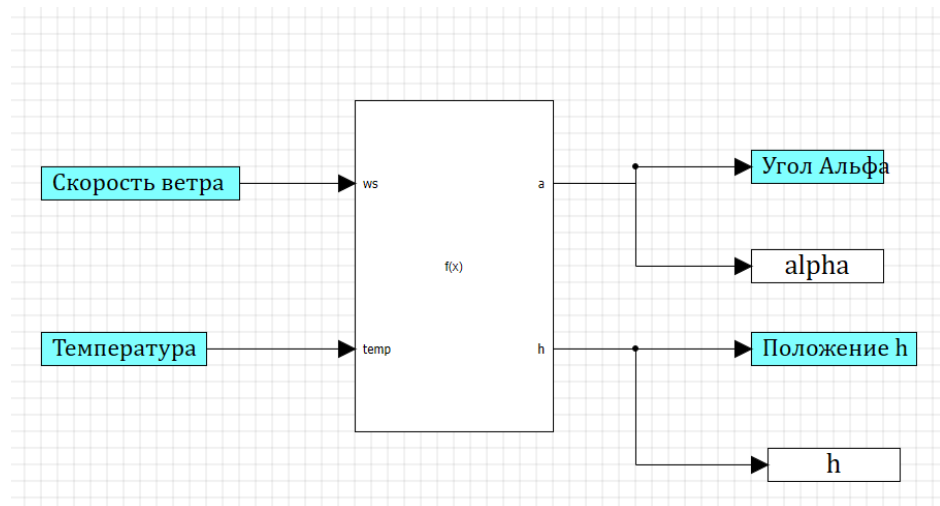


Рисунок 25 – Блок управления

На рисунке 26 располагается приборная панель пульта оператора. На приборной панели визуализации расположены:

- стрелочные приборы положения высоты  $h$  и значения угла альфа;
- индикатор аварийной ситуации;
- кнопки вкл/ выкл и кнопка включения аварийной ситуации;
- индикаторы заполнения отсеков очистки.

Индикатор аварийной ситуации может менять цвет, используются цвета красный и зеленый. Красный цвет означает, что включена аварийная ситуация, а зеленый, что аварийная ситуация выключена. Индикаторы отвечающие за заоплнение отсеков фильтрации воды используют белый и красный цвета. Белый цвет означает что отсек пустой, красный означает что отсек заполнен. Рядом располагается значения заполняемости отсеков.

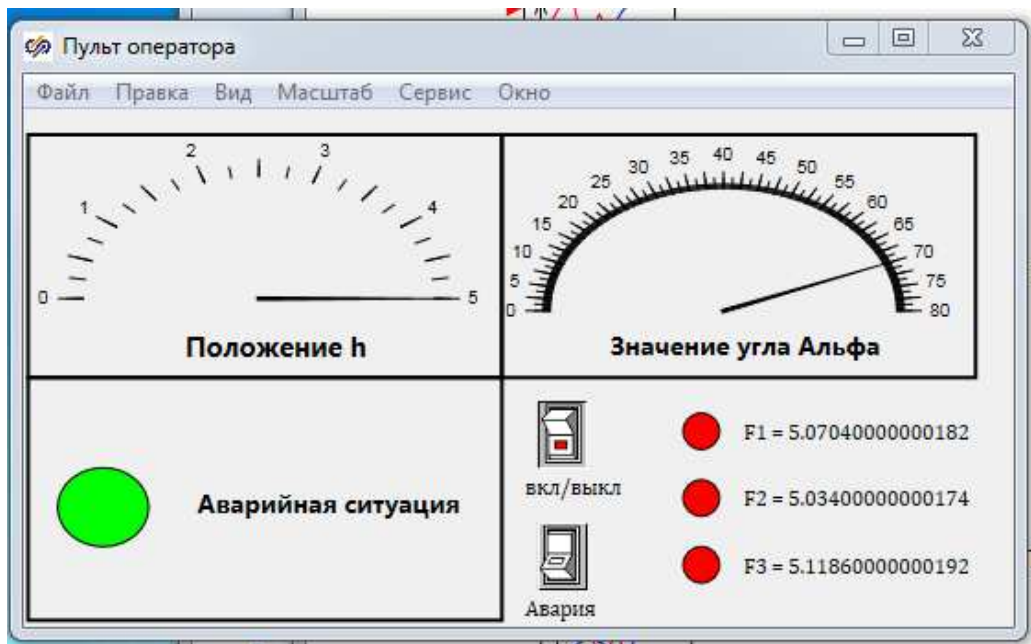


Рисунок 26 – Приборная панель пульта оператора

На рисунке 27 представлена иллюстрационная схема установки для очистки нефтесодержащих сточных вод. На рисунке видно, что установка в рабочем режиме и заполнены все отсеки. Значение угла Альфа составляет  $70^\circ$ , это означает что скорость ветра составляет не более  $10\text{ м/с}$ . Алгоритм работы установки указан в Приложение А.

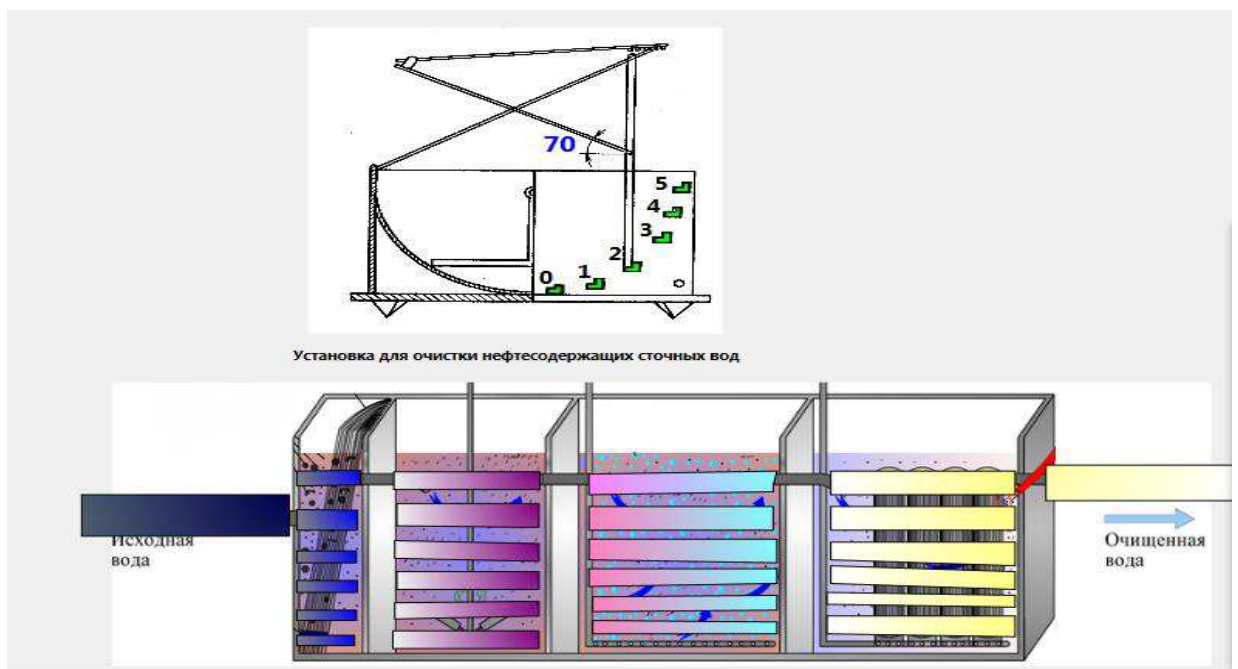


Рисунок 27 – Иллюстрационная схема с элементами анимации

На рисунке 28 представлен временной график зависимости между углом альфа (верхняя кривая) и скоростью ветра (нижняя кривая). Мы видим, что угол альфа может принимать одно из пяти положений, от  $50^\circ$  до  $70^\circ$ , чем меньше скорость ветра, тем больше угол альфа.

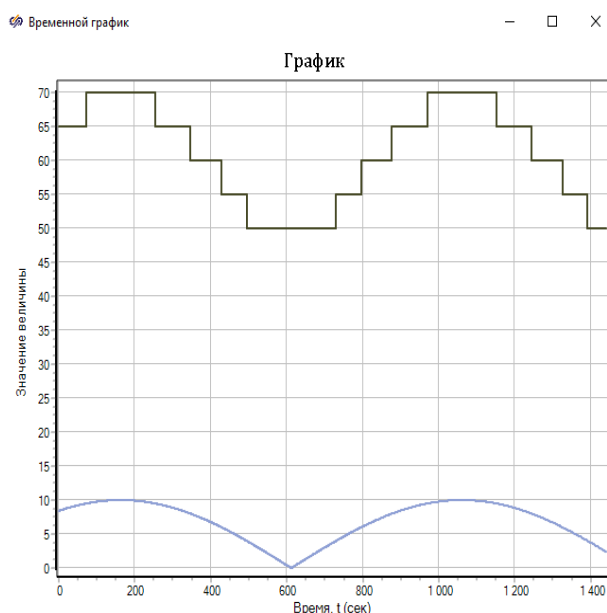


Рисунок 28 – Графики зависимости между углом альфа и скоростью ветра

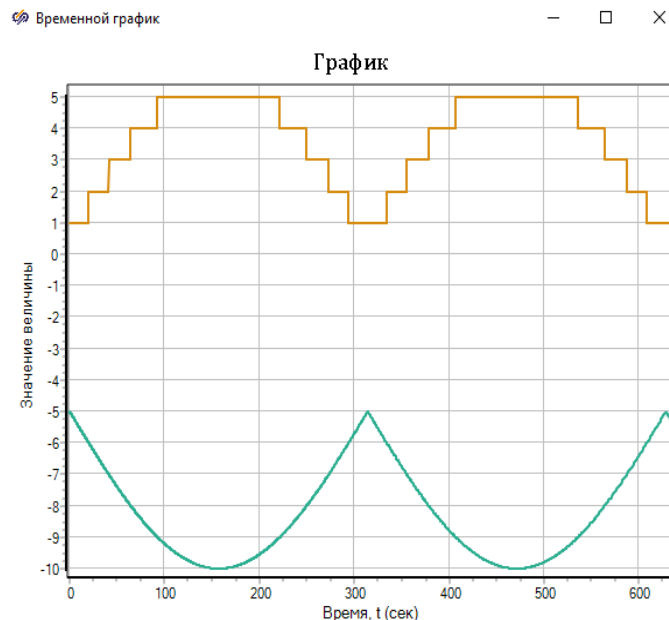


Рисунок 29 – График зависимости между положением высоты h и температурой

На рисунке 29 представлен временной график зависимости между положением высоты h (верхняя кривая) и температурой (нижняя кривая). Мы видим, что положением высоты h может принимать одно из пяти положений, от 1 до 5, а температура изменяется в зависимости от окружающей среды. В работе была указана температура от  $-5^\circ$  до  $-10^\circ$ , для четкого понимания и наглядной работы графиков.

### Моделирование аварийной ситуации

Из-за возможности появления высокой скорости ветра мы моделируем аварийную ситуацию, при которой, если скорость ветра становится больше



10м/с, то положения высоты  $h$  и угла альфа переходят в положение «0». Прекращается подача воды, оставшаяся вода в установке продолжает процесс очистки и происходит откачка воды из отсеков в каждой последовательности, до полного прекращения аварийной ситуации. Это делается для исключения повреждения конструкции установки.

Принцип действия автоматизированной системы в аварийной ситуации:

- 1) Загорается соответствующий индикатор.
- 2) Положение высоты  $h$  и угла альфа переходит в положение «0».
- 3) Прекращается подача воды.
- 4) Происходит откачка воды из всех отсеков.

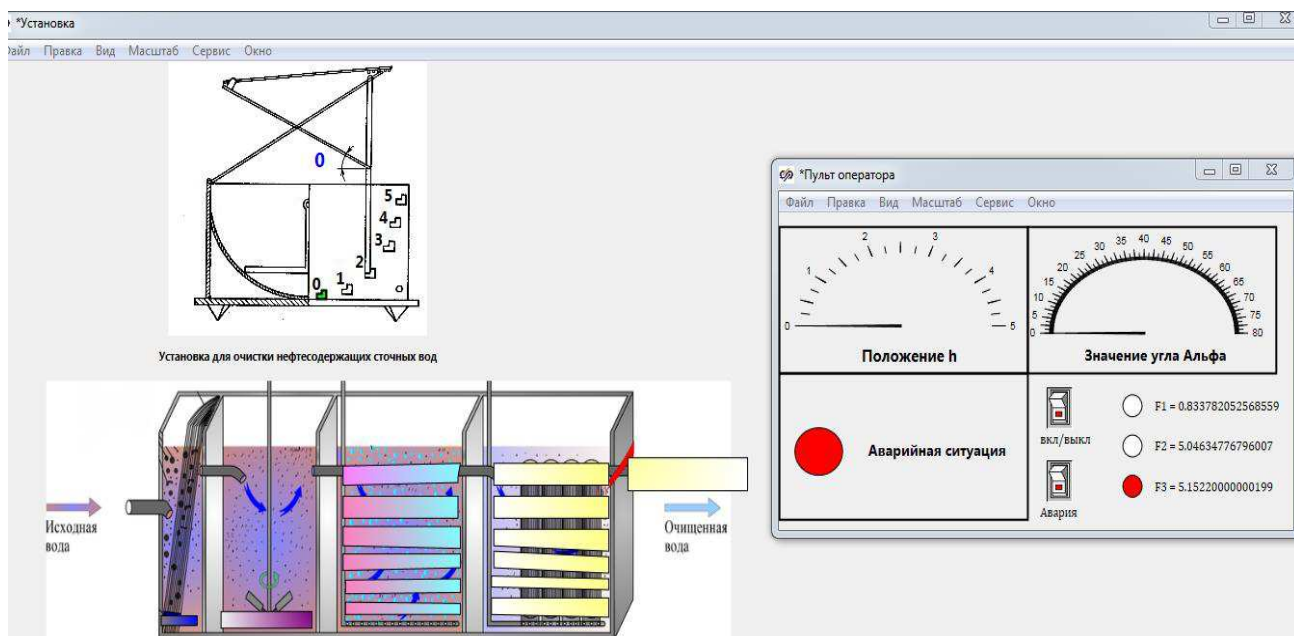


Рисунок 30 – Режим аварийной ситуации

На рисунке 30 изображена включенная аварийная ситуация. Мы видим, что прекращается подача воды и из последующих отсеков происходит откачка воды, отображая это все на приборную панель пульта оператора.

На рисунке 31 показано, что при отклонении заданных параметров от нормальных, то есть при скорости ветра больше 10м/с, происходит аварийная ситуация. Мы видим что на графике с температурой не меняется уровень самой

температуры, как было ранее сказано, температуру окружающей среды было взято в летнее время, и температура окружающей среды не влияет на установку.

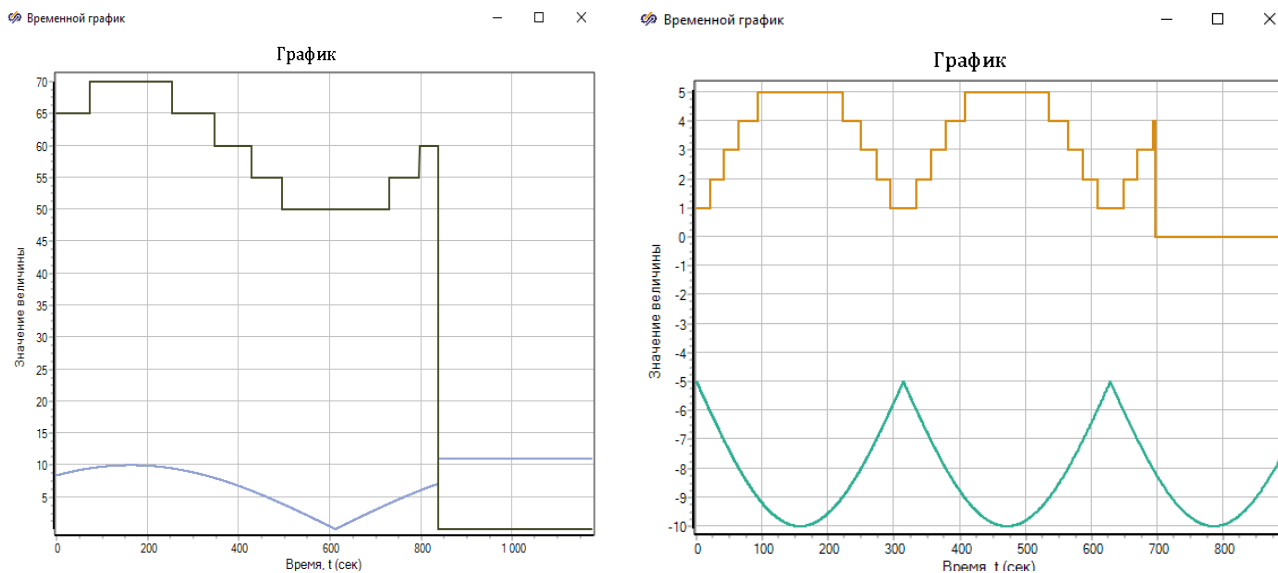


Рисунок 31 – Режим аварийной ситуации

### Выводы по главе 3

Были построены алгоритмы работы автоматизированного управления установки очистки нефтесодержащих сточных вод, что позволило создать модель управления с помощью, которой проведено моделирование системы управления установкой.

При возникновении аварийной ситуации система сигнализирует и производит автоматическую остановку подачи воды в установку, что является актуальным, поскольку реакция оперативного персонала может быть недостаточно быстрой для предотвращения аварии.

Были выбраны оптимальные параметры для визуального отображения принципа работы системы. Представлена графоаналитическая зависимость между входными и выходными параметрами.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный биосорбционный комплекс можно использовать для очистки природных вод в виде боновых заграждений.

Преимущество заявляемого технического решения заключается в повышении эффективности элементов установки для очистки нефтесодержащих сточных вод. Это обеспечивается за счет применения системы автоматического управления, обеспечивающей контроль за процессом очистки нефтесодержащих сточных вод и корректирующей направление движения воздушных потоков при изменении скорости ветра и температуры окружающей среды без непосредственного участия в управлении процессом сточных вод рабочего персонала, что в целом свидетельствует об увеличении производительности и эффективности установки для очистки сточных вод.

Предложена компьютерная модель системы автоматического управления элементами установки для очистки нефтесодержащих сточных вод.

Современные достижения в области автоматизации процессов очистки сточных вод, создают предпосылки необходимости проведения дополнительных научных исследований для поиска новых технических решений и разработки устройств управления технологическими процессами химических и нефтехимических предприятий.

Существует достаточно большое количество вариантов оборудования для очистки сточных пластовых вод перед закачкой их в пласт. Кроме перечисленных выше можно отметить использование вертикальных стальных резервуаров-отстойников (РВО) и напорных отстойников (НО) с напорными фильтрами и без них, нефтеловушек, прудов и т.д. Применение каждого из них обосновывается при проектировании системы сбора и подготовки месторождения в зависимости от ряда условий. По этой же причине различаются и средства автоматизации и контрольно-измерительные приборы, применяемые при очистке сточных пластовых вод.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

САУ – система автоматического управления

УУ – управляющее устройство

ОУ – объект устройства

ЗУ – заданное устройство

КПД – коэффициент полезного действия

РВО – резервуары отстойники

НО – напорные отстойники

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Пономарева, О.Г. Исследование процесса очистки нефтесодержащих сточных вод / О.Г. Пономарева. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=2311/7170>
- 2 Отраслевой стандарт ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству». – Утв. приказом Министерства нефтяной промышленности от 28.03.1988. №147. – введ. 01.07.1990
- 3 Кудинов, В.И. Основы нефтегазового дела / В.И. Кудинов. – Москва: Институт компьютерных исследований. – 2004. – 720 с.
- 4 Исакович, Р.Я. Контроль и автоматизация добычи нефти и газа : учеб. для техникумов / Р. Я. Исакович, В. Е. Попадько, 2-е изд., перераб. и доп. Москва, Недра 1985. – 351 с.
- 5 Сургучев, М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов / М.Л. Сургучев. – Москва: Недра, 1985. - 308 с.
- 6 Подготовка воды для заводнения нефтяных пластов требования, предъявляемые к воде, закачиваемой в пласт [Электронный ресурс] - Электрон. – Режим доступа: <http://www.svoruem.com/forum/5331.html>.
- 7 А.с. № 567675 СССР, кл. С 02 С 1/02, Установка для очистки сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.А. Феофанов, Е.Б. Шкурикова, (СССР). - №3223224/29-26; заявл. 24.12.80; опубл. 23.06.82, Бюл. № 23. – 2 с.
- 8 Arduino [Электронный ресурс] // Сайт компании Arduino. – Режим доступа: <http://arduino.ru>
- 9 Оксененко, А.Я. / Цилиндры гидравлические. Выбор, монтаж, эксплуатация: методические рекомендации / А.Я. Оксененко. – Москва: ВНИИТИМР, 1988. – 56 с.

- 10 Бондарев, В.П. / Концепции современного естествознания: учебник / В.П. Бондарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Альфа-М, – 2011. – 175 с.
- 11 Самарский, А.А. / Математическое моделирование: идеи, методы, примеры/ А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – 2-е изд. испр. – Москва: ФИЗМАТЛИТ. – 2005. — 6 с.
- 12 СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99; введ. 01.01.2013. – Москва, 2012. – 13 с.
- 13 СТО 4.2 07 2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2 07 2012; дата введ. 09.01.2014. – Красноярск, 2014. – 60 с.
- 14 Технологические основы и моделирование процессов промышленной подготовки нефти и газа: учебное пособие / А. В. Кравцов, Н.В. Ушева, Е.В. Бешагина, О.Е. Мойзес, Е.А. Кузьменко, А.А. Гавриков. – Томск: изд. Томского Политехнического университета, 2012. – 128 с.
- 15 ГОСТ 31378-2009 Нефть. Общие технические условия; введ. 01.01.2013. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 12 с.
- 16 Антамошин, А.Н. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / А.Н. Антамошин, О.В. Близнова, А.В. Бобов, Большаков А.А. - Москва: РиС, 2016. - 160 с.
- 17 Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ) / И.Ф. Бородин. - Москва: КолосС, 2006. - 352 с.
- 18 Долина, Л.Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод: монография. / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Континент, 2005. - 296 с.
- 19 Пат. 2045334 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> В 01 J 20/20. Фильтрующий сорбент для очистки воды от нефтепродуктов / Д.В. Агафонов,

Р.В. Сибиряков; заявитель и патентообладатель Агафонов, Д.В., Сибиряков, Р.В. – № 5042931/26; заявл. 10.04.1995; опубл. 10.10.1995, Бюл. № 10. – 3. с.

20 Построение модели черного ящика [Электронный ресурс] / Сайт Системный анализ. – Режим доступа: <https://victor-safronov.ru/systems-analysis/lectures/zhivickaya/05.html>.

21 Модульные установки очистки сточных вод [Электронный ресурс] / Сайт компании ВАГНЕР-Екатеринбург – Режим доступа: <https://vagner-ural.ru/informaciya/ochistka-vody-stati/modulnye-ustanovki-ochistki-stochnyh-vod/>.

## 22 ПРИЛОЖЕНИЕ А

Скрип окна анимации, с помощью скрипта читается алгоритм для работы установки. Данный скрип позволяет понять с какой последовательностью будет проходить очистка нефтесодержащих сточных вод и прописан алгоритм апри включении аварийной ситуации.

### **initialization**

```
Polygon7.Opacity = 1
Polygon8.Opacity = 0
Fil1 = 0;
Fil1a = 0;
Fil2 = 0;
Fil2a = 0;
Fil3 = 0;
Fil3a = 0;
Polygon24.Opacity = 0
Polygon23.Opacity = 0
Polygon22.Opacity = 0
Polygon21.Opacity = 0
Polygon20.Opacity = 0
Polygon19.Opacity = 0
Polygon30.Opacity = 0
Polygon29.Opacity = 0
Polygon28.Opacity = 0
Polygon27.Opacity = 0
Polygon26.Opacity = 0
Polygon25.Opacity = 0
Polygon36.Opacity = 0
Polygon35.Opacity = 0
Polygon34.Opacity = 0
Polygon33.Opacity = 0
Polygon32.Opacity = 0
Polygon31.Opacity = 0
end;
```

```
as.color = 65280
if h = 0 then
as.color = 255;
TextLabel2.Text = Alpha
```

### **Включение аварийной ситуации**

```
begin
if g = 0 then Polygon7.Opacity = 1
if g = 1 then
begin
Fil1 = 1
Fil2 = 1
Fil3 = 1
Fil4 = 1

Polygon7.Opacity = 0
end

if h < 1 then Fil1 = 0
if Fil1a < 1 then Fil2 = 0
if Fil2a < 1 then Fil3 = 0
if Fil3a < 1 then Fil4 = 0
end

if Fil4 = 1 then Polygon8.Opacity = 1
```

```

begin
if h >= 0 then Polygon6.Opacity = 1
if h >= 1 then Polygon5.Opacity = 1
if h >= 2 then Polygon4.Opacity = 1
if h >= 3 then Polygon3.Opacity = 1
if h >= 4 then Polygon2.Opacity = 1
if h >= 5 then Polygon.Opacity = 1
if h < 0 then Polygon6.Opacity = 0
if h < 1 then Polygon5.Opacity = 0
if h < 2 then Polygon4.Opacity = 0
if h < 3 then Polygon3.Opacity = 0
if h < 4 then Polygon2.Opacity = 0
if h < 5 then Polygon.Opacity = 0
if h >= 0 then Polygon18.Opacity = 1
if h >= 1 then Polygon17.Opacity = 1
if h >= 2 then Polygon16.Opacity = 1
if h >= 3 then Polygon15.Opacity = 1
if h >= 4 then Polygon14.Opacity = 1
if h >= 5 then Polygon13.Opacity = 1
if h < 0 then Polygon18.Opacity = 0
if h < 1 then Polygon17.Opacity = 0
if h < 2 then Polygon16.Opacity = 0
if h < 3 then Polygon15.Opacity = 0
if h < 4 then Polygon14.Opacity = 0
if h < 5 then Polygon13.Opacity = 0
if h = 5 then Fill = 1
end;

```

```

if Fill >= 1 then

```

```

begin
if Filla > 0 then Polygon24.Opacity = 1
if Filla > 1 then Polygon23.Opacity = 1
if Filla > 2 then Polygon22.Opacity = 1
if Filla > 3 then Polygon21.Opacity = 1
if Filla > 4 then Polygon20.Opacity = 1
if Filla > 5 then Polygon19.Opacity = 1
if Filla = 0 then Polygon24.Opacity = 0
if Filla < 1 then Polygon23.Opacity = 0
if Filla < 2 then Polygon22.Opacity = 0
if Filla < 3 then Polygon21.Opacity = 0

```

```
if Fil1a < 4 then Polygon20.Opacity = 0
if Fil1a < 5 then Polygon19.Opacity = 0
if Fil1a > 5 then Fil2 = 1
end;
```

```
if Fil2 >= 0 then
```

```
begin
if Fil2a > 0 then Polygon30.Opacity = 1
if Fil2a > 1 then Polygon29.Opacity = 1
if Fil2a > 2 then Polygon28.Opacity = 1
if Fil2a > 3 then Polygon27.Opacity = 1
if Fil2a > 4 then Polygon26.Opacity = 1
if Fil2a > 5 then Polygon25.Opacity = 1
if Fil2a = 0 then Polygon30.Opacity = 0
if Fil2a < 1 then Polygon29.Opacity = 0
if Fil2a < 2 then Polygon28.Opacity = 0
if Fil2a < 3 then Polygon27.Opacity = 0
if Fil2a < 4 then Polygon26.Opacity = 0
if Fil2a < 5 then Polygon25.Opacity = 0
if Fil2a > 5 then Fil3 = 1
end;
```

```
if Fil3 >= 0 then
```

```
begin
if Fil3a > 0 then Polygon36.Opacity = 1
if Fil3a > 1 then Polygon35.Opacity = 1
if Fil3a > 2 then Polygon34.Opacity = 1
if Fil3a > 3 then Polygon33.Opacity = 1
if Fil3a > 4 then Polygon32.Opacity = 1
if Fil3a > 5 then Polygon31.Opacity = 1
if Fil3a > 5 then Polygon8.Opacity = 1
if Fil3a = 0 then Polygon36.Opacity = 0
if Fil3a < 1 then Polygon35.Opacity = 0
if Fil3a < 2 then Polygon34.Opacity = 0
if Fil3a < 3 then Polygon33.Opacity = 0
if Fil3a < 4 then Polygon32.Opacity = 0
if Fil3a < 5 then Polygon31.Opacity = 0
if Fil3a < 5 then Polygon8.Opacity = 0
end;
```



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Скрип блока управления. Обозначены входные и выходные параметры, также проведена логика между ними.

```
input ws;  
input temp;
```

```
output a;  
output h = 1;
```

```
if temp < -5  
then h = 1;  
if temp < -6  
then h = 2;  
if temp < -7  
then h = 3;  
if temp < -8  
then h = 4;  
if temp < -9  
then h = 5;
```

```
if ws > 2  
then a = 50;  
if ws > 4  
then a = 55;  
if ws > 6  
then a = 60;  
if ws > 8  
then a = 65;  
if ws > 9.5  
then a = 70;  
if ws > 10  
then a = 0;  
if ws > 10  
then h = 0;
```

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»


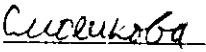
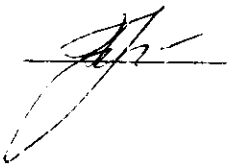
Институт космических и информационных технологий  
Кафедра «Системы автоматизации, автоматизированное управление  
и проектирование»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
С.В. Ченцов  
«15» 06 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

**АТОМАТИЗАЦИЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ  
СТОЧНЫХ ВОД**

Руководитель		15.06.2021 г.	ст. преп. каф. СААУП И.В. Солопко
Выпускник		15.06.2021 г.	Д.Е. Смоликова
Нормоконтролер		15.06.2021 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2021