

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

Тайлақ Алдияр Сәкенұлы

Исследование системы автоматического регулирования процессом переработки  
нефти на нефтехимическом заводе

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В070200 – Автоматизация и управление

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой АиУ  
кандидат физ-мат. наук  
ассоциированный профессор  
Алдияров Н.У.  
«11» 05 2022 г.



**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Исследование системы автоматического регулирования процессом  
переработки нефти на нефтехимическом заводе»

По специальности 5В0700 – Автоматизация и управление

Выполнил

Тайлак А.С.

Рецензент

Доктор PhD, зав. кафедрой

ЭМиЭЦ, АУЭиС

Шыныбай Ж.С.

(подпись)

«11» 05 2022 г.

Научный руководитель

канд. техн наук,

ассистент профессор

Сарсенбаев Н.С.

(подпись)

«11» 05 2022 г.



# МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
Имени К.И.Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ  
кандидат физ-мат. наук,  
ассоциированный профессор  
Алдияров Н.У.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.



## ЗАДАНИЕ

### на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Тайлак А.С.

Тема: Исследование системы автоматического регулирования процессом переработки нефти на нефтехимическом заводе.

Утвержден приказом ректора Университета № 489-П/Ө, от «24» декабря 2021 г.  
Срок сдачи законченной работы «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Исходные данные дипломной работы: функциональная схема автоматизации установки комплексно подготовки нефти на нефтехимическом заводе и математическое описание элементов структурной схемы.

Перечень подлежащих разработке в дипломной работе вопросов или краткое содержание дипломной работы: а) происхождение нефти, процессы ее добычи и описание технологий переработки на НПЗ; б) изучение принципов работы установок комплексной подготовки нефти; в) разработка алгоритма управления; г) математическое описание системы и оценка ее устойчивости д) охрана труда и техника безопасности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): функциональная схема установки комплексной подготовки нефти.

Рекомендуемая основная литература:

1 Б.И. Бондаренко. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. М., 2003.– 8 с.



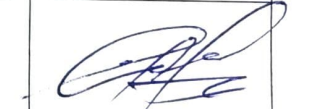
2 Е. Л. Сотскова – «Основы автоматизации технологических процессов переработки нефти и газа», 2014 – 110 с.

**ГРАФИК**  
Подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретическая часть	21.02.22	
Практическая часть	25.03.22	

**Подписи**

Консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретическая часть	Н.С. Сарсенбаев, канд.техн.наук, ассистент профессор	21.02.22	
Практическая часть	Н.С. Сарсенбаев, канд.техн.наук, ассистент профессор	25.03.22	
Нормоконтроллер	А.М.Искакова, магистр тех.наук., лектор	13.05.22	

Научный руководитель \_\_\_\_\_  Сарсенбаев Н.С.

Задание принял к исполнению обучающийся \_\_\_\_\_  Тайлақ А.С.

Дата

«20» 01 2022 г.



## АНДАТПА

Дипломдық жұмыс мұнай-химия зауытындағы мұнай өңдеу процестерін автоматты басқару жүйесін зерттеуге арналған. Зерттеу нысаны ретінде кешенді мұнай өңдеу қондырғысының құрамына кіретін тұндырғыш таңдалды. Қондырудың функционалдық сұлбасы бойынша автоматты басқару жүйелерін зерттеу мақсатында автоматтандырудың техникалық құралдары кешені таңдалып, зерттелді. Су деңгейін реттеудің құрастырылған алгоритмінің және блок-схема элементтерінің математикалық сипаттамасының көмегімен жүйенің моделі қалыптастырылды.

“MATLAB” ортасында процестің өтпелі сипаттамалары алынды және жалпы жүйенің тұрақтылығына талдау жасалды. Сондай-ақ, алынған нәтижелер бойынша жүйенің сапаларын тікелей бағалауға талдау жасалды. Басқару процесінің сапасын жақсарту үшін контроллер синтезделді және оның жүйеге әсері талданды.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена исследованию системы автоматического регулирования процессов переработки нефти на нефтехимическом заводе. В качестве объекта исследования был выбран отстойник входящий в состав установки комплексной подготовки нефти. По функциональной схеме установки с целью изучения систем автоматического регулирования, был подобран и изучен комплекс технических средств автоматизации. С помощью составленного алгоритма регулирования уровня воды и математическому описанию элементов структурной схемы, была сформирована модель системы.

В среде “MATLAB” были получены переходные характеристики процесса и был проведен анализ устойчивости системы в целом. Также на основе полученных результатов был проведен анализ прямых оценок качеств системы. С целью улучшения качества процесса управления был синтезирован регулятор и было проанализировано его влияние на систему.

## ANNOTATION

The thesis is devoted to the study of the automatic control system for oil refining processes at a petrochemical plant. The settling tank, which is part of the complex oil treatment plant, was chosen as the object of study. According to the functional diagram of the installation, in order to study automatic control systems, a complex of technical means of automation was selected and studied. With the help of the compiled algorithm for regulating the water level and the mathematical description of the elements of the block diagram, a model of the system was formed.

In the “MATLAB” environment, the transient characteristics of the process were obtained and an analysis of the stability of the system as a whole was carried out. Also, on the basis of the results obtained, an analysis of direct assessments of the system's qualities was carried out. In order to improve the quality of the control process, a controller was synthesized and its influence on the system was analyzed.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
1 Теоретическая часть	11
1.1 Происхождение нефти	11
1.2 Добыча нефти	13
1.3 Общее описание процесса переработки нефти на НПЗ	15
1.4 Подготовка нефти на промыслах	17
1.5 Стабилизация нефти	19
2 Основная часть	21
2.1 Обезвоживание и обессоливание нефти на НПЗ	21
2.2 Технология обезвоживания и обессоливания нефти	23
2.3 Установка обессоливания и обезвоживания нефтей на НПЗ	30
2.4 Система автоматизации переработки нефти	34
2.5 Структурная схема АС	36
3 Описание комплекса технических средств	37
3.1 Контроллерное оборудование	37
3.2 Датчик расхода	39
3.3 Датчик уровня	41
3.4 Датчик давления	43
4 Выбор исполнительных устройств	45
4.1 Задвижка	45
4.2 Насос	47
5 Расчетная часть	48
5.1 Построение структурной схемы и получение передаточных функций	48
5.2 Исследование устойчивости разомкнутой и замкнутой САР первым методом Ляпунова	50
5.3 Исследование устойчивости разомкнутой САР критерием Гурвица и Михайлова	54
5.4 Определение предельного коэффициента усиления замкнутой САР критериями Гурвица	56
5.5 Исследование устойчивости замкнутой САР критерием Найквиста	57
5.6 Прямые оценки качества системы и процесс синтеза регулятора	58
Заключение	64
Список использованной литературы	65
Приложение А	66
Приложение Б	67



## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день уровень потребления энергии той или иной страны стал важнейшим показателем степени её развитости. И в мире в большинстве случаев подобное потребление удовлетворяют за счет нефти и газа

**Актуальность.** Казахстан входит в топ 12 стран по запасам нефти в мире и нефтепереработка ведется лишь на трех нефтеперерабатывающих заводах. Обладая такими запасами нефти и растущей нагрузкой на нефтеперерабатывающие заводы необходимо правильное, а главное, качественное управление технологическими процессами нефтепереработки. Несомненно, это достигается лишь с помощью автоматизации, которая на сегодняшний день является неотъемлемой частью современного производства. Сам процесс переработки нефти в большинстве своем имеет непрерывный характер и при автоматизации процесса большое значение имеет частный случай управления – регулирование. При этом задача управления сводится к поддержанию заданных технологических параметров процесса.

В качестве объекта исследования была выбрана установка комплексной подготовки нефти, применяемая на Казахстанских нефтеперерабатывающих заводах.

**Цель работы.** Цель работы заключается в исследовании системы автоматического регулирования процесса переработки нефти на примере установки комплексной подготовки, часто применяемых на современных нефтехимических заводах.

**Задачи для выполнения.** Для реализации подобной задачи необходимо полное понимания исследуемого технологического процесса. Таким образом, задачи исследования будут следующие:

- изучение технологического процесса;
- получение функциональной схемы автоматизации;
- разработка алгоритма управления технологического параметра;
- определение математической модели объекта исследования;
- анализ устойчивости системы и синтез регулятора.

## 1 Теоретическая часть

### 1.1 Происхождение нефти

Как известно, существуют три породы составляющие земную кору и в зависимости от их происхождения они делятся на: изверженные, осадочные и метаморфические. В результате разлива из Земли расплавленной магмы и дальнейших процессов ее охлаждения и затвердения образовались изверженные породы, которые составляют основную массу земли. Особенностью таких пород является их кристаллическое строение в которых практически отсутствуют поры. К примерам изверженных пород можно отнести гранит, сиенит, базальт, андезит, диабазы и др. На рисунке ниже показаны естественные скопления нефти и газа.

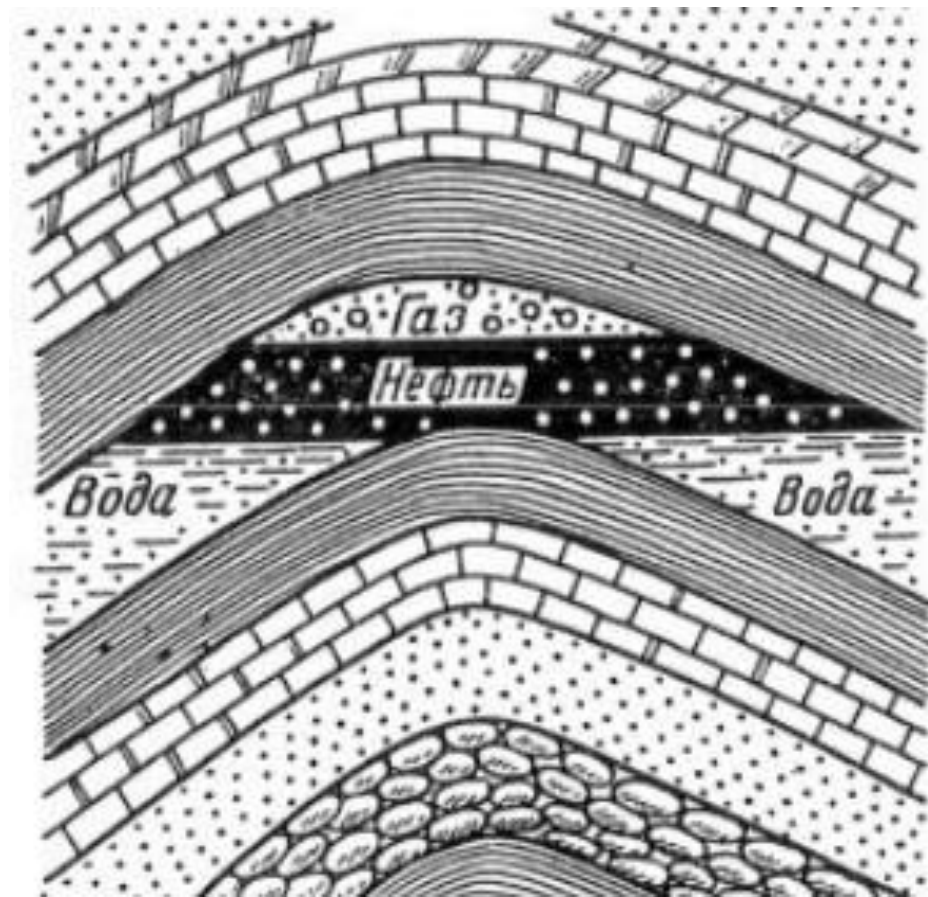


Рисунок 1 – Естественные скопления нефти и газа

В свою очередь осадочные породы образовались за счет осаждения органических и неорганических веществ. Образование осадочных пород можно объяснить следующим образом: изверженные породы вместе с остатками животных и растительных организмов постепенно осаждались образовывали слои и пласты что привело к образованию осадочных пород [1].

Под действием сильного давления раскаленных паров и газов а также тектонических процессов происходило изменение структуры ранее образованных изверженных и осадочных пород. Данные процессы привели к образованию новых пород , которые принято называть метаморфическими .

Как правило, запасы нефти и газа в основной своей массе содержатся в осадочных породах( в песках, известняках ,песчаниках и конгломератах) А в изверженных и метаморфических породах нефть встречается но редко и промышленного значения не имеет

В зависимости от того что содержится в породе залежи подразделяют на нефтяные и газовые . В случае если в породе только газ , то такую залежь принято называть газовой. А если в залежи присутствуют и нефть , и газ в свободном состоянии, то такая залежь называется нефтегазовой . Пласт нефтяной заляжи сверху и снизу ограничивается непроницаемыми породами , такими как глина , которые не позволяют нефти растечься в земной коре.

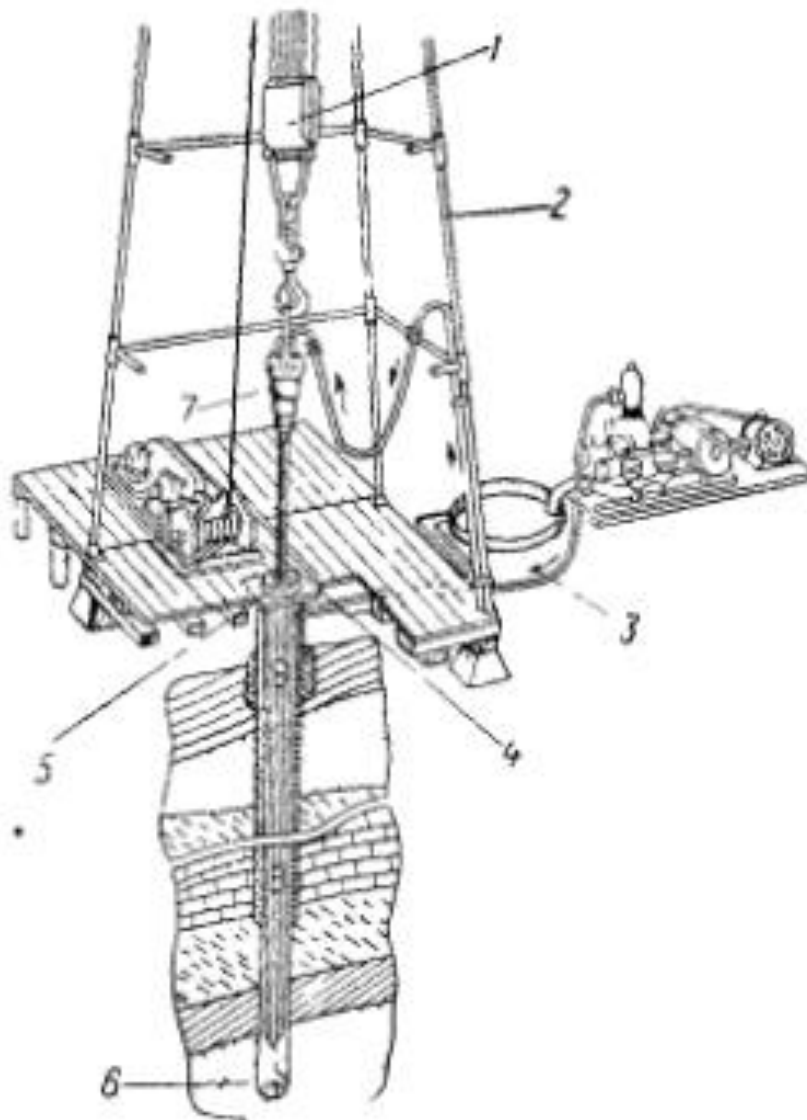
## 1.2 Добыча нефти

Ни для никого не секрет , для того чтобы извлечь нефть необходимо пробурить скважину и глубины скважин варьируются от несколько сотен метров до десятков километров. На сегодняшний день на территории Казахстана основным способом бурения является вращательный способ . Для реализации данного метода бурения сооружают металлическую буровую вышку высотой до 40 м. В центре внизу вышки устанавливают вращающийся «стол» он же ротор и в отверстие стола вставляется ведущая труба квадратного сечения и к ней же приваривают бурильные трубы. «Долот» бурильный инструмент (рисунок ниже) устанвливают на конец нижней трубы.



Рисунок 2 – Долоты

При бурении происходит вращение долота и он разрушает горную породу. В свою очередь это приводит к необходимости удаления раздробленной породы из скважины и к необходимости охлаждения долота в следствии его трения об горные породы. С этой целью в колонну буровых труб подают мощным насосом под высоким давлением глинистый раствор, который вымывает породу на поверхность и охлаждает долот [3].



1 – талевый блок; 2 – вышка; 3 – шланг для глинистого раствора; 4 – квадратная труба; 5 – ротор; 6 – долот; 7 – вертлюг.

Рисунок 3 – Схема установки для вращательного бурения скважин

По мере углубления скважины колонны труб, привинчивается одна к другой и может достигать нескольких километров. Данный метод имеет значительный

недостаток , который заключается в том что при вращении колонны труб вес которых достигает более 100т приходится расходовать много энергии.

### **1.3 Общее описание процесса переработки нефти на НПЗ**

На сегодняшний день Казахстан является одной из нефтедобывающих стран Мира. В Казахстане наибольшее количество месторождений нефти и газа расположены в юго-восточной и восточной частях Прикаспийской нефтегазоносной провинции. Наибольшая добыча углеводородов ведется в Атырауской области. Именно здесь добыча нефти осуществляется с 1912 года (Доссор). Второе месторождение по величине объемам добыче нефти и газа за Актюбенской областью, а третье за Западно-Казахстанскими областями.

В Атырауской области расположены такие нефтяные гиганты как Кашаган и Тенгиз. А в свою очередь в Актюбинской области расположены крупные подсолевые месторождения такие как: Жанажол, Кенкияк Урихтау, Алибекмола, Акжар, Шубаркудук и другие.

Как известно, нефтеперерабатывающая промышленность это в первую очередь тяжелая промышленность которая охватывает два основных процесса:

- переработка нефти и газового конденсата;
- создание высококачественных нефтепродуктов.

К таким продуктам относятся : моторные топлива, смазочные масла, битумы, нефтяной кокс, парафины, растворители нефтехимическое сырье и товары бытового потребления.

Промышленная переработка нефти и газ осуществляется на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). Сам процесс переработки нефти и газа на НПЗ является сложным и многоступенчатым процессом, который включает в себя физические и химические переработки на отдельных технологических установках.

На сегодняшний день существуют следующие направления переработки нефти:

- Топливное
- Топливо-масляное
- Нефтехимическое или комплексное

Топливное направление переработки подразумевает переработку нефти и газа в моторное и котельное топливо. Процессы переработки нефти на подобных НПЗ в основном бывают двух видов: глубокой переработки и неглубокой переработки. Отличительной особенностью подобных НПЗ является небольшое количество технологических процессов и узкой линейкой выпускаемых нефтепродуктов. Обычно на подобных НПЗ выход моторных топлив в процессе переработки

находится в пределах 55-60% масс и основной массе зависит от фракционного состава исходного сырья.

В случае глубокой переработки, когда ставится задача получить наивысший выпуск высококачественных моторных топлив, используют остаток атмосферной и вакуумной перегонки. При таком методе глубина переработки нефти обычно составляет 70-90% масс.

Топливо-масляное направление переработки подразумевает переработку нефти не только в моторное топливо, а также переработку нефти в различные сорта масел.

Нефтехимическое направление переработки подразумевает помимо производства моторных топлив и масел, производство сырья для нефтехимии. Это могут быть ароматические углеводороды, сырье для пиролиза, парафины и другие. На выбор вышеописанных направлений переработки на НПЗ прежде всего влияют такие показатели как качество нефти, требования к качеству товарных нефтепродуктов и спроса к нефтепродуктам в районе где находится НПЗ. Основным процессом НПЗ подобного профиля является атмосферная прямая перегонка нефти в результате которого идет получение бензина, керосино-солярной фракции, лигроина и мазута

В приложении А приведена схема переработки сырой нефти на НПЗ, бензин прямой перегонки может использоваться как компонент товарных продуктов. В случае если после прямой перегонки октановое число бензина высокое, то он может быть использован как основной компонент авиационного бензина.

В свою очередь лигроин прямой перегонки подвергают реформингу, с целью получения следующих фракций:

- Сухого газа
- Жидкой «головки»(фракция содержащая в основном бутаны, бутены, пропан и пропен) или головная фракция
- Дебутанизированный бензин с повышенным октановым числом
- Остаток

В результате реформинга жидкая «головка»(головная фракция ) подается в газофракционирующую установку, а дебутанизированный бензин далее используется как компонент для приготовления товарного автомобильного бензина.

Полученная в результате прямой перегонки керосино-солярная фракция направляется в установку каталитического крекинга. В результате процесса крекинга получают жирный газ , нестабильный бензин и каталитический газойль. После газ и бензин направляются на газофракционирование, а каталитический газойль на термический крекинг.

Полученный в результате прямой перегонки мазут вместе каталитическим газом вместе образуют сырье для термического крекинга. Продуктами

термического крекинга являются сухой газ, жидкая «головка», дебутанизованный бензин и крекинг-остаток.

Освобожденный на газофракционирующей установке от бутана и более легких углеводородов, бензин каталитического крекинга, поступает на установку каталитической очистки. В результате очистки получают очищенный бензин, легкую легированную фракцию и остаток. После жирный газ и нестабильный бензин каталитической очистки передается на ГФУ. В свою очередь легированная фракция направляется в состав автомобильного бензина, а остаток откачивают в емкость котельного топлива.

Сама газофракционирующая установка в процессе работы выпускает следующие полу-продукты:

- Сухой газ топливного назначения
- Сырье каталитической очистки
- Основной компонент авиационного бензина
- Изопентан
- Бутан-бутеновую фракцию

Основной компонент авиационного бензина и изопентан идут на смешение для получения авиационного бензина. Бутан-бутеновая фракция является сырьем для установки алкилирования и на установке получают легкий и тяжелый алкилат и н-бутан. После этого легкий алкилат направляется в авиационный бензин, а тяжелый алкилати бутан включаются в состав автомобильного бензина.

Как итог, в результате процесса в состав товарных нефтепродуктов таких как авиационный бензин входят бензин каталитической очистки, легкий алкилат и изопентан. А товарный автомобильный бензин получается за счет смешения бензина прямой перегонки, бензина термического крекинга, легкого лигроина каталитической очистки, тяжелого алкилата и бутана.

На НПЗ основную массу бутенов получают на установках термического крекинга, а подавляющее количество изобутана – на установках каталитического крекинга и каталитической очистки. Как видно из схемы дебутанизация бензинов производится для обеспечения установок алкилирования сырьем. Согласно условиям технологии и товарных норм процесс дебутанизации бензинов каталитических процессов является обязательной нормой, но процесс дебутанизации бензинов лишает эти бензины пусковых качеств. Поэтому возврат н-бутана, который остался неизменным после алкилирования обязателен для получения автомобильного бензина.

#### **1.4 Подготовка нефти на промыслах**

При добыче нефти, как правило, попутно с добываемой нефтью из скважины выходят углеводородный газ, пластовая вода, соли и механические



примеси и другие соединения . Обычно в задачи промышленной подготовки нефти входят такие процессы как :отделение от нефти основной части газа , воды , солей и механических примесей. Как правило подобные процессы доводят до определенных требований стандартов , которые нормируются ГОСТ-ами.

На месторождениях в зависимости от их масштаба, режима функционирования скважин , содержания газа и солей и степени технической оснащенности применяют разнообразные схемы следующих процессов: разделения нефти от попутного нефтяного газа, обезвоживания и обессоливания нефти , удаления из попутного газа сернистых соединений

От сырой нефти отделяют примеси(газ, вода соль и другие) тем самым получают стабильную нефть, готовую к транспорту на крупные НПЗ

Обычно на промыслах используют многоступенчатые узлы сепарации через которые проходит добытая нефть. Данные многоступенчатые узлы применяются для отделения попутного газа от нефти с помощью понижения давления процесса. Как уже говорилось ранее, подготовка нефти к переработке начинается с нефтепромыслов . Вначале в отстойниках отделяется пластовая вода, так как вода и нефть нерастворимы с друг другом основная часть воды легко отделяется от нефти. Однако из-за интенсивного перемешивания вода и нефть образуют эмульсию (дисперсную смесь) и в отстойниках не происходит полного разделения воды от нефти. Данную эмульсию можно разделить в специальных аппаратах–в электродегидраторах в две стадии(1-ая стадия на промысле, вторая на НПЗ)[2].

Схема подготовки нефти на промыслах можно представить схематично рисунок ниже

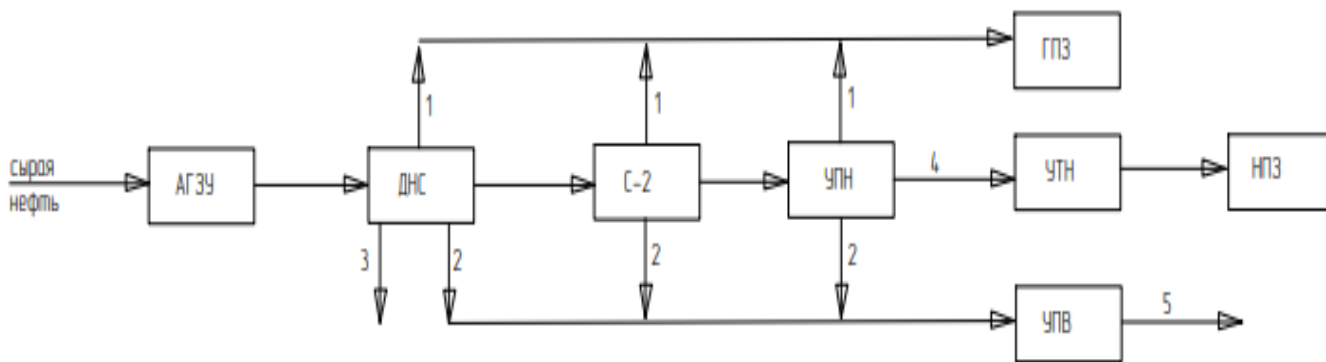


Рисунок 5 – Схема подготовки нефти на промыслах

Как видно из рисунка выше , вначале нефть из скважин попадает на автоматизированные группы замерных установок , которые в реальном времени замеряют дебит каждой скважины. После сырая нефть каналом поступает на

дожимную насосную станцию (ДНС), на которой с помощью ступеней сепараций происходит предварительное отделение воды и механических примесей.

Далее нефть с остатками пластовой воды и газа попадает на ступень С-2 где отделяется еще большая часть воды и газа и водонефтяная эмульсия направляется на электродегидраторы установки подготовки нефти. В свою очередь на УПН при температуре 120 °С с помощью деэмульгаторов уменьшается содержание воды и солей. После на установке сдачи товарной нефти (УТН) нефть по магистральным нефтепроводам направляется на НПЗ

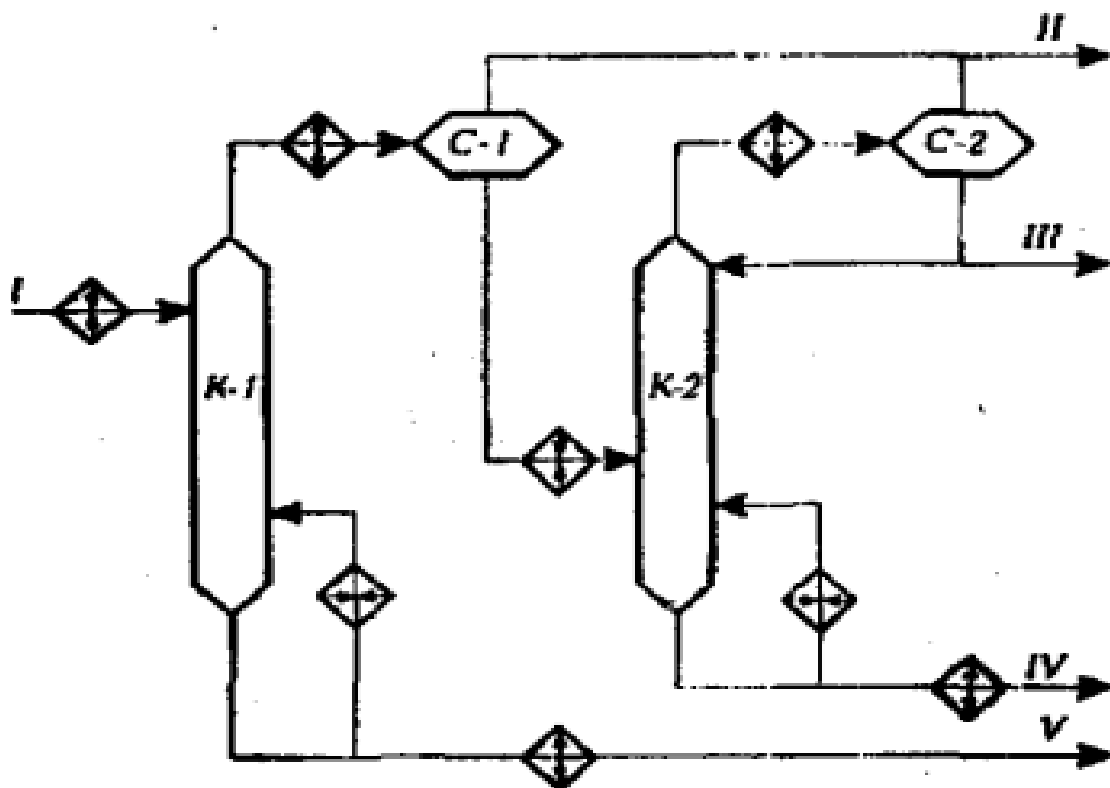
На промысле при подготовке содержание солей снижается до 40-1800 мг/л при остаточном содержании воды 1,0-2,0 мас % и выше. Финальное обессоливание и обезвоживание нефти завершается на НПЗ и содержание солей и воды снижается до 5 мг/л и 0,2 мас.% соответственно.

В свою очередь попутный нефтяной газ отделяется в сепараторах высокого и низкого давления с помощью гравитационного разделения. После разделения в нефти в растворенном состоянии остается 0,5-1,5 мас.% углеводородов (до бутана включительно). После данные углеводороды будут извлечены на стадии стабилизации нефти на НПЗ.

## **1.5 Стабилизация нефти**

Как правило стабилизация нефти это процесс целью которого является сокращение потерь от испарения при транспортировке нефти до НПЗ. Обычно стабилизацию проводят на нефтепромыслах. В зависимости от содержания растворенных газов в нефти применяют одноколонные и двухколонные установки. Схема стабилизирующей установки приведена ниже.

Добытая сырая и нестабильная нефть из парка резервуаров вначале нагревается в теплообменнике до температуры 60 °С. После нагрева подается вверх стабилизационной колонны первой ступени. В колонне поддерживают давление избыточное давление в пределах 0,2-0,4 МПа. Поддержание такого давления необходимо для создания лучших условий процессов конденсации паров бензина. Температуру низа колонны К-1 поддерживают в диапазоне 130-150 °С, с помощью циркуляции нагретой нефти в печи. Из нижней части колонны К-1 выводится стабильная нефть, которую далее охлаждают в холодильнике и теплообменнике. После стабильную нефть сливают в резервуары и отправляют на переработку. С верха колонны К-1 выводятся легкие фракции нефти, которые после поступают в газосепараторы С-1. Из верха газосепаратора отделяют сухой газ, который в основном состоит из этана и метана. А с низа колонны выводят сконденсированный бензин, который сперва нагревают в теплообменнике и подают в колонну К-2 для процесса стабилизации [11].



1 – сырая нестабильная нефть; 2 – сухой газ; 3 – сжиженный газ; 4 – газовый бензин; 5 – стабильная нефть.

Рисунок 6 – Схема стабилизирующей установки

В колонне К-2 давление отличается от первой колонны и составляет 1,3-1,5 МПа. Это делается для того, чтобы конденсировать жирный газ, в основе которого состоят пропан и бутан. Температуру низа колонны поддерживают в диапазонах 130-160°C, а температуру верха в пределах 40-50°C с помощью холодного орошения. В газосепаратор С-2 входит газ из верха колонны, состоящий из тяжелых частей пропана и бутана. Данные тяжелые две части путем конденсации в холодильнике отделяются в газосепараторе от несконденсированной сухой части. Сжиженный газ он же конденсат выводят с установки и транспортируют на переработку газа. Из низа колонны выходит стабильный бензин, который смешивают со стабилизированной нефтью и транспортируют на переработку.

## 2 Основная часть

### 2.1 Обезвоживание и обессоливание нефти на НПЗ

Согласно принятым стандартам транспортируемая с промыслов сырая нефть по содержанию воды и солей подразделяется на три группы:

Таблица 1 – Виды нефти по содержанию хлористых солей и воды

	1	2	3
Содержание воды, % масс	0,5	1,0	1,0
Содержание хлористых солей, мг/л	До 100	100-130	300-900
Содержание мех. Примесей % масс	Менее 0,05	0,05	0,05

Поставляемое на НПЗ сырьё то есть нефть, подвергают гораздо глубокой очистке. В процессе очистки содержание воды и солей снижают до 5 мг/л и 0,1% соответственно. По мере снижения концентрации вышеупомянутых элементов, из нефти попутно полностью удаляют: магний, кальций, железо и натрий. Содержащийся в нефти концентрацию ванадия снижают больше чем в два раза. Данный факт помогает улучшить качество получаемых нефтепродуктов [2].

Высокодисперсные механические примеси такие как частицы песка, известняка или глины имеют склонность к адсорбции на поверхностях глобул воды. Данный факт приводит к поддержанию нефтяных эмульсий.

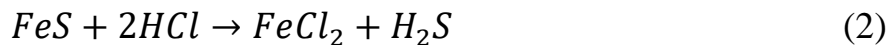
Появление стойкой эмульсии приводит к росту затрат на обезвоживание и обессоливания на промыслах и на НПЗ и вместе с этим оказывает вредное воздействие на окружающую среду. Процесс загрязнения окружающей среды связан с тем, предприятия производят сброс воды, которая содержит небольшую концентрацию нефтяной эмульсии. И это приводит к загрязнению сточных вод.

В свою очередь механические примеси по мере эксплуатации оборудования усиливают износ установок путем образования отложений на стенках труб. Соответственно это приводит к уменьшению их производительности.

Наибольший вред промышленным установкам оказывают хлористые соли. Такие хлориды как, хлориды магния и кальция способны к гидролизации. А это в свою очередь приводит к появлению соляной кислоты.

Из-за реакции с соляной кислотой происходит коррозия металла технологических установок. Но наибольший эффект коррозии на установки оказывают, соединения сероводорода с хлористым водородом, которые

образуются при переработке сернистых соединений. Данный процесс можно описать следующей химической реакцией :



Из реакции видно , что хлорид железа переходит в раствор  $FeCl_2$  и сероводород заново вступает в реакцию с железом. Поэтому если в нефти имеются сероводород и хлориды металла и при условии влажной среды, происходят взаимно-инициируемые цепные реакции, приводящие к разъеданию металла. Таким образом, уменьшения содержания в нефтях хлористых солей является важным технологическим этапом переработки.

Как известно, если смешать нефть и воду, то нефть образует пленку на поверхности воды и образует неразделимую эмульсию. Под эмульсией принято понимать разнородную систему, состоящую из двух несмешивающихся жидкостей. Одна из которых непосредственно внедрена в другую в виде маленьких глобул (капель) в среднем диаметре около 0,1 мкм.

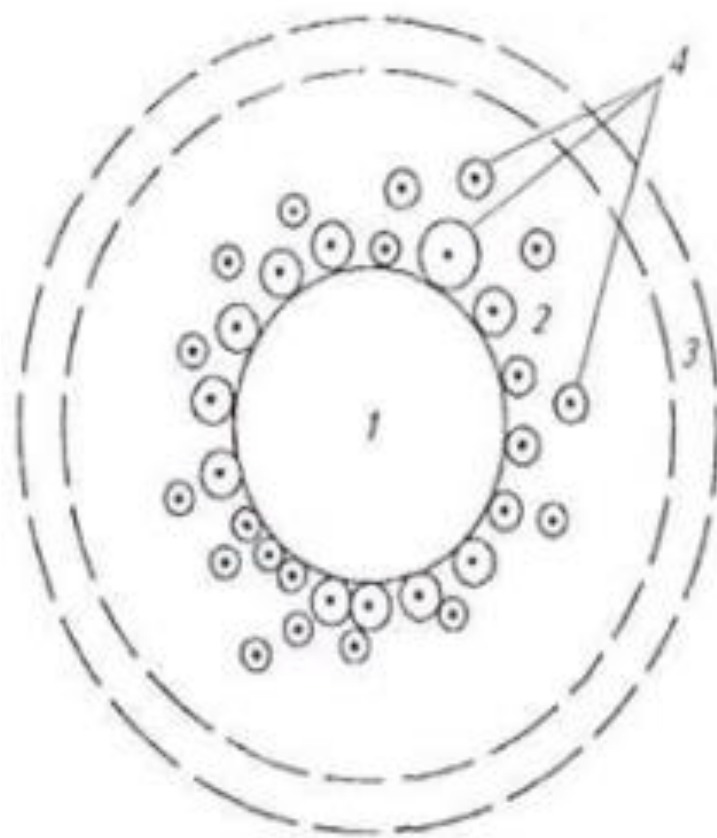


Рисунок 7 – Эмульсия

По размерам глобул эмульсий принято различать следующие типы:

- 1) От 0,1 до 20 мкм – мелкодисперсные
- 2) 20-50 мкм средние
- 3) 50 мкм и более считаются грубодисперсными

На сегодняшний день принято разделять эмульсии на два вида:

- гидрофильная эмульсия, то есть нефть в воде;
- гидрофобная эмульсия или же вода в нефти.

Под гидрофильной эмульсией подразумевают, что все капли нефти распределены в водно-дисперсионной среде. Под вторым случаем понимают образование дисперсионной фазы воды в среде нефти.

На процесс образования эмульсии влияют силы поверхностного натяжения происходящие на краю раздела фаз двух систем. С помощью силы поверхностного натяжения жидкость всегда стремится к сопротивлению и не позволяет увеличивать свою площадь поверхности. С этой целью были придуманы вещества, которые способны преодолевать силы натяжения и разрушать поверхностный слой эмульсии. Такие вещества называют деэмульгаторами. Деэмульгатор – это сложное химическое соединение специального назначения, которое должно соответствовать главным основным требованиям:

- деэмульгатор ни в коем случае не должен изменять свойство перерабатываемой нефти и не должен вступать в реакцию с водой;
- деэмульгатор должен обладать высокой деэмульгирующей способностью;
- нетоксичность, невысокая стоимость и не должны корродировать металл

На сегодняшний день этим требованиям удовлетворяют и нашли широкое применение неионогенные поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые при контакте непосредственно с водой не разлагаются на ионы

На территории Казахстана и стран СНГ из известных и широко применяемых деэмульгаторов применяются диссольванты. Данный вид деэмульгатора обладает достаточно высокой деэмульгирующей активностью. По своей природе диссольвант представляет из себя раствор ПАВ в воде или метиловом спирте при концентрации в 65%. Использование данного типа деэмульгатора (диссольвант) показало, что расход на тонну обрабатываемой нефти составил всего лишь 4-4,5 г. В то время как расход отечественных деэмульгаторов (дипроксамин 157-65 М) составлял 20-30 г на тонну.

## 2.2 Технология обезвоживания и обессоливания нефти

На сегодняшний день в нефтеперерабатывающей промышленности выделяют следующие методы разрушения эмульсии:

- механический;
- термический;
- химический;
- термохимический;
- электрический.

На НПЗ процесс обезвоживания и обессоливания нефти осуществляется на установках ЭЛОУ, которые способны объединять вышеуказанные методы разрушения эмульсий. Основными аппаратами установок ЭЛОУ являются электродегидраторы.

Электродегидратор это установка в виде полого и герметичного сосуда, внутри которого подвешены электроды соединенные с изоляторами. А если говорить об электроде, то это в большинстве случаев горизонтальная сетка из металла, которые расположены над друг другом. Электроды обычно удерживаются на изоляторах и к ним соединяются проходные изоляторы. Проходные изоляторы служат в виде электрических шин, к которым подводят силовые провода повышающих электротрансформаторов.

Сегодня в Мире применяются электродегидраторы различных конструкций. В любом электродегидраторе хоть будь он зарубежного производства, электрическое поле всегда создается между двумя электродами. Эти электроды расположены горизонтально и находятся в подвешенном состоянии на изоляторах примерно по середине высоты установки. К электродам обычно подводят напряжение от 30 до 40 кВ. Расстояние между электродами, как правило, колеблется от 120 до 400 мм в зависимости от типа аппарата. А напряженность электрического поля в среднем регулируется в диапазоне 1-3 кВ/см.

Принцип работы электродегидраторов можно описать следующим образом: когда нефтяная эмульсия попадает в электрическое поле, молекулы воды, имеющие отрицательный заряд начинают передвигаться внутри капли придавая ей форму в виде груши. Острым концом грушевидная форма обращена к электроду, который заряжен положительно. Когда происходит изменение полярности острый конец грушевидной формы поворачивается в другую сторону и при частоте в 50 Гц капля воды вытягивается а после втягивается туда и обратно. Это движение происходит 50 раз в секунду и тем самым происходит изменение конфигурации капли. Из-за такого хаосообразного движения при воздействии сил притяжения, капли движущиеся к одному из электродов сталкиваются об друг друга. И в случае если имеется высокий потенциал заряда это приводит к пробоем диэлектрической оболочки капли. В результате этого процесса происходит



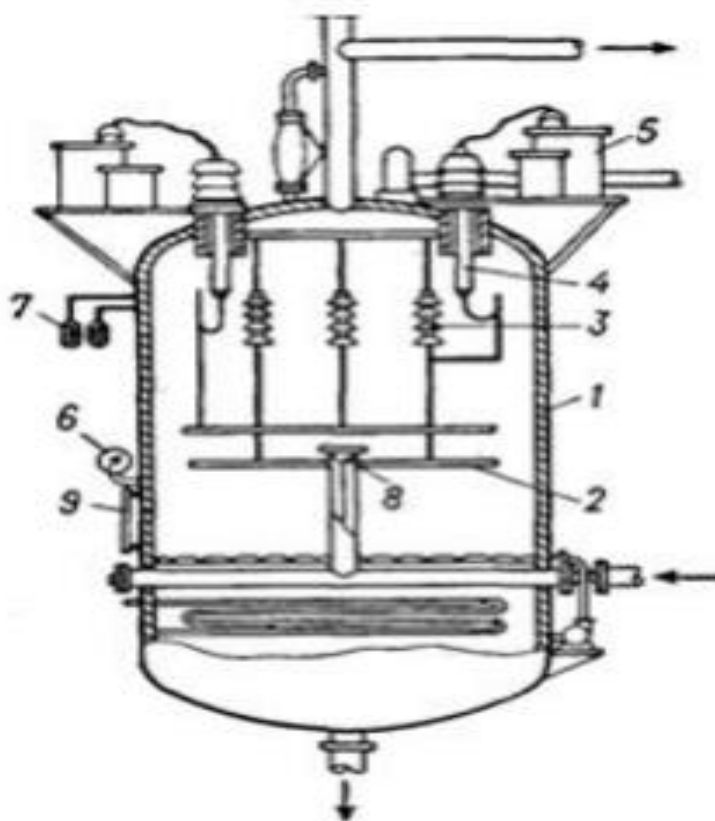
осаждение объединившихся и укрупненных мелких капель воды в электродегидраторе.

Но, к сожалению, данный процесс электроосаждения неспособен справиться очень маленькими частицами жидкости. Так как данные частицы размеров около микрона имеют бронирующий слой, который состоит из пыли и твердых частиц. Данные частицы очень мешают слиянию и укрупнению капель воды, тем самым не дают осадиться в аппарате.

Данную задачу решают применяя деэмульгаторы, которые прокачивают в поток эмульсии. Поверхностно активные вещества помогают избавиться от твердых частиц бронирующей оболочки.

Электродегидраторы по форме и положению корпуса делятся на три основные типа:

- цилиндрические вертикальные
- шаровые
- горизонтальные



1 – тело установки; 2 – электроды; 3,4 – фарфоровые изоляторы; 5 – трансформаторы; 6 – датчик давления показывающий; 7 – сигнальные лампы; 8 – распределительная головка; 9 – измерительное стекло.

Рисунок 8 – Вертикальный электродегидратор

Вертикальный электродегидратор представляет из себя цилиндрический сосуд высотой 5 метров и диаметром 3 метра с общим рабочим объемом в 30 м<sup>3</sup>. Внутри такого электродегидратора расположены электроды из металлических пластин, которые подвешены на изоляторах сделанных из фарфора. Ток подается на электроды от повышающих трансформаторов с суммарной производимой мощностью 5кВА (киловольтампер). Напряжение электрического поля между двумя силовыми электродами составляет 15 – 33 кВ.

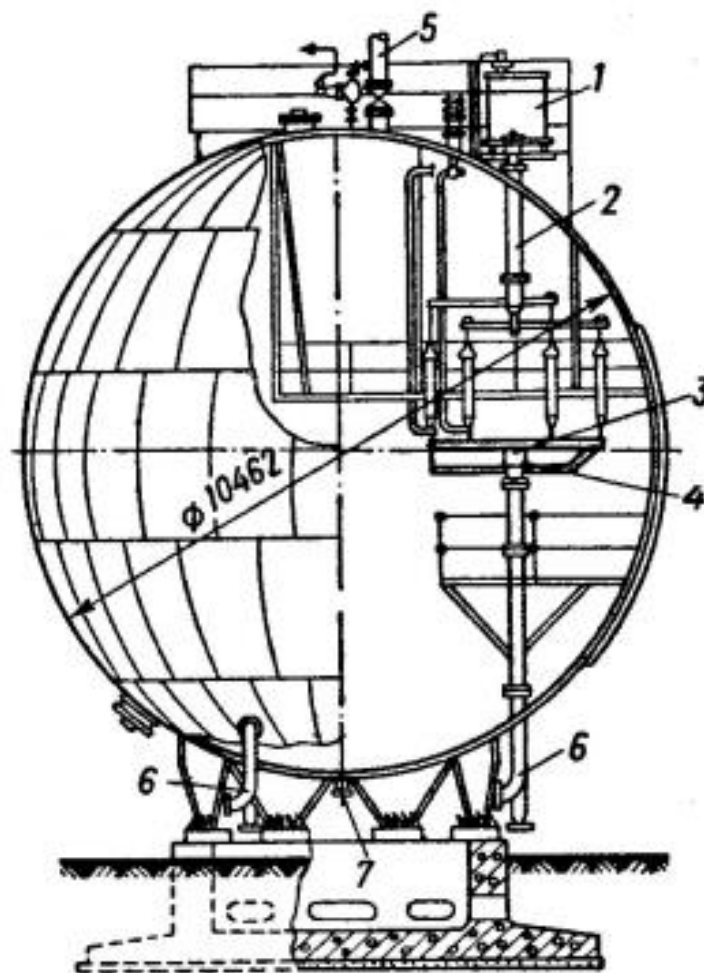
Через вертикальную трубу, которая установлена на половине высоты электродегидратора вводится сырье в установку. На конце вертикальной трубы установлена распределительная головка, в которой имеется узкая кольцевая щель. Через данную щель в виде веерообразной горизонтальной струи вводится эмульсия воды и нефти

Обработанная нефть выводится с верха установки, а вода через нижнее днище. Данным тип электродегидраторов в силу низкой производительности и недостаточно высокой температуры обессоливания был вытеснен более современными типами электродегидраторов. Для увеличения производительности установок на объектах приходилось параллельно соединять от 6 до 12 аппаратов.

Шаровой электродегидратор по своей сути это установка сферической формы в среднем имеющая диаметр 10,5м. Толщина стенки таких аппаратов в среднем 24 мм.

Шаровые электродегидраторы модели ЭДШ-600 имеют рабочий объем 600 м<sup>3</sup>. В странах СНГ они довольно часто встречаются на установках ЭЛОУ, которые комбинированы с установками первичной переработки нефти. Большим минусом данных установок, несмотря на большую производительность, является то что они рассчитаны на небольшое давление (0,6-0,7 МПа ). Данный факт не позволяет комбинировать их с установками для перегонки нефти. Модернизация подобных установок под более высокое давление очень дорогое. Так как при имеющейся толщине стенки в 24 мм, для более высокого давления толщина стенки должна быть гораздо толще. Более того, из-за большого диаметра подобные установки невозможно доставлять железнодорожными путями и другими возможными вариантами транспортировки в собранном виде.

Внутренне устройство такого аппарата схожи с вертикальным электродегидратором. Главное отличие заключается в том, что в шаровых электродегидраторах имеются три основных входа для ввода сырья. Эти входы для сырьевых потоков, относительно оси аппарата расположены равномерно. В трех метрах от центральной оси аппарата установлены пары электродов.



1 – трансформатор; 2 – устройство для регулирования расстояния между электродами; 3 – электроды; 4 – распределительная головка; 5 – вывод обессоленной нефти; 6 – ввод сырой нефти; 7 – дренажный штуцер

Рисунок 9 – Вертикальный электродегидратор

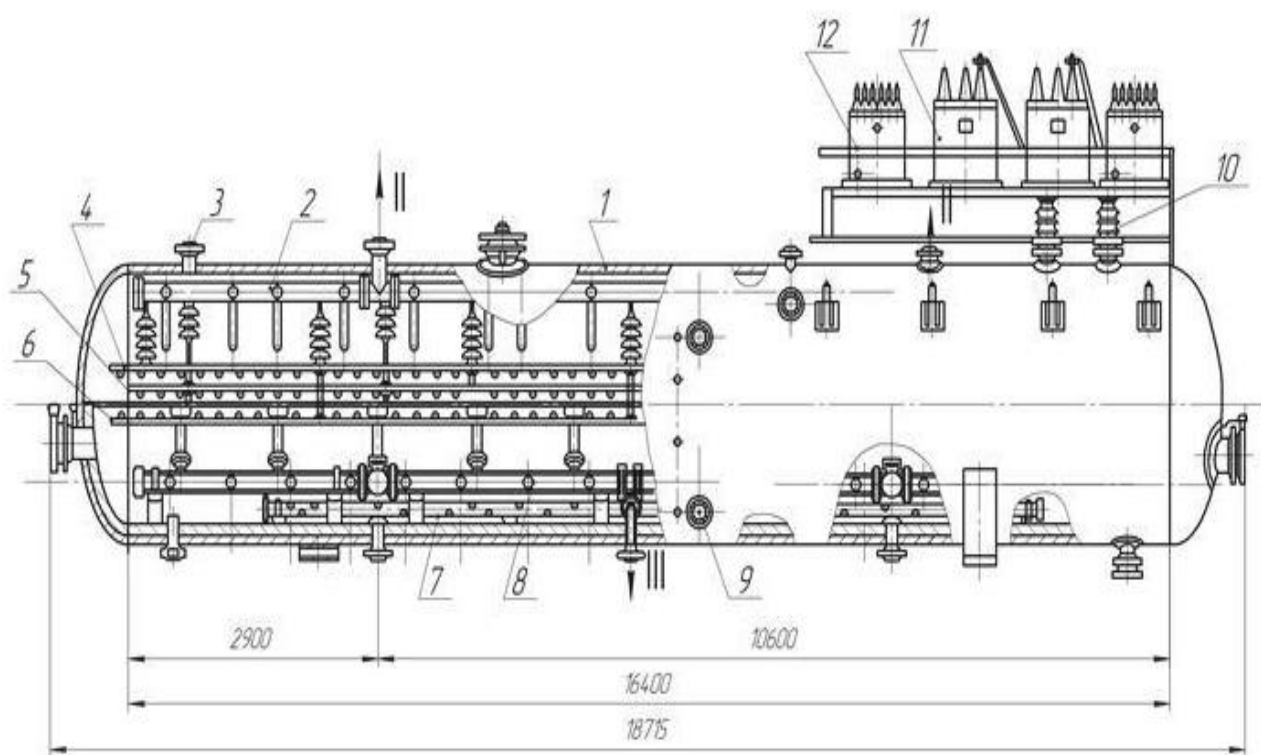
Среднее расстояние между электродами в среднем составляет 15 сантиметров. Из-за большого объема шаровых электродегидраторов они имеют высокую производительность. К недостаткам подобного типа установки можно отнести низкое рабочее давление, обусловленное большим диаметром корпуса, и невозможность совместной установки после установок АТ и АВТ.

По сравнению с предыдущими типами установок, наибольшее распространение получили горизонтальные электродегидраторы, в силу их высокой производительности и возможности работы при высокой температуре и давлении. Помимо этого, данные установки отличаются простотой электрических схем и невысокими эксплуатационными затратами.

Описываемая установка представляет из себя цилиндрическую емкость диаметром 3400 мм и объемом 80-160 м<sup>3</sup>. На современных блоках ЭЛОУ в последние 5 лет устанавливаются высокоэффективные горизонтальные электродегидраторы, с максимально возможным допустимым рабочим давлением 1,8 МПа. Данный факт дает возможность совместной установки с блоками АТ и АВТ. В подобных типах установках промежуток между электродами составляет 120-400 мм, а напряженность электрического поля лежит в пределах 100-300 кВ/м.

На данный момент на Казахстанских НПЗ эксплуатируются 3 модификации вышеуказанных установок:

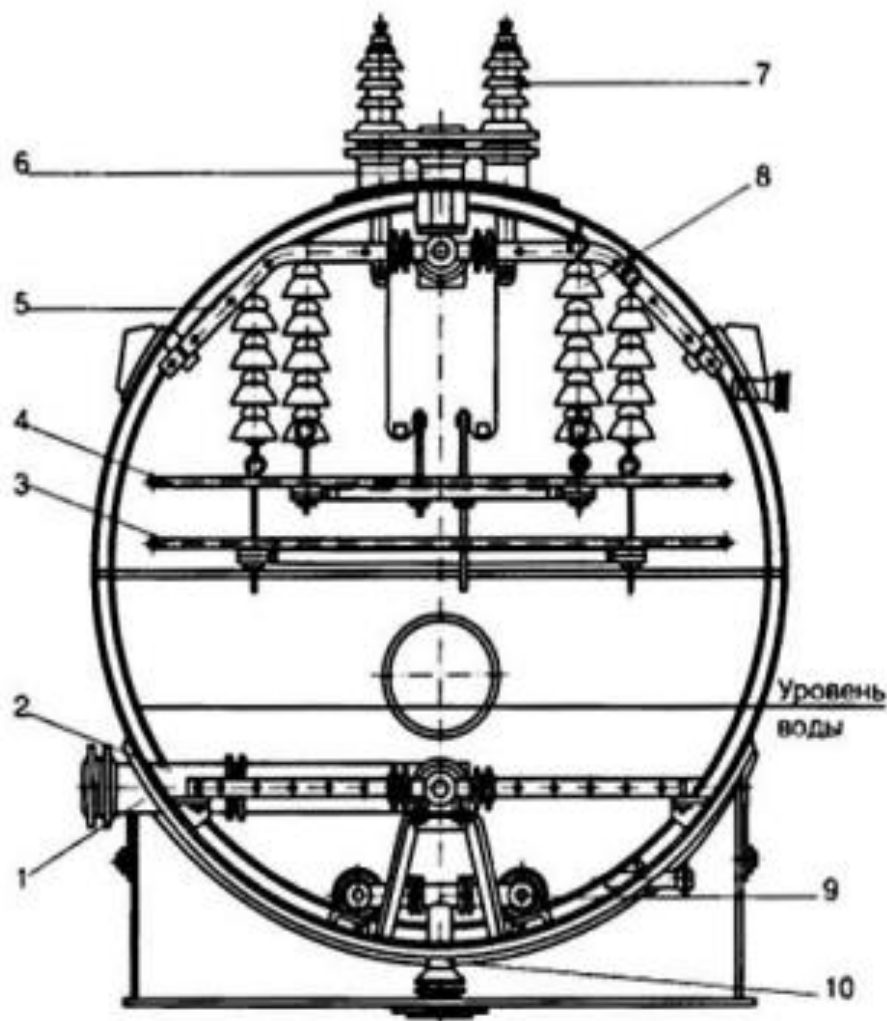
- 2ЭГ160 – имеющий два электрода и ввод нефти производится строго в под электродную зону;
- 2ЭГ160/3 – имеет три электрода с непосредственным вводом сырья между первым и вторым электродами;
- 2ЭГ160–2М – имеет также три электрода и возможность регулирования потоков ввода нефти.



1 – тело аппарата, 2 – коллектор обессоленной нефти, 3 – штуцер для предохранительного клапана, 4, 5, 6 – электроды, 7 – дренажный коллектор, 8 – распределитель сырой нефти, 9 – штуцер для межфазного регулятора уровня, 10 – изоляторы, 11 – трансформаторы, 12 – реактивные катушки.

Рисунок 10 – Электродегидратор горизонтальный 2ЭГ 160-2

С развитием процессов нефтепереработки выяснилось что электродегидраторы горизонтальной формы, имеющие прямой ввод сырья с низа установки оказались самыми эффективными.



1 – штуцер входа сырья; 2 – распределитель сырья; 3, 4 – электроды, 5 – коллектор обезвоженной нефти; 6 – штуцер вывода обезвоженной нефти; 7 – проходной изолятор; 8 – подвесной изолятор; 9 – коллектор отстоявшейся воды

Рисунок 11 – Вид сбоку поперечного разреза электродегидратора

Если сравнивать их с ранее упомянутыми вертикальными и шаровыми типами, то горизонтальный тип установки выигрывает за счет следующих достоинств:

– имеются более подходящие условия для процесса осаждения капель воды. Данный показатель оценивается площадью зеркала отстоя, то есть площадью

горизонтального сечения и линейной скоростью движения нефти внутри установки;

- удельная производительность больше в три раза при меньшей общей массе аппарата и его стоимости;

- надежность и простота конструкции с применением меньшего количества электрооборудования. И большая площадь электродов;

- удобства монтажа и ремонта.

Исходное сырье в установку поступает через штуцер входа 1 и далее проходит в секцию распределительного коллектора 2. В коллекторе нефть попадает в нижний отдел электродегидрататора прямо под слой сливной дренажной соленой воды. Сам распределитель 2 по своей сути является коллектором, который проходит по всей длине нижней части аппарата и на конце имеет перфорированные отводы. Вверху установки располагается коллектор обессоленной нефти 5, конструктивно похожий на распределитель сырья 2. Из выходного штуцера 6 производится вывод обессоленной нефти. Из рисунка можно заметить особенное расположение распределителя сырья и коллектора обессоленной нефти, то есть один расположен сверху, а другой снизу. Такое конструктивное расположение обусловлено тем, что эмульсия в процессе работы аппарата будет двигаться строго вверх в вертикальном направлении с равномерной скоростью. Данное конструктивное решение позволяет обеспечить большое количество соударений капелек дисперсной фазы воды с оседающими вниз укрупненными капельками.

Из рисунка можно заметить, что два электрода 4 и 3 (верхний и нижний соответственно) располагаются посередине аппарата и проходят вдоль всей длины

Концы электродов подсоединяются к телу аппарата через подвесные изоляторы 8, выполненных в виде гирлянд из фарфора. Слив воды из установки производится с помощью дренажного коллектора 9 и штуцера 10 с помощью автоматической системы регулирования уровня воды в установке.

### **2.3 Установка обессоливания и обезвоживания нефтей на НПЗ**

Согласно принятым нормам нефть поступающая на НПЗ по содержанию хлоридов (то есть солей) в среднем должно составлять 500 мг/л, а доля воды в нефти не должна превышать 1%. С каждым годом требования к массовой доле содержанию воды и хлоридов только и растут, так как чем меньше в нефти содержание солей тем больше будут работать установки. Тем самым это обеспечивает экономию денежных средств в обслуживании установок [5].

Как уже было упомянуто ранее в нефтепереработке используются электродегидраторы трех типов:

– к первому типу относятся установки вертикального типа с цилиндрической формой корпуса. Внутри имеются электроды округлой формы, расположенные горизонтально с прямой подачей нефти в промежуток между электродами. Подобные аппараты часто комбинируют с установками ЭЛОУ 10/2;

– к второму типу можно отнести установки шарообразной формы с электродами в форме колец с непосредственной подачей сырья между электродами. Подобный тип аппаратов часто применяются с установками ЭЛОУ 10/6 с производительностью в среднем в 2 миллиона тонны нефти в год.

– к третьему типу относят аппараты горизонтальной цилиндрической формы, имеющие внутри себя электроды прямоугольной формы. Подача сырья в таких установках осуществляется в низ аппарата под уровень отстоявшейся воды.

В таблице ниже приведены основные характеристики установок:

Таблица 2 – Характеристики электродегидраторов

Показатели	Вертикальный	Шаровый ЭДШ-600	Горизонтальные	
			1 –ЭГ-160	2ЭГ-160
Диаметр	3	10,5	3,4	3,4
Объем	30	600	160	160
Допустимая температура °С	70-80	100	110	160
Расчетное давление , МПа	0,34	0,69	0,98	1,76
Производительность т/ч	От 10 до 12	От 230 до 250	От 180 до 190	От 200 до 250
Напряжение между электродами , Кв	27-33	32-33	22-44	22-44
Напряжение электрического поля, Кв/см	2-3	2-3	1,0-1,5	1,0-1,5

На нефтеперерабатывающих заводах установки электрообессоливания всегда строят из двух ступеней. Данное инженерное решение позволяет добиться более лучших качеств обессоливания сырья, за счет следующих факторов:



– первая ступень установки способна удалять от 75 до 80% соленой воды и 95-98% хлоридов.;

– вторая ступень позволяет добиться более глубокого процесса обессоливания, так как в этой ступени удаляется до 65 % оставшейся эмульсионной воды и до 92% оставшихся хлоридов.

Число установок всегда зависит от качества и объема обрабатываемой нефти и производительности аппарата.

В состав установок ЭЛОУ–АТ и ЭЛОУ–АВТ, на Казахстанских НПЗ часто устанавливают горизонтальные электродегидраторы. Так как данный вид установок имеет большую площадь электродов, большую удельную производительность, имеет меньшую вертикальную скорость движения нефти, которая обеспечивает лучший отстой воды. Более того, подобная установка способна работать при высоком давлении и высокой температуре.

В рассматриваемой в двухступенчатой установке ввод сырья производится в нижнюю часть аппарата. Это обеспечивает дополнительный цикл промывки и позволяет нефти пройти через два электрических поля (сильное и слабое). Нефть попадая в зону слабого поля, проходит между зеркалом воды и электродом расположенным снизу. Далее проходя через сильное поле, нефть проходит между электродами электродегидратора. Стоит также понимать что на установке не следует увеличивать напряжение больше допустимого, лежащего в диапазоне от 22 до 44 кВт. Поскольку это способно вызывать нежелательный негативный эффект в виде увеличения стойкости эмульсии и эмульгированию капелек воды.

Установка двухступенчатая обессоливающая состоящая из горизонтальных электродегидраторов изображена на рисунке 12. Сырье (она же сырая нефть) промышленный нефтяным насосом 1 или помпой прокачивают сквозь теплообменник 2, подогреваемый паровым подогревателем 3. Тем самым нефть нагревается до температуры 120 °С и после подают в электродегидратор 4.

В данной установке ввод деэмульгатора осуществляется перед промышленным насосом 1. После блоков подогревателей производится ввод раствора щелочи, который осуществляется с помощью помпы 7. Вода отстоя поступающая с электродегидратора второй ступени добавляют в нефть. Эту воду прокачивают с помощью насоса 13 в инжекторный смеситель 5, который осуществляет ввод воды и перемешивает ее с щелочью. Ввод щелочи необходим для ликвидации сероводородной коррозии и нейтрализации кислот. А вода необходимо для смывания солей.

Как видно из рисунка, трубчатый распределитель 21, имеющий перфорированные отводы, осуществляет ввод сырья установку обессоливания 4. Вверху аппарата имеется коллектор 19, через который выводится обессоленная нефть. Благодаря тому что вверху находится коллектор, а внизу трубчатый распределитель это помогает обеспечить одинаковый и распределенный поток нефти по всей длине сечения аппарата. Коллектор 22 служит для слива воды

отстоя в водосток или в отстойник 12. Слив воды в отстойник осуществляется если выявляется нарушения процесса отстоя в электродегидраторе. Насос и помпа 14 служит для возвращения жидкой смеси обратно в процесс. С верха электродегидратора 4 выводится не до конца обезвоженная нефть. После ее вводят нагнетая давление в электродегидратор второй ступени. В смесителе 10 выполняется процесс промывки нефти очищенной водой, которую нагнетают помпой 8. Нагреватели 9 выполняют подогрев нефти до заданной температуры в 85-90 °С . Очищенная от солей обезвоженная нефть выводится с верха электродегидратора 4 и далее направляется в резервуары.

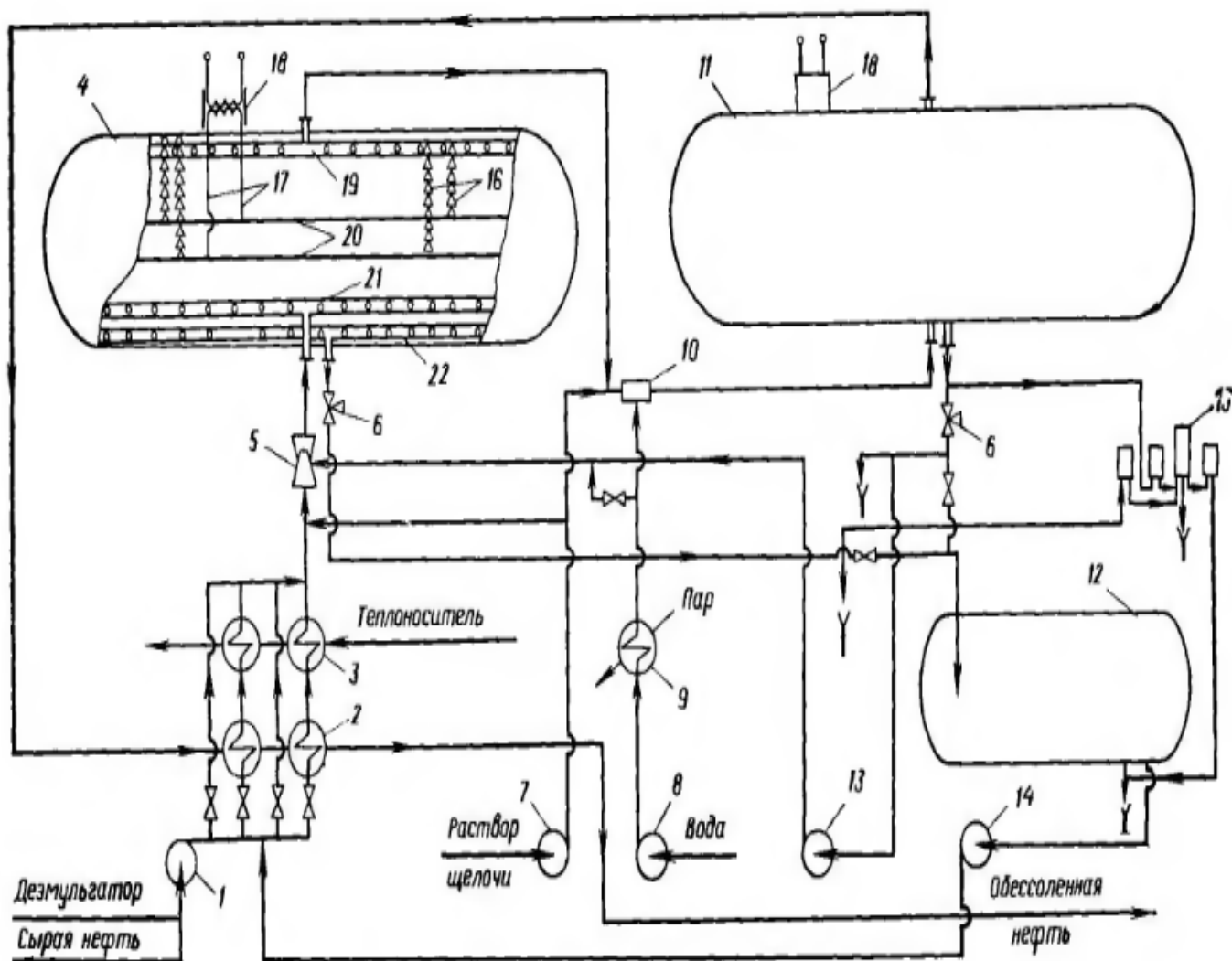


Рисунок 12 - Двухступенчатой обессоливающая установка

Уровень воды в эректродегидроторах и в отстойниках установки поддерживается системой автоматического регулирования. Смотровые фонари 15 предназначены для визуального осмотра качества отстоя.

## 2.4 Система автоматизации переработки нефти

В каждом производственном процессе сырье или исходные продукты перерабатываются по определенной принятой технологии в готовую продукцию. И для управления производственным процессом необходимо иметь информацию о ходе процесса и его режиме. Информация которая отражает режим и ход процесса является важной составляющей систем автоматического управления. Так как именно эта информация будет передаваться на пункт управления для переработки и принятия решения о том, как следует воздействовать на процесс в случае изменения режима, чтобы он протекал в требуемом направлении

Подобную информацию об управляемом процессе получают с помощью контрольно-измерительных приборов. В случае ручного управления решение по управлению принимает оператор на основе полученной информации. Оператор организует работу установки, выполняя определенный объем математических и логических операций и воздействует на процесс через органы управления.

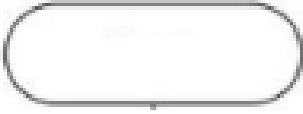


В свою очередь при автоматическом управлении решение по управлению принимаются автоматическими устройствами, в которых заложена определенная программа. Эти устройства выдавая токовый сигнал управления передают его от пункта управления к исполнительным механизмам, которые, в свою очередь, преобразуют их в регулирующее воздействие.

Таким образом, для автоматического управления необходимо получение, передача, преобразование и использование информации о состоянии и характере протекания производственного процесса. С этой целью применяют технические средства, но только их применение оказывается недостаточным. Поэтому важной составляющей автоматического управления является алгоритм управления. Под алгоритмом управления понимают определенную последовательность логических и математических операций, которые должны быть выполнены системой управления на основе получаемой информации для определения управляющих воздействий, обеспечивающих оптимальный режим работы системы.

Рассмотрим работу установки комплексной подготовки нефти на НПЗ. В плане технической реализации подобные установки очень часто применяются в Казахстане и странах СНГ. Функциональная схема установки приведена в приложении Б. В качестве объекта исследования был выбран отстойник, в котором происходит частичное разделение нефти от воды путем отстоя водонефтяной эмульсии. В нашем случае будет производиться регулирования уровня воды в отстойнике с помощью открытия задвижки. С этой целью был разработан алгоритм автоматического регулирования технологического параметра. В системе таким параметром является уровень воды в отстойнике(уровень раздела фаз нефть-вода). В работе алгоритм должен обеспечивать контроль уровня воды в отстойнике, путем открытия задвижки на

сливе из отстойника по показаниям датчиков. В приложении В представлен разработанный алгоритм открытия задвижки на выходе из отстойника. Алгоритм был выполнен с применением блок-схем. Правило выполнения блок-схем регламентируются ГОСТ 19.701-90 «Общие правила обозначения схем алгоритмов и условные обозначения». Указанный стандарт регулирует внешний вид элементов блок-схем.

Таблица 3 – Символьные обозначения блоков схемы

Символьное обозначение	Описание
	Начало/конец
	Определенный процесс
	Решение Выбор из нескольких условий
	Процесс Выполнения указанного действия
	Документ Оповещение оператора на экране

## 2.5 Структурная схема АС

Как правило, на структурных схемах указывают функциональные части изделия системы их назначения и взаимосвязи между ними. Сама структурная схема отображает принцип действия системы в целом. При разработке исследуемой системы были учтены следующие общепринятые нормы:

- функциональные части необходимо изображать в виде прямоугольника и записывать наименование внутри него

- направление процесса необходимо обозначать стрелками на линиях

С учетом вышеуказанных требований была разработана и приведена в приложении Г структурная схема исследуемой системы.

Как видно, полученная структурная схема АС имеет три уровня и была построена по трехуровневому принципу.

Нижний уровень (полевая автоматика или полевой уровень) состоит из исполнительных механизмов и датчиков. В изучаемой АСУ ТП используются датчики уровня, температуры, давления и расхода. Из исполнительных механизмов 15 задвижек и 5 насосов. На ПЛК измеряемое значение передается с помощью токового сигнала 4-20 мА. А управление исполнительными механизмами происходит с помощью дискретных сигналов.

Средний уровень или уровень контроллеров состоит из ПЛК. Контроллеры принимают данные с датчиков и исполнительных механизмов и обрабатывая информацию выдают управляющее воздействие на полевую автоматику.

К верхнему уровню относят системы визуализации, сбора и диспетчеризации данных. Как правило, на подобных уровнях управление технологическим процессом осуществляется через человеко-машинный интерфейс в основном состоящий из монитора, системного блока, устройства для печати и др. К примеру верхнего уровня автоматизации можно отнести SCADA систему, которая осуществляет контроль над датчиками и исполнительными механизмами. Помимо этого SCADA обеспечивает визуализацию, сбор, архивацию данных от ПЛК. Данная система при получении данных способна самостоятельно сравнивать значения технологических параметров и в случае их отклонения от заданных уведомлять оператора через тревоги, тем самым позволяя оператору принимать решения по управлению. Помимо этого, система способна записывать все происходящие события в период работы, включая действия оператора .

### 3 Описание комплекса технических средств

#### 3.1 Контроллерное оборудование

Основой всех автоматизируемых систем является программируемый логический контроллер. В исследуемой системе был использован один контроллер, который будет обрабатывать показания с датчиков и осуществлять управление над исполнительными механизмами. Режим работы ПЛК соответствует следующим требованиям:

- долгая автономная работа
- возможность работы ПЛК в неблагоприятных окружающих условиях
- работа практически без участия человека и большой интервал между техническими обслуживаниями

Программируемый логический контроллер формирует команды управления для исполнительных механизмов за счет сбора информации поступающей с датчиков. В исследуемой системе был рассмотрен контроллер марки SIEMENS SIPLUS S7-1500 [5].



Рисунок 13 – ПЛК SIEMENS SIPLUS S7-1500

Используемый в нашей системе контроллер SIEMENS SIPLUS S7-1500 выпускается в следующих двух исполнениях:

- SIMATIC
- SIPLUS

Для исследуемой системы в связи с тяжелыми промышленными условиями, подходящей моделью является SIPLUS в исполнении SIPLUS extreme S7- 1500. Помимо возможности использования данного типа контроллера в тяжелых промышленных условиях, данная модель подходит для построения систем автоматизации средней и тяжелой степени сложности. К тяжелым промышленным условиям относят следующие факторы:

- монтаж в шкафы управления наружной или внутренней установки
- появление конденсата и льда на платах контроллера
- наличие в воздухе химических и биологических активных веществ
- температура окружающей среды -40 до +70°C.

Модули программируемого логического контроллера устанавливаются на профильную шину (35 мм) и фиксируются в рабочем положении винтами. В конструкции контроллера можно использовать следующие модули и блоки:

- модуль центрального процессора (CPU);
- сигнальные модули (SM); – технологические модули (TM);
- коммуникационные модули (CM/CP);
- системные блоки питания (PS);
- блоки питания нагрузки (PM).

Характеристики выбранного контроллера с центральным процессором CPU 1516-3 PN/DP представлены в таблице 4 .

Таблица 4 – Технические характеристики CPU 1516-3 PN/DP

Напряжение питания, допустимое отклонение: в статике в динамике	24 В ±20% ±33%
Потребляемый ток, номинальное значение	0.85 А
Атмосферное давление	От 1080 до 795 ГПа (от -1000 до 2000 м над уровнем моря)



Продолжение таблицы 4

1	2
Рабочая память	1.0 Мбайт для программы, 5.0 Мбайт для данных, слот карты памяти до 32 Гбайт
Минимальное время выполнения	логических операций – 10 нс операций со словами – 12 нс математических операций: - с фиксированной точкой – 16 нс – с плавающей точкой – 64 нс
Число модулей ввода-вывода	8192
Количество модулей на стойку, не более	32: центральный процессор + 31 модуль
Типы интерфейсов	PROFINET, PROFIBUS, Ethernet
Языки программирования	LAD, FBD, STL, SCL, GRAPH
Условия эксплуатации: диапазон температуры эксплуатации диапазон относительной влажности	от -40 до +70 °С; 100 %, появление конденсата и льда
Габариты	70x147x129
Масса (приблизительно)	845г

### 3.2 Датчик расхода

Из функциональной схемы исследуемой системы видно, что для определения объемов поступающей жидкости в резервуары необходима установка расходомеров. С учетом особенностей технологического процесса и возможностью появления механических примесей в трубе был выбран ультразвуковой расходомер модели FLUXUS F808

Таблица 5 – Технические характеристики расходомера FLUXUS F808

Предел допускаемой относительной погрешности измерений объема в диапазонах расхода	0,5 %
Диаметр трубы	от 10 до 6500 мм

Продолжение таблицы 5

1	2
Температура рабочей среды	от -170 до 600°С
Допустимый диапазон температуры внешней среды	от -55 до 90°С
Напряжение питания:	от 100 до 240 В 50/60Гц, от 20 до 32 В (DC)
Выходной сигнал	4-20 мА, реле



Рисунок 14 – Расходомер модели FLUXUS F808

Измеряемые величины: объемный расход, массовый расход, скорость потока. Измерение расходомером FLUXUS F808 осуществляется неинтрузивным методом, ультразвуковые датчики устанавливаются снаружи на трубу, благодаря этому измерительное оборудование не подвергается износу измеряемой средой. Установка или ремонт датчиков может проводиться во время эксплуатации [6].

### 3.3 Датчик уровня

В исследуемой АС для определения уровня раздела фаз нефть-вода в отстойнике был рассмотрен двухуровневый уровнемер АТ100. Характеристики данного магнитострикционного уровнемера АТ100 указаны в таблице ниже.



Рисунок 15 – Магнитострикционный уровнемер АТ100

Таблица 6 – Основные технические характеристики АТ100

	Характеристики магнитострикционного уровнемера АТ100
Диапазон измерения уровня	до 22,3 м
Точность измерений	0,01 %;

Продолжение таблицы 6

1	2
Одновременное измерение двух уровней	Да
Температура рабочей среды	от -196 до 427 °С
Давление рабочей среды	до 207 МПа
Температура окружающей среды	от -50 до 77 °С
Напряжение питания	13.5 - 36 В пост. тока
Дополнительно	Встроенный фильтр радиочастотных и электромагнитных помех
Изменение диэлектрической постоянной, плотности, температуры, давления пара и кипения не влияет на измерение показателей;	

Принцип работы уровнемера АТ100 основан на явлении магнитострикции. Данное явление заключается в трансформации объема и фактических размеров тела, при смене состояния намагниченности. Основным элементом выбранного датчика является трубка, которая внутри себя содержит провод. По проводу через заданные промежутки времени проходят токовые импульсы. Эти импульсные токи пересекая магнитное поля поплавка, создают в проводе крутильную деформацию в том месте где находится поплавок датчика. Сила кручения от деформации передается вдоль провода с определенной скоростью в оба конца [7].

В корпусе прибора размещён пьезомагнитный чувствительный элемент, основной задачей которого является преобразование полученных механических волн в выходные электрические сигналы. А специальная микропроцессорная электроника датчика высчитывает интервал времени между отосланным и полученным импульсом. Далее рассчитанное время пропорционально сопоставляется с измеряемым уровнем.

Стоит отметить тот факт, что данный датчик уровня имеет два поплавка. Первый поплавок разработан и рассчитан на то, что он будет находиться на поверхности измеряемой эмульсии. Второй поплавок рассчитывают так, чтобы он не попадая в верхнюю часть жидкости, находился на границе раздела двух сред. Но при этом данный поплавок способен чувствовать разность плотностей измеряемых двух сред вплоть до погрешности в 0,03. Датчик уровня АТ-100 на выходе выдает аналоговый сигнал 4-20 мА по верхнему уровню и второй такой же аналоговый сигнал на границе раздела фаз. Оба сигнала пропорциональны измеряемому уровню. В конструкции АТ100 имеется сигнализатор уровня, который при настройке будет срабатывать, при приближении поплавка, для сброса воды [4].

### 3.4 Датчик давления

На исследуемой УКПН предусмотрено измерение давления нефти и нефтяной эмульсии в системе. В качестве датчика давления был рассмотрен Rosemount 3051



Рисунок 16 – датчик давления Rosemount 3051

Таблица 7 – Основные технические характеристики датчиков и Rosemount 3051

	Характеристики Rosemount 3051
Измеряемые величины	перепад давления, избыточное, абсолютное давление, уровень, расход

Продолжение таблицы 7

1	2
Погрешность измерений в реальных условия	$\pm 0,085\%$
Погрешность измерений после эксплуатации в течении 5 лет	$\pm 0,125\%$ ;
Сигнал на выходе датчика	4-20мА, HART протокол; Цифровой на базе протокола Foundation Fieldbus; цифровой на базе протокола Profibus PA
Диапазон давлений	от 0 до $689 \cdot 10^5$ Па
Диапазон рабочих температур	от -50 до 80 °С
Цена	до 500,000 тнг

В датчиках Rosemount 3051 преобразование разности давлений происходит за счет двух видов сенсорных модулей на базе емкостной ячейки и тензорезистивного сенсора. Использование штуцерной модели на базе тензорезистивного сенсора дает больший диапазон измеряемого давления, что подходит для нефтегазовой отрасли [8].

Преобразователи имеющие сенсоры тензорезисторного типа работают следующим образом: давление измеряемой среды, вначале воздействует на разделительную мембрану и заполняющую жидкость. Далее это воздействие переходит на измерительную мембрану. Силы воздействующие на мембрану заставляют ее немного изгибаться, тем самым вызывая изменение сопротивления в электрической схеме моста Уинстона. Полученный сигнал рассогласования далее изменяется в цифровой сигнал. Это преобразование необходимо для правильной обработки значения микропроцессором. Штатный термометр сенсорного модуля используют для учета и коррекции тепловых эффектов.

## 4 Выбор исполнительных устройств

### 4.1 Задвижка

На сегодняшний день в нефтеперерабатывающей промышленности в основном применяются два вида задвижек: клиновые и шиберные. В силу конструктивных особенностей имеет большой недостаток в виде невозможности очистки от механических отложений подклинового пространства. Для чистки подклинового пространства, необходимо полностью разбирать клиновую задвижку. И это при частой чистки это будет приводить к потере герметичности [9].

А свою очередь шиберные задвижки сохраняют герметичность на все время эксплуатации и после сборки-разборки. Учитывая данный факт была выбрана шиберная задвижка производства «АРМАТЭК» с возможностью ручного и автоматического управления. Характеристики данной задвижки приведены в таблице ниже.

Таблица 8 – Технические характеристики задвижки АРМАТЭК

Диаметр	300 мм
Температура окружающей среды	от -60 до +80 °С, влажность до 98 %
Температур рабочей среды	от -50 до +300 °С
Управление	ручное, пневмо- и электроприводом
Напряжение питания сети для электропривода	3 x 380 В, 1x220 В, 50 Гц, АС



Рисунок 17 – Шиберная задвижка «АРМАТЭК».

Шиберные задвижки АРМАТЭК, специализированы на применение в рабочих средах с большим содержанием механических включений . Для данных задвижек применяются электроприводы АРМАТЭК-МО, технические характеристики электропривода, приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики электропривода АРМАТЭК-МО

Момент максимальный	1000 Н · м
Время поворота на 90°	25 с
Электропитание, частота	380 В, 50 Гц
Мощность электродвигателя	370 Вт
Температура окружающей среды	от -60 до +80 °С

Шибер задвижки опускается и поднимается перпендикулярно потоку между двумя фланцами, на шток шибера устанавливается привод с ручным и дистанционным управлением.



## 4.2 Насос

Для перемещения эмульсии по трубам в УКПН был необходим насос обеспечивающий максимально большую подачу в пределах 500-600 м<sup>3</sup>/час [10]. Исходя из этого параметра был выбран нефтяной центробежный насос НК560/300 производства «Южуралгидромаш».



Рисунок 18 – Нефтяной центробежный насос НК560/300

Данная модель насоса комплектуется электродвигателем типа 4А3М-800/6000 УХЛ4. Технические характеристики насоса и двигателя приведены в таблице ниже.

Таблица 10 – Технические характеристики насоса НК560/300 и электродвигателя 4А3М-800/6000 УХЛ4

Подача	560 м <sup>3</sup> /ч
Напор	300 м
Перекачиваемая среда	нефтепродукты: плотностью до 1 т/м <sup>3</sup> , вязкостью до 0,01 см <sup>2</sup> /сек
Мощность ЭД	800 кВт
Частота вращения ЭД	2979 об/мин
Ток статора ЭД	90 А
Скольжение ЭД	0,7 %
КПД ЭД	96 %
Коэффициент мощности ЭД	0,89 о.е.

## 5 Расчетная часть

### 5.1 Построение структурной схемы и получение передаточных функций

Согласно составленному алгоритму управления была разработана структурная система автоматического регулирования уровня раздела фаз нефть-вода. Как было указано ранее в качестве объекта исследования был выбран отстойник, в котором происходит частичное разделение нефти от воды путем отстоя водонефтяной эмульсии. В выбранном контуре системы будем производить регулирование уровня воды в отстойнике с помощью открытия задвижки.

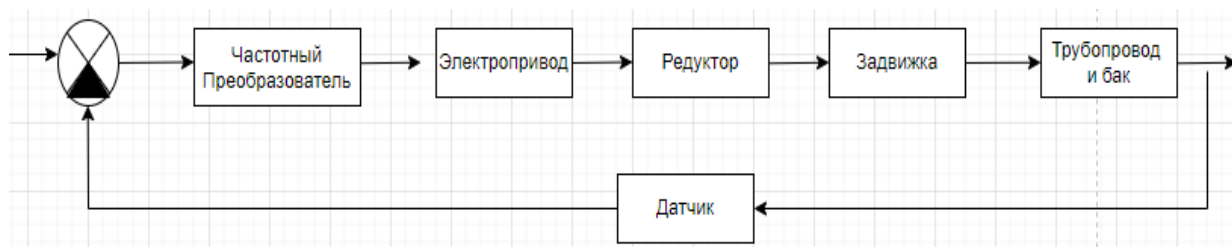


Рисунок 19 – Структурная схема

В соответствии полученной структурной схеме необходимо получить передаточные функции каждого элемента системы.

Для открытия задвижки по команде контроллера в системе используется электропривод. Обычно электропривод представляет из себя электропривод с редуктором. В математическом описании электропривод описывается апериодическим звеном первого порядка, так как в ходе эксплуатации двигатель в единственном статическом режиме[2].

$$G(s) = \frac{K_{\text{ПР}}}{T_{\text{ПР}}s + 1} \quad (3)$$

Коэффициент  $T_{\text{пр}}$  это время при котором задвижка открывается из закрытого состояния. Согласно спецификации используемой задвижки данное время составляет 25 секунд.  $K_{\text{ПР}}$  – коэффициент усиления звена, примем его за 1. Подставляя значения получим следующую передаточную функцию:

$$G(s) = \frac{1}{25s + 1} \quad (4)$$

В свою очередь передаточная функция редуктора будет иметь вид:

$$G(s) = \frac{1}{i_{\text{ред}}} \quad (5)$$

где  $i_{\text{ред}}$  – передаточное число редуктора.

Согласно спецификации в электроприводе используется редуктор с передаточным отношением 72 к 1. Подставив это значение получим передаточную функцию следующего вида:

$$G(s) = \frac{1}{72} \quad (6)$$

Линеаризованная модель частотного преобразователя частоты выглядит следующим образом

$$G(s) = \frac{K_{\text{ПЧ}}}{T_{\text{ПЧ}}s + 1} \quad (7)$$

Рассчитаем коэффициенты для преобразователя частоты:

$$K_{\text{ПЧ}} = \frac{f}{I_z} \quad (8)$$

где  $f = 50$  Гц – частота напряжения сети;

$I_z = 16$  мА – ток задания, можно принять в стандартном виде  $(20-4)=16$  мА;

$$T_{\text{ПЧ}} = 0.01 \text{ с.}$$

Подставляя значения получим:

$$G(s) = \frac{3.125}{0.01s + 1} \quad (9)$$

Передаточная функция задвижки представляет из себя обычный интегратор:

$$K_{\text{ПЧ}} = \frac{1}{s} \quad (10)$$

Согласно исходным данным участок трубопровода с отстойником выразим апериодическим звеном первого порядка:

$$G(s) = \frac{1}{0.015s + 1} \quad (11)$$

Передаточная функция датчика будет представлена в виде коэффициента который будет равен 1.

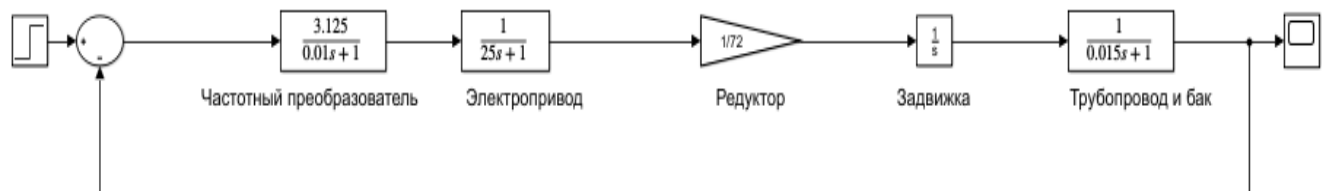


Рисунок 19 – Моделирование системы в среде Матлаб

## 5.2 Исследование устойчивости разомкнутой и замкнутой САР первым методом Ляпунова

Для дальнейшего исследования системы необходимо получить передаточные функции замкнутой и разомкнутой системы. Общая передаточная функция разомкнутой системы с учетом вышеуказанных передаточных функция будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{3.125}{0.01s + 1} \times \frac{1}{25s + 1} \times \frac{1}{72} \times \frac{1}{s} \times \frac{1}{0.015s + 1} = \\ &= \frac{3.125}{0.27s^4 + 45.0108s^3 + 1801.8s^2 + 72s} \end{aligned} \quad (12)$$

Передаточная функция замкнутой системы:

$$T(s) = \frac{3.125}{0.27s^4 + 45.0108s^3 + 1801.8s^2 + 72s + 3.125} \quad (13)$$

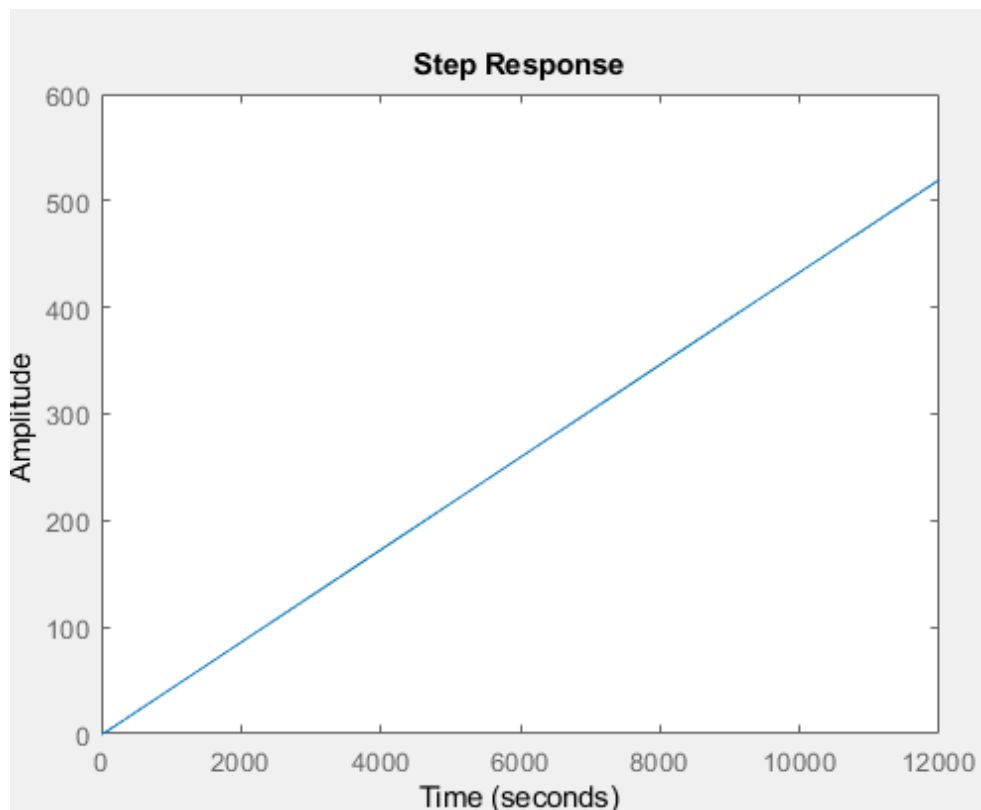


Рисунок 20 – Переходной процесс разомкнутой системы

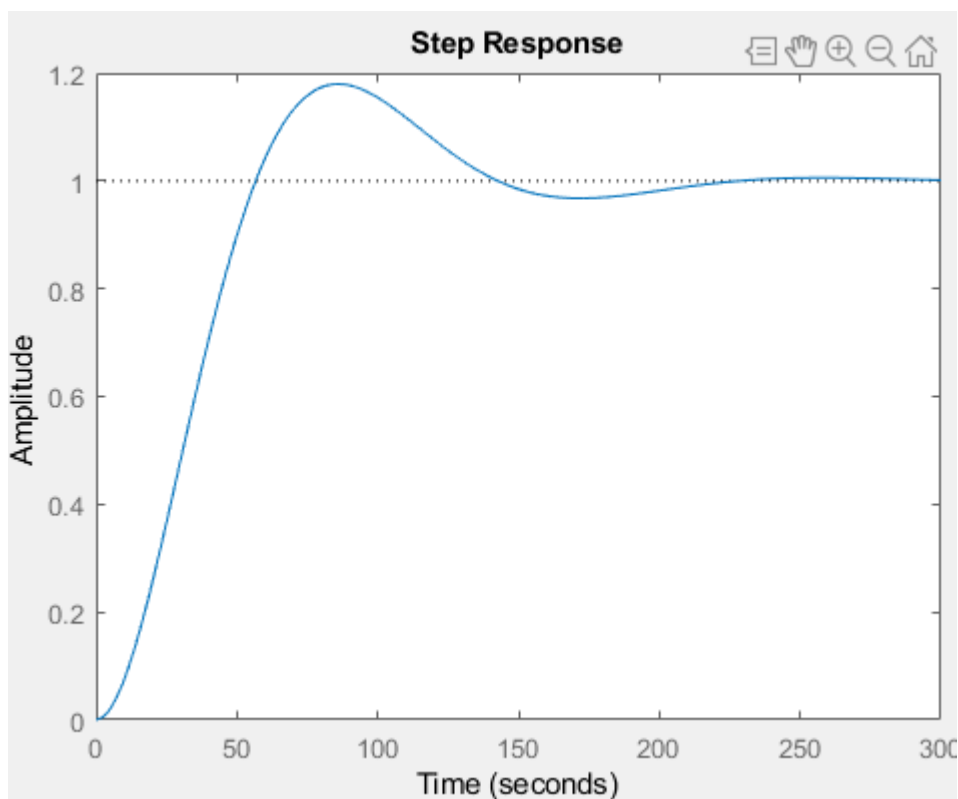


Рисунок 21 – Переходной процесс замкнутой системы

Для исследования системы на устойчивость по первому Методу Ляпунова, найдем полюса системы. Для этого воспользуемся кодом в Matlab.

Введем передаточную функцию разомкнутой системы

```
>> sys=tf([3.125],[0.27 45.0108 1801.8 72 0])
```

sys =

3.125

-----  
0.27 s^4 + 45.01 s^3 + 1802 s^2 + 72 s

Continuous-time transfer function.

Находим полюса системы

```
>> pole(sys)
```

ans =

0

-100.0000

-66.6667

-0.0400

Изобразим на комплексной плоскости только полюса системы:

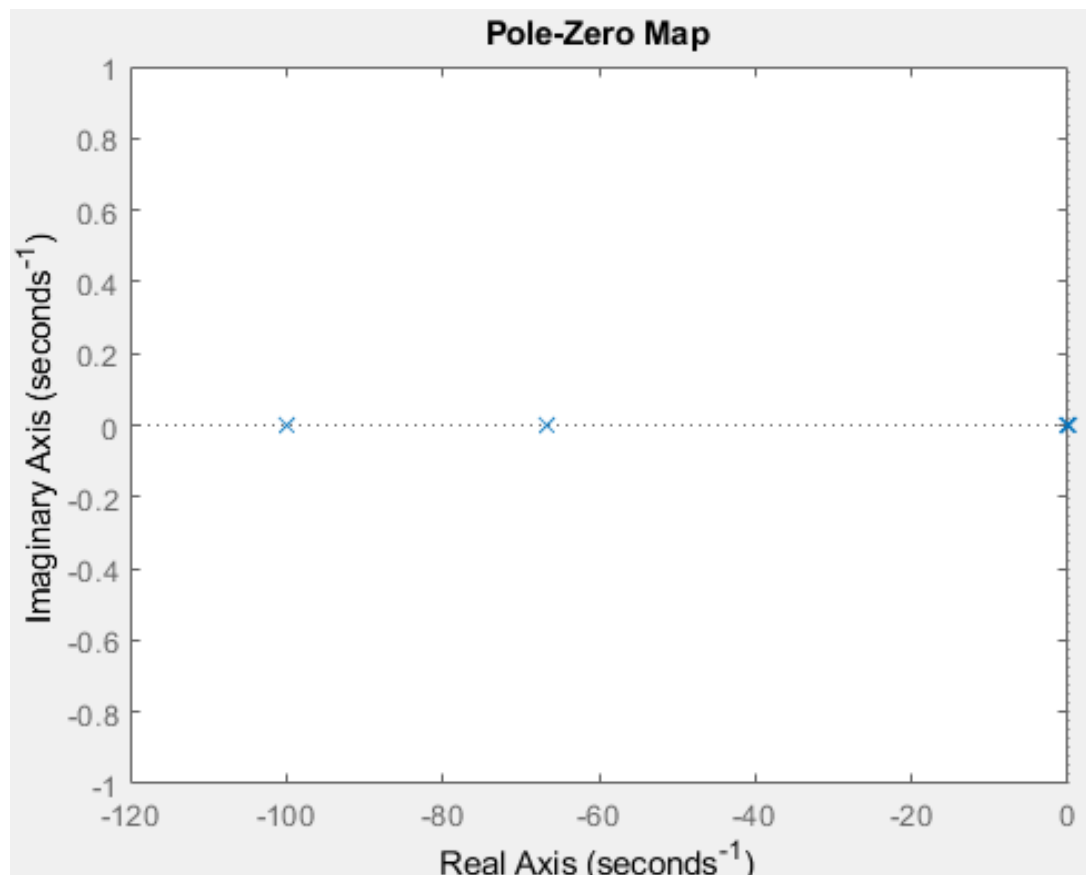


Рисунок 22 – Полюса системы

Как видно из рисунка система находится на границе устойчивости, так как имеет один нулевой полюс.

Введем передаточную функцию замкнутой системы:

```
>> zaz=tf([3.125],[0.27 45.0108 1801.8 72 3.125])
```

```
zaz =
```

3.125

-----  
0.27 s<sup>4</sup> + 45.01 s<sup>3</sup> + 1802 s<sup>2</sup> + 72 s + 3.125

```
>> pole(zaz)
```

```
ans =
```

```
-100.0000 + 0.0000i
```

```
-66.6667 + 0.0000i
```

```
-0.0200 + 0.0366i
```

```
-0.0200 - 0.0366i
```

Все полюса имеют отрицательные действительные части, в таком случае и замкнутая система является устойчивой в соответствии с первым методом Ляпунова.

```
>> pzmap(zaz)
```

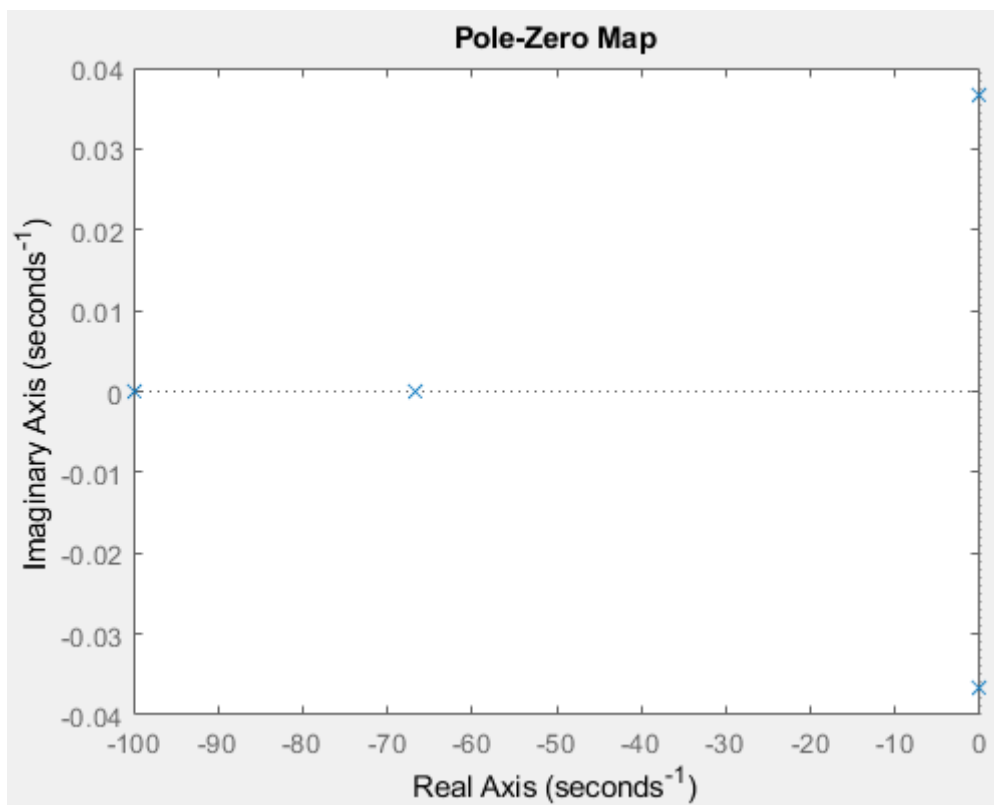


Рисунок 23 – Полюса замкнутой системы системы

### 5.3 Исследование устойчивости разомкнутой САР критерием Гурвица и Михайлова

Для исследования устойчивости по критерию Гурвица, определим полином системы.

$$0,27s^4 + 45.0108s^3 + 1801.8s^2 + 72s \quad (14)$$

По критерию Гурвица все элементы характеристического уравнения и определители главных диагональных миноров должны быть положительны.

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.27 > 0 \\ a_1 &= 45.0108 > 0 \\ a_2 &= 1801.8 > 0 \\ a_3 &= 72 > 0 \\ a_4 &= 0 \end{aligned}$$

Построим матрицу:

$$H_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} 45.0108 & 72 & 0 & 0 \\ 0.27 & 1801.8 & 0 & 0 \\ 0 & 45.0108 & 72 & 0 \\ 0 & 0.27 & 1801.8 & 0 \end{pmatrix}$$

Найдем определители:

$$\Delta_{2 \times 2} = \begin{vmatrix} 45,0108 & 72 \\ 0.27 & 1801,8 \end{vmatrix} = 81081.01944 > 0$$

$$\Delta_{3 \times 3} = \begin{vmatrix} 45.0108 & 72 & 0 \\ 0.27 & 1801.8 & 0 \\ 0 & 45.0108 & 72 \end{vmatrix} = 5837833.39968 > 0$$

$$\Delta_{4 \times 4} = \begin{vmatrix} 45.0108 & 72 & 0 & 0 \\ 0.27 & 1801.8 & 0 & 0 \\ 0 & 45.0108 & 72 & 0 \\ 0 & 0.27 & 1801.8 & 0 \end{vmatrix} = 0$$

Так как один из определителей матрицы равен нулю, система будет находиться на границе устойчивости



Критерий Михайлова является частотным критерием. По этой причине в характеристическом уравнении  $s$  заменяем на  $j\omega$ .

$$0,27s^4 + 45.0108s^3 + 1801.8s^2 + 72s \quad (15)$$

$$0,27jw^4 + 45.0108jw^3 + 1801.8jw^2 + 72jw \quad (16)$$

$$D(jw) = 0.27w^4 - 1801.8w^2 + j(-45.0108w^3 + 72w) \quad (17)$$

$$D(jw) = X(w) + jY(w) \quad (18)$$

Воспользуемся Matlab для определения годографа Михайлова.

```
>> w=0:1:1000;
>> D=(0.27.*w.^4-1801.8.*w.^2)+i*(-45.0108.*w.^3+72.*w);
>> plot(real(D),imag(D))
```

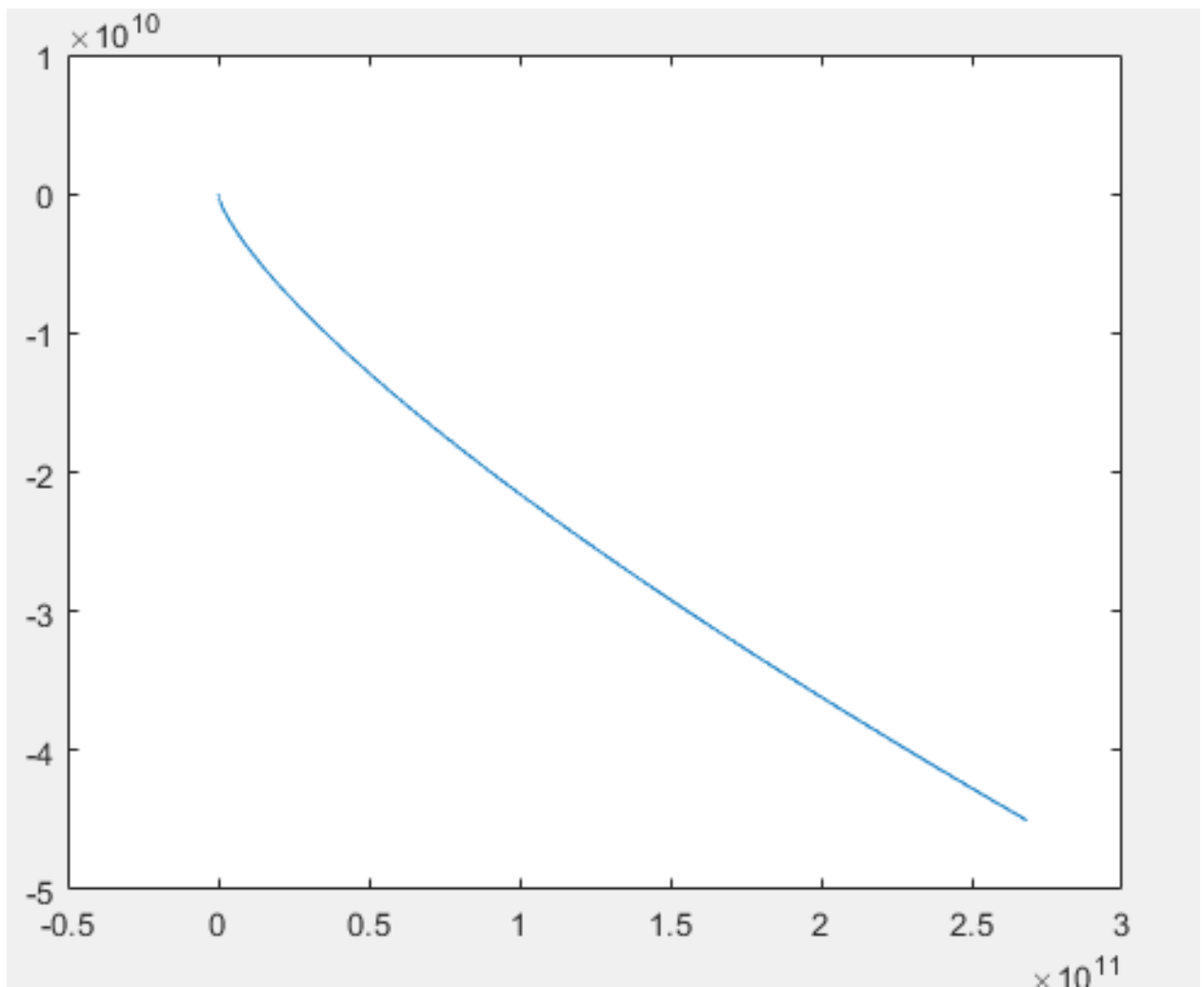


Рисунок 24 – Годограф Михайлова

По критерию Михайлова разомкнутая система на границе устойчивости, так как начинается с нуля, и при росте частоты охватывает последовательно в положительном направлении (против хода часовой стрелки) 4-квadrанта и нигде не проходит точку  $(0, j0)$ .

#### 5.4 Определение предельного коэффициента усиления замкнутой САУ критериями Гурвица

Определим диапазон изменения коэффициента усиления замкнутой системы по критерию Гурвица. Для определения допустимой области значений коэффициента усиления и предельного коэффициента усиления исходными данными является передаточная функция замкнутой системы, где вместо численного значения коэффициента усиления мы сохраняем переменную  $k$ :

$$T(s) = \frac{k}{0.27s^4 + 45.0108s^3 + 1801.8s^2 + 72s + k} \quad (19)$$

Характеристический полином:

$$0.27s^4 + 45.0108s^3 + 1801.8s^2 + 72s + k \quad (20)$$

$$a_0 = 0.27 > 0$$

$$a_1 = 45.0108 > 0$$

$$a_2 = 1801.8 > 0$$

$$a_3 = 72 > 0$$

$$a_4 = k > 0$$

$$H = \begin{array}{cccc} 45.0108 & 72 & 0 & 0 \\ 0.27 & 1801.8 & k & 0 \\ 0 & 45.0108 & 72 & 0 \\ 0 & 0.27 & 1801.8 & k \end{array}$$

$$\Delta_{1 \times 1} = 45.0108 > 0$$

$$\Delta_{2 \times 2} = \begin{vmatrix} 45.0108 & 72 \\ 0.27 & 1801.8 \end{vmatrix} = 81081.01944 > 0$$

$$\Delta_{3 \times 3} = \begin{vmatrix} 45.0108 & 72 & 0 \\ 0.27 & 1801.8 & k = 5837833.39968 - 2025.97211664 * k > 0 \\ 0 & 45.0108 & 72 \end{vmatrix}$$

$$K > 2882.18827$$

$$\Delta_{4 \times 4} = \begin{vmatrix} 45.0108 & 72 & 0 & 0 \\ 0.27 & 1801.8 & k & 0 \\ 0 & 45.0108 & 72 & 0 \\ 0 & 0.27 & 1801.8 & k \end{vmatrix} = k(5837833.39968 - 2025.97211664k)$$

$$k(5837833.39968 - 2025.97211664k) > 0$$

$$K > 0 \text{ или } \frac{5837833.39968}{2025.97211664} = K > 2882.18827$$

## 5.5 Исследование устойчивости замкнутой САР критерием Найквиста

Сам по себе критерий Найквиста позволяет нам определить устойчивость замкнутой системы по АФЧХ разомкнутой. Используя критерий Найквиста нужно соблюдать некоторую последовательность.

Для начала нужно исследовать устойчивость разомкнутой системы любым критерием и определить число неустойчивых полюсов. Далее построить АФЧХ разомкнутой системы при  $\omega = [0, +\infty)$  и на графике определить критическую точку  $(-1; j0)$

$$G(s) = \frac{3,125}{0.27s^4 + 45.0108s^3 + 1801.8s^2 + 72s} \quad (21)$$

Так как наша разомкнутая система на границе устойчивости будем применять третий критерий Найквиста который гласит что замкнутая система устойчива если АФЧХ дополненная в бесконечности разомкнутой системы при  $\omega = [0, +\infty)$  не охватывает точку  $(-1; j0)$ . Из рисунка ниже видно, что замкнутая система устойчива.

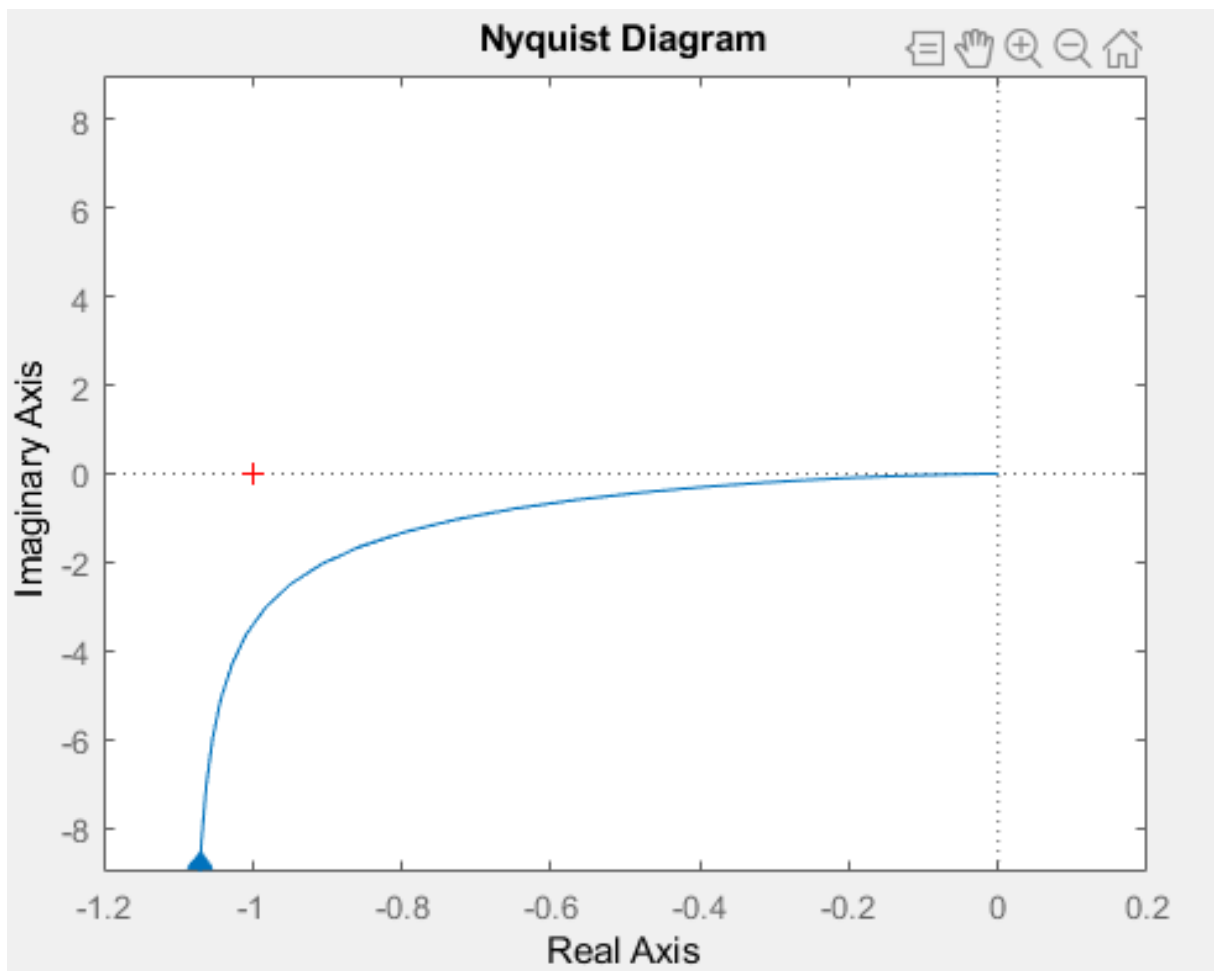


Рисунок 25 – АФЧХ разомкнутой системы

## 5.6 Прямые оценки качества системы и процесс синтеза регулятора

Одним из основных требований к системе автоматического регулирования является требование к качеству переходного процесса. Для правильной работы всей системы необходимо, чтобы процесс автоматического регулирования соблюдал требуемые показатели качества процесса управления.

Помимо требования к устойчивости, необходимо чтобы процесс во времени был:

- 1) Быстрым;
- 2) Не сильно превышал желаемое значение выходной величины;
- 3) Достигал и оставался близким к желаемому заданному значению.

На рисунках ниже приведены переходные процессы исследуемой замкнутой системы с помощью расширения `ltiviewer` в MATLAB

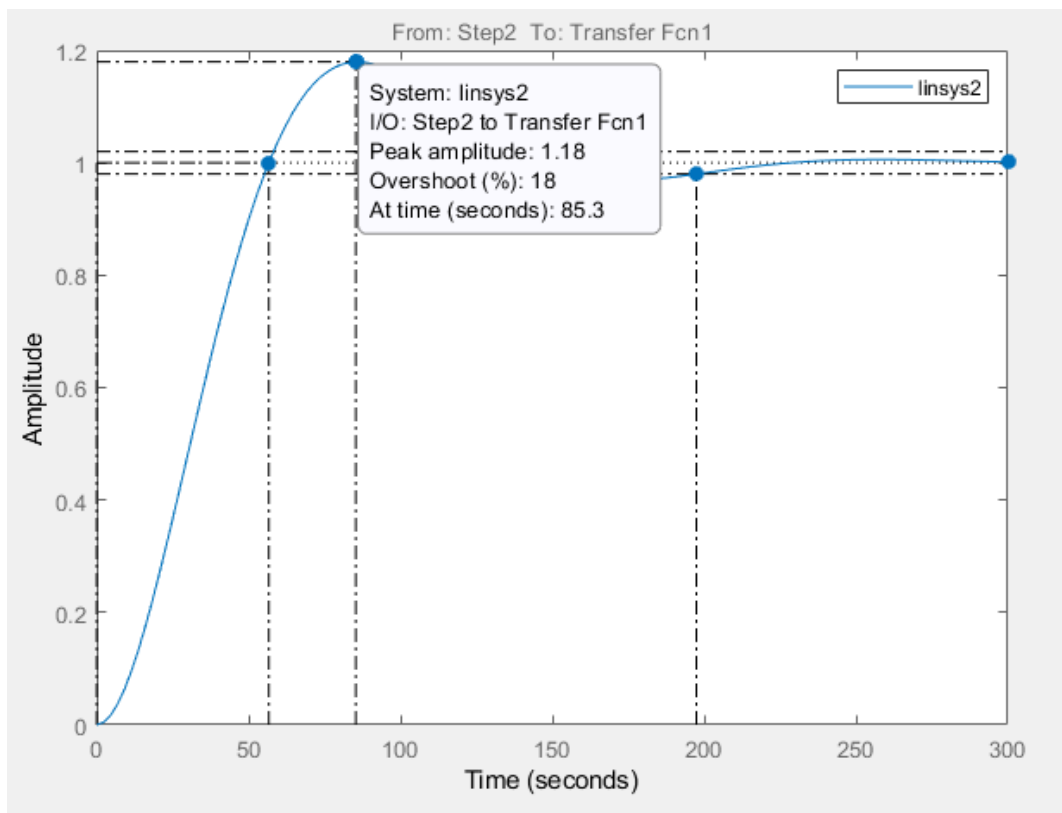


Рисунок 26 – Пиковое значение переходного процесса

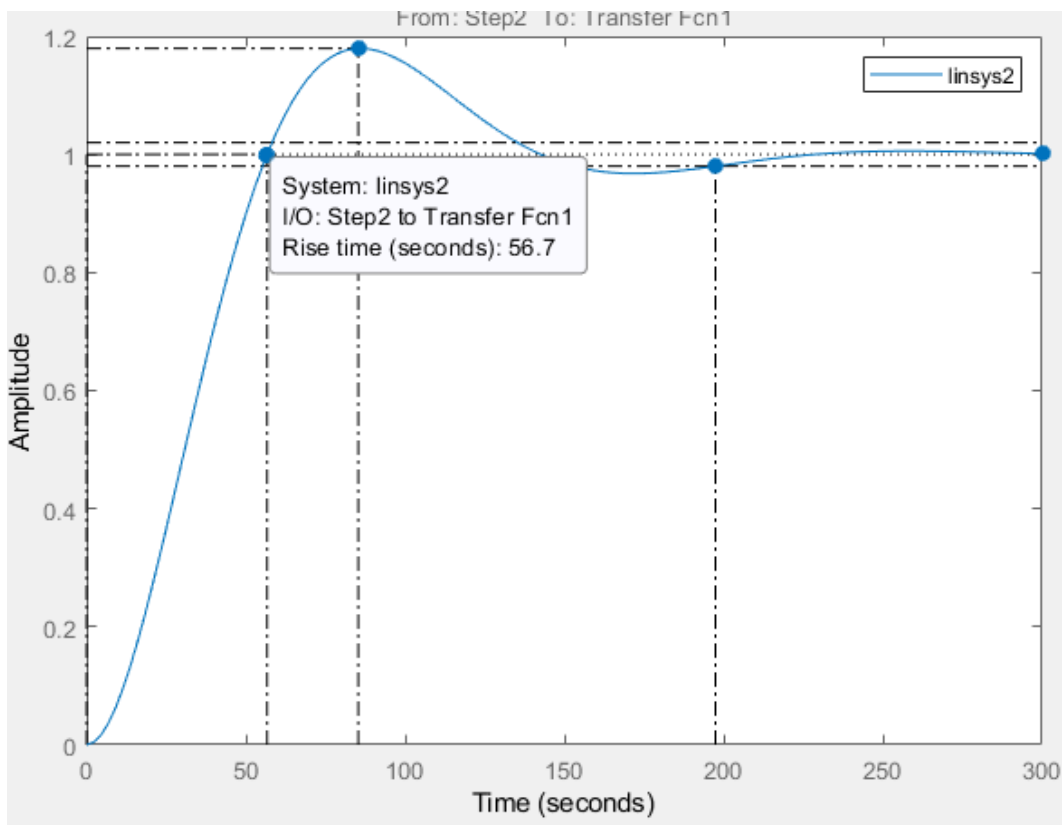


Рисунок 27 – Время нарастания

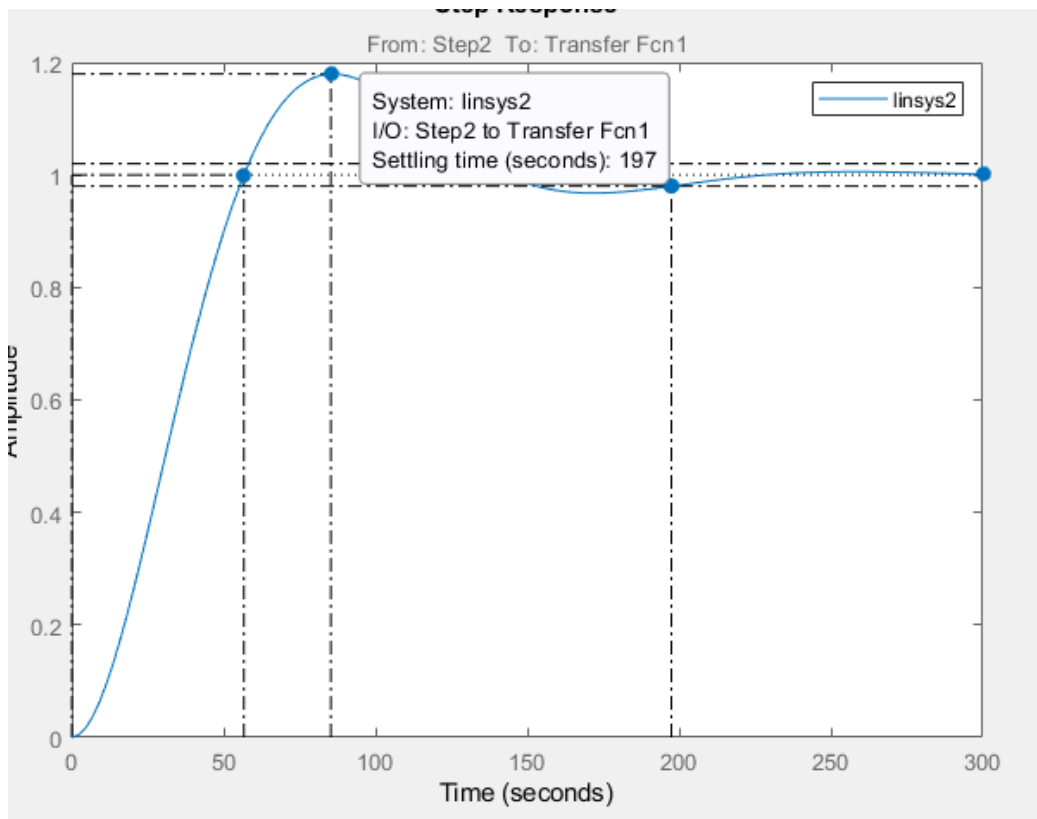


Рисунок 28 – Время регулирования переходного процесса

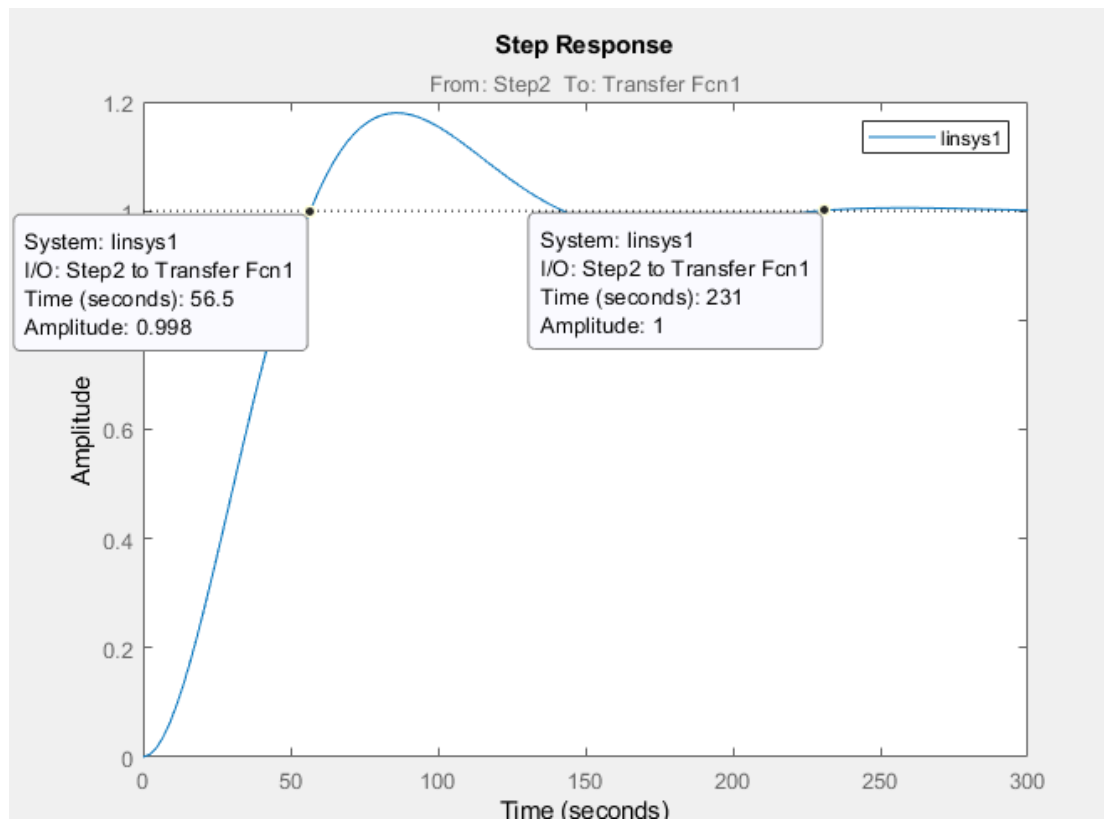


Рисунок 29 – Период колебаний

Полученные результаты оценок качества введем в таблицу

Таблица 11 – Результаты исследования прямых оценок

Время регулирования	197
Перерегулирование	18%
Число колебаний	1
Колебательность	–
Период колебаний	174.5
Время достижения первого максимума	85.3
Время нарастания	56.7
Декремент затухания	0.18

Полученные показатели качества изучаемой системы не являются желаемыми так как наблюдается перерегулирование в 18% и система долго доходит до установившегося значения. В таком случае возникает задача изменения системы таким образом, чтобы результате система показывала иные результаты функционирования. Для подобных задач на сегодняшний день используют регуляторы. В рассматриваемой системе будем использовать ПИД регулятор. ПИД регулирование основано на трех типах регулирования и его передаточная функция представлена ниже:

$$W(p) = K_p + \frac{K_I}{S} + K_D S \quad (22)$$

Управляющее воздействие регулятора:

$$u(t) = P e(t) + I \int_{t_0}^{\infty} e(t) dt + D \frac{de(t)}{dt} \quad (23)$$

Процесс синтеза регулятора для исследуемой системы будем производить MATLAB Simulink. Данная среда составляет и решает сложные системы дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих составленную функциональную схему. Процесс синтеза регулятора производился с помощью команды autotune, которая в режиме реального времени наглядно показывает изменения переходного процесса при подборе коэффициентов ПИД регулятора.

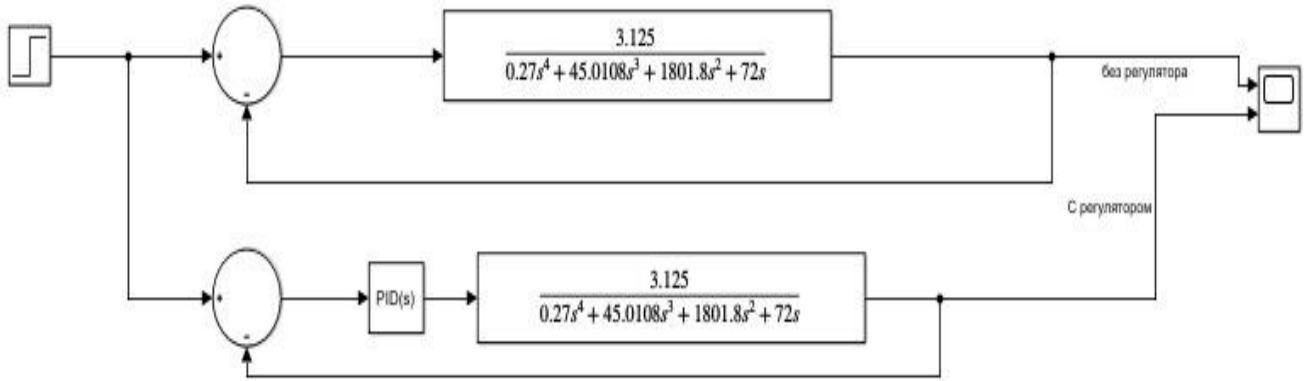


Рисунок 30 – Схема синтеза ПИД регулятора

▼ Compensator formula

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Main   Initialization   Output saturation   Data Types   State Attributes

Controller parameters

Source: internal

Proportional (P): 13.1545395628681

Integral (I): 0.0628735624356116

Derivative (D): 374.247789247762

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 74.5229775323479

Automated tuning

Select tuning method: Transfer Function Based (PID Tuner App)   Tune...

Рисунок 31 – Процесс синтеза ПИД регулятора с помощью autotune



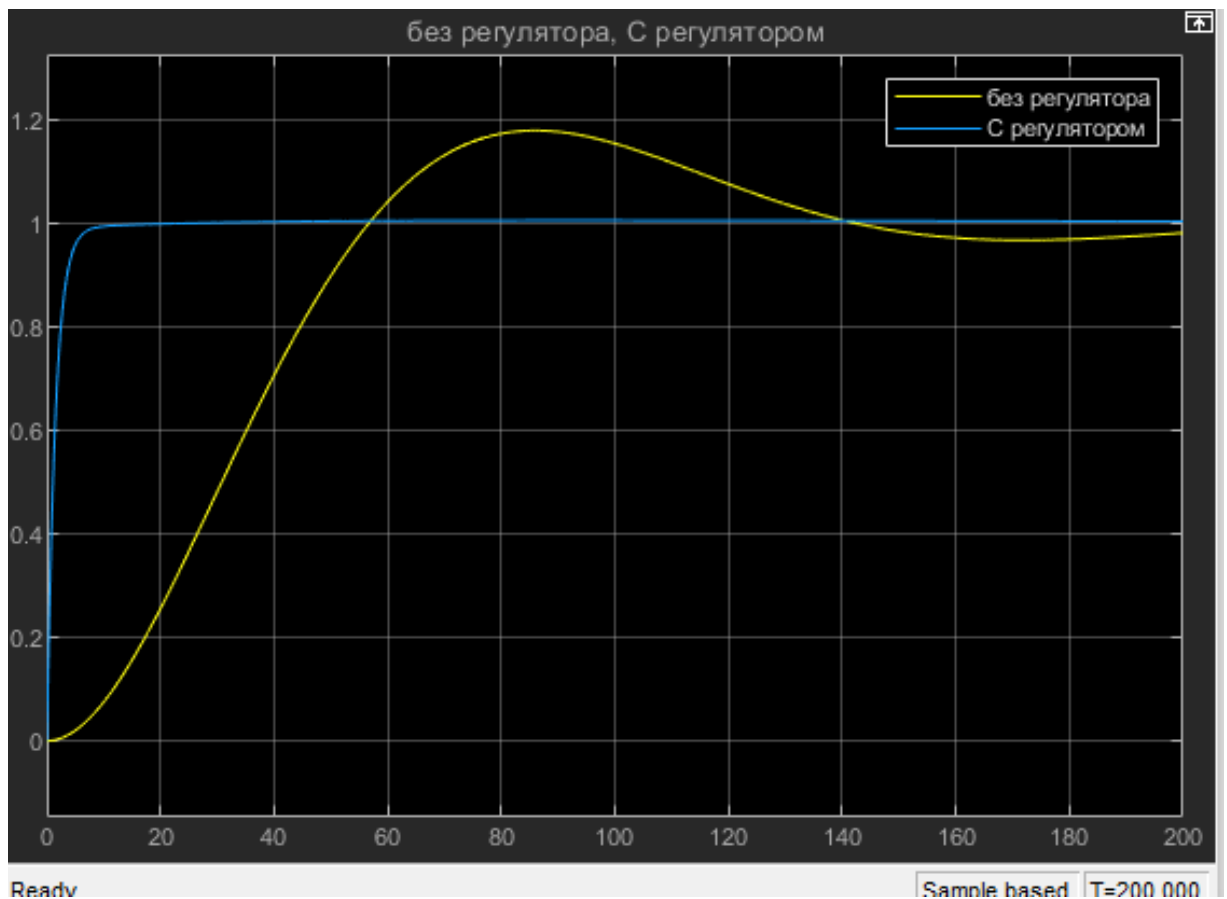


Рисунок 32 – Результаты моделирования системы с регулятором

Как видно из результатов выше полученный нами регулятор улучшил характеристики нашей системы . Ушло перерегулирование и улучшилось время регулирования системы.

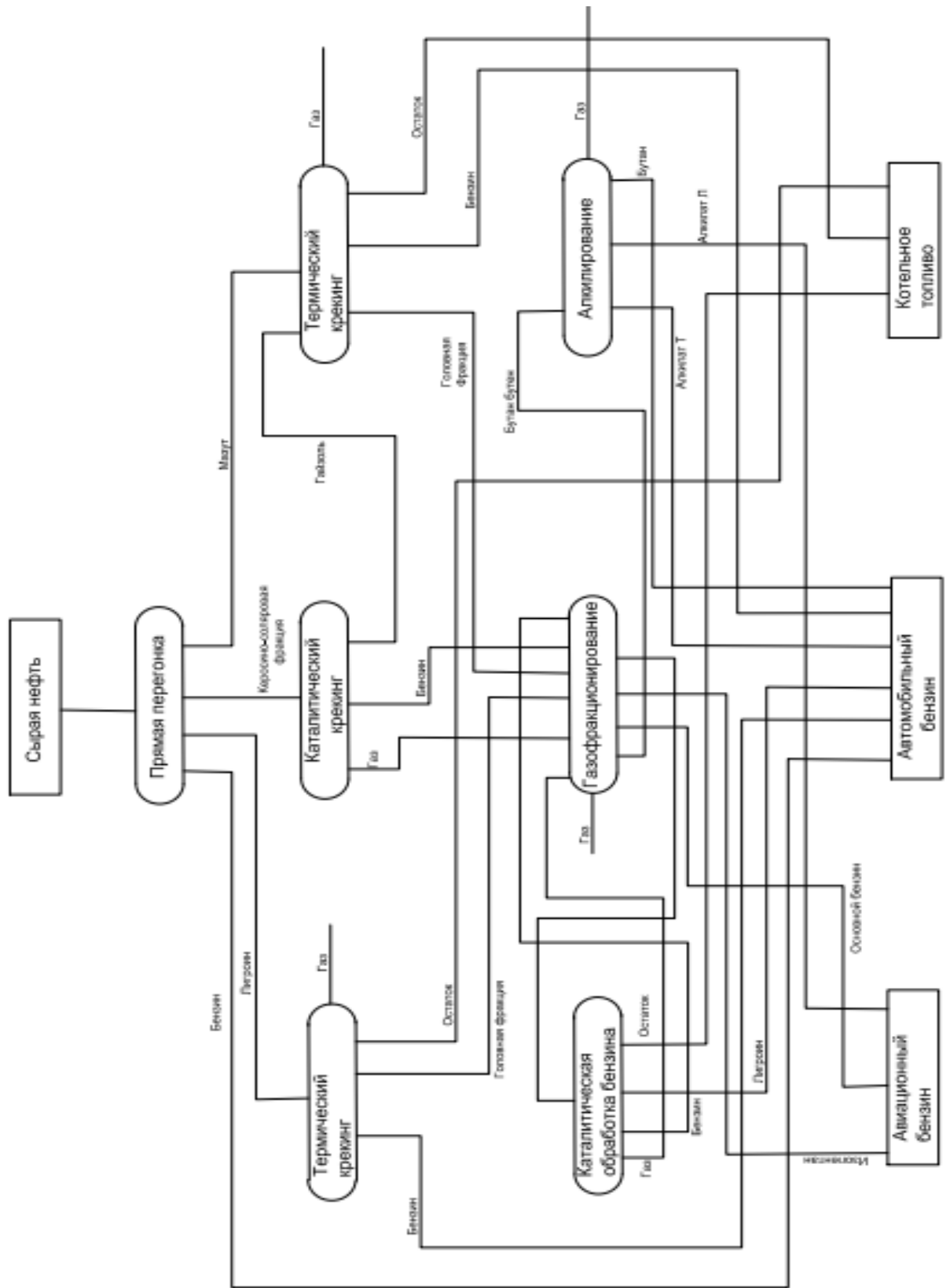
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе был исследован принцип работы установки комплексной подготовки нефти нефтеперерабатывающих заводах, применяемых в Казахстане. Подробно был описан процесс добычи, транспортировки и переработки нефти на НПЗ. Целью работы являлось изучение системы автоматического управления процессом переработки нефти. Процесс изучения системы автоматического управления был основан на информации об управляемом процессе, на разработанном алгоритме управления системы и на математическом описании элементов структурной схемы САУ. В ходе исследования системы был выбран и обоснован комплекс технических средств, который был составлен согласно технологической схеме установки. В качестве объекта регулирования был выбран отстойник входящий в состав установки комплексной подготовки нефти. В данном отстойнике был исследован процесс регулирования уровня воды. По математическому описанию объектов входящих в структурную схему контура управления, были получены передаточные функции замкнутой и разомкнутой системы. С помощью полученных передаточных функций, описывающих процесс, производились исследования системы автоматического регулирования. По итогам исследования система показала неудовлетворительные результаты регулируемого параметра, так было обнаружено перерегулирование и время регулирования параметра было достаточно большим. Для улучшения качества регулирования исследуемой системы был синтезирован ПИД регулятор, который обеспечил желаемые результаты.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 В. Е. Агабеков, В. К. Косяков – «Нефть и газ. Технологии и продукты переработки. Учебное пособие», 2014. – 355 с.
- 2 Е. Л. Сотскова – «Основы автоматизации технологических процессов переработки нефти и газа», 2014 – 110 с.
- 3 Ибатуллин Р.Р. – «Технологические процессы разработки нефтяных месторождений», 2010 – 149 с.
- 4 Бесекерский В.А., Попов Е.П. – «Теория систем автоматического регулирования», М.:1972.
- 5 Б.И. Бондаренко. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. М., 2003.– 8 с.
- 5 Simatic программируемые контроллеры SIEMENS контроллеры // <http://www.ste.ru/siemens/contr.html>
- 6 Расходомер жидкости FLUXUS F800 // <http://www.flexim.com/ru/ustroystva/postoyannyu-rashodomer-dlya-zhidkostey/fluxus-f808>
- 7 Магнитострикционный уровнемер АТ100 // <http://www.ktecorp.ru/products/365/>
- 8 Преобразователь давления Rosemount 3051 // <http://www2.emersonprocess.com/ru/brands/rosemount/pressure/pressuretransmitters/3051pressuretransmitters/pages/index.aspx>
- 9 Задвижки шибберные // [http://armatek.ru/katalog/zadvizhki\\_shibbernye/](http://armatek.ru/katalog/zadvizhki_shibbernye/)
- 10 Насосы нефтяные консольные типа НК // <http://www.uugm.ru/node/104#02>
- 11 Е. Л. Сотскова – «Основы автоматизации технологических процессов переработки нефти и газа», 2014 – 110 с.
- 12 Сидоров, С.Н. Теория автоматического управления в задачах электропривода : учебное пособие / С.Н. Сидоров, Н.А. Лунина. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 122 с.
- 13 ГОСТ 19.701-90. Единая система программной документации

ПРИЛОЖЕНИЕ А



Перв. примен.

Справ. №

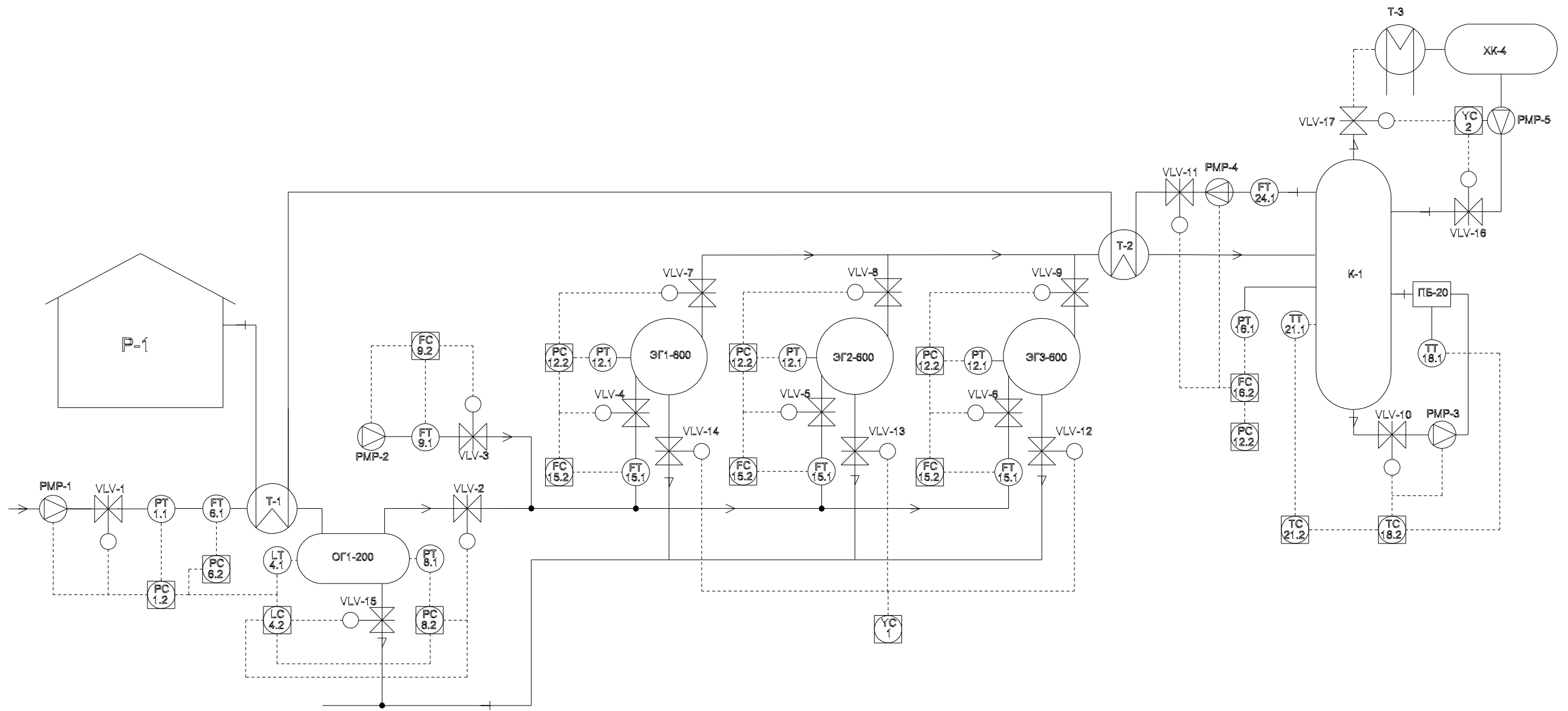
Подп. и дата

Инд. № дубл.

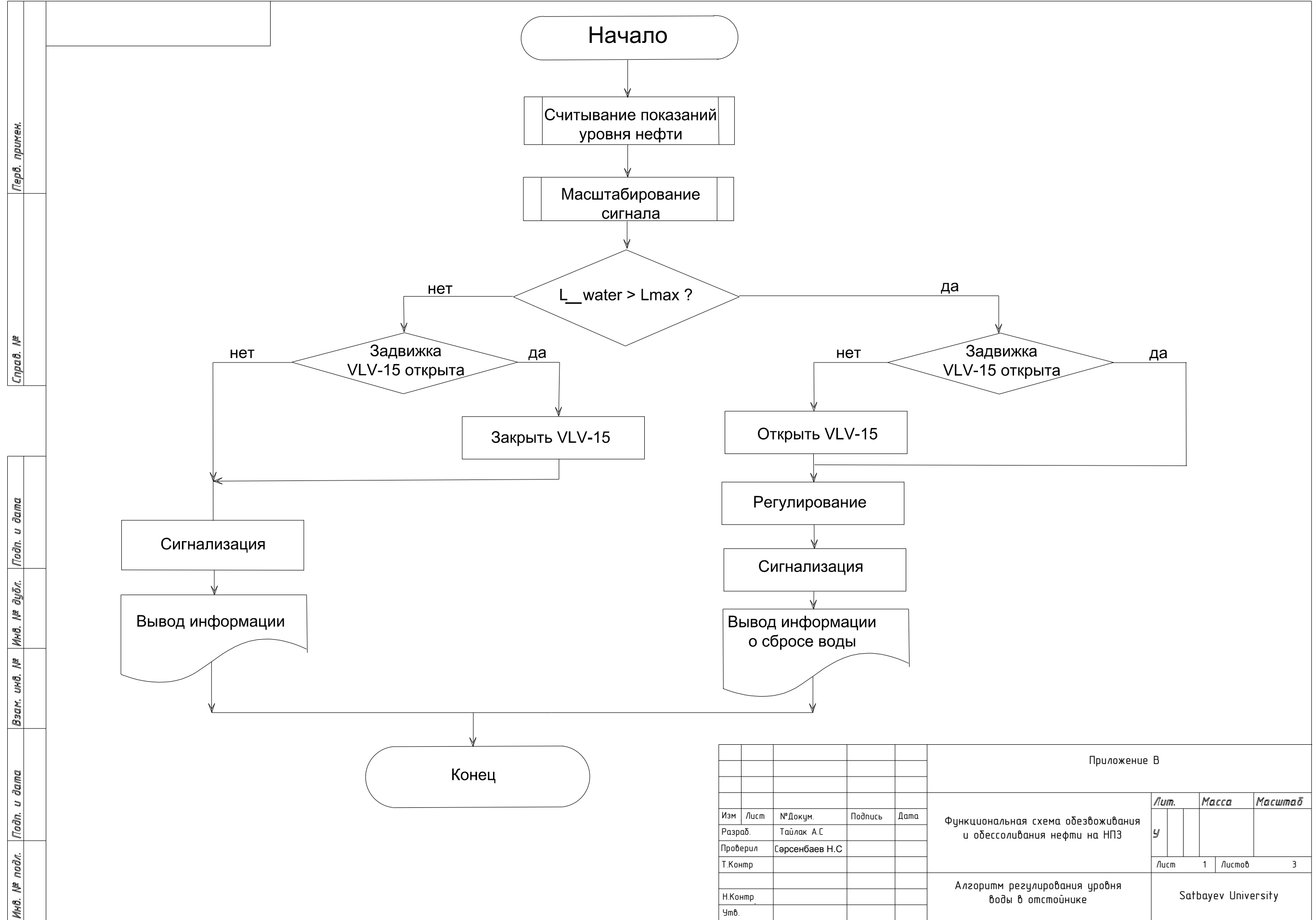
Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



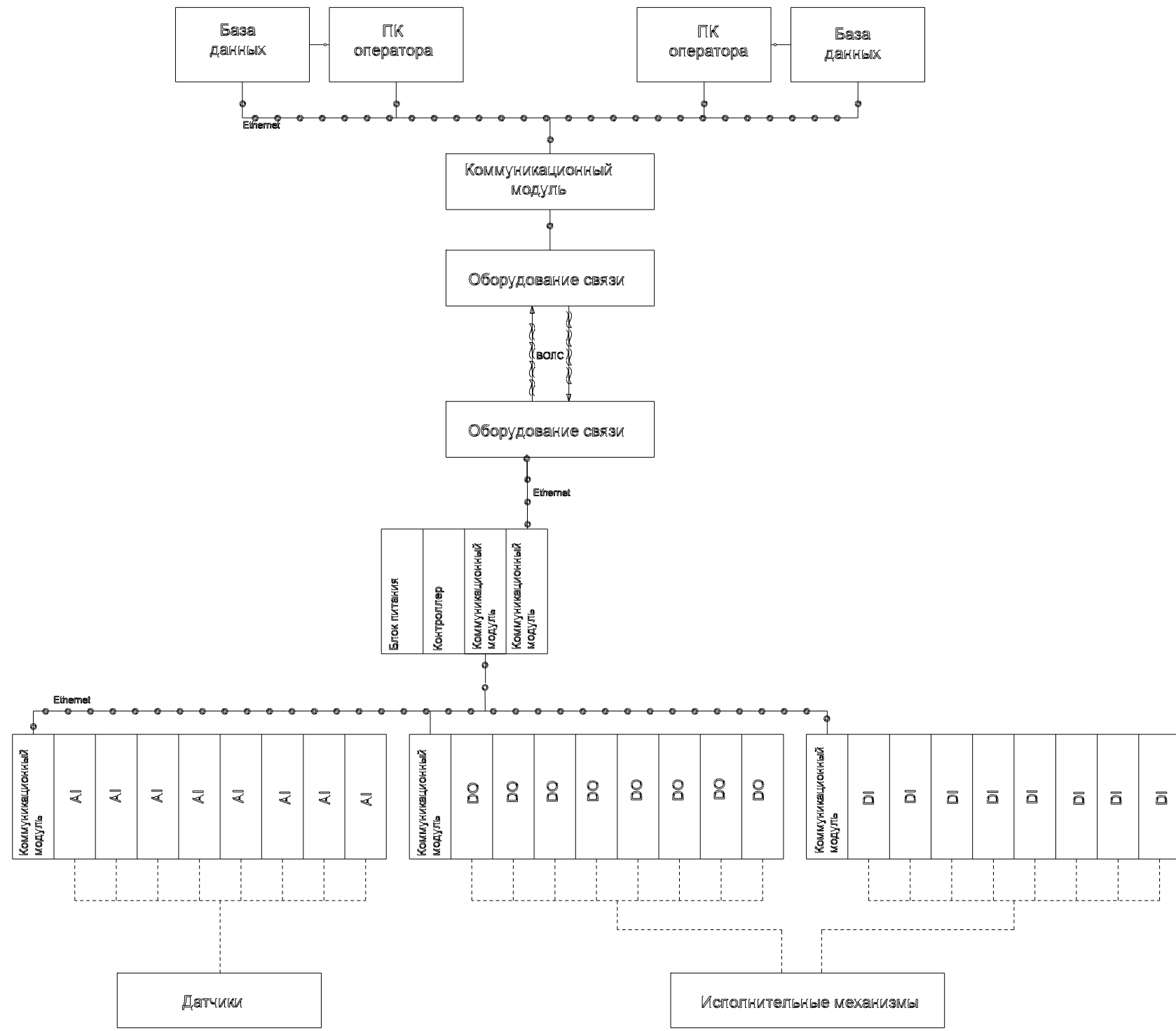
					Приложение Б			
Изм	Лист	№ Докум.	Подпись	Дата	Функциональная схема обезвоживания и одессоливания нефти на НПЗ	Лит.	Масса	Масштаб
							У	
Разраб.		Тайлак А.С						
Проверил		Сарсенбаев Н.С						
Т.Контр						Лист	1	Листов 3
Н.Контр					Функциональная схема автоматизации	Satbayev University		
Утв.								



Перв. примен.  
 Справ. №  
 Подп. и дата  
 Инв. № дубл.  
 Взам. инв. №  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

					Приложение В			
Изм	Лист	№ Докум.	Подпись	Дата	Функциональная схема обезвоживания и обессоливания нефти на НПЗ	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Тайлак А.С				У		
Проверил		Сарсенбаев Н.С						
Т.Контр						Лист	1	Листов
Н.Контр					Алгоритм регулирования уровня воды в отстойнике		Satbayev University	
Чтв.								

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.



					Приложение Г			
Изм	Лист	№ Докум.	Подпись	Дата	Исследование системы автоматического регулирования процессом переработки нефти на нефтехимическом заводе	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Тайлак А.С				У		
Проверил		Сәрсенбаев Н.С						
Т.Контр						Лист	1	Листов
Н.Контр					Структурная схема	Satbayev University		
Чтв.								

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Тайлақ Алдияр

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Исследование системы автоматического регулирования процессом переработки нефти на нефтехимическом заводе

**Научный руководитель:** Нурлан Сарсенбаев

**Коэффициент Подобия 1:** 3

**Коэффициент Подобия 2:** 1.3

**Микропробелы:** 7

**Знаки из других алфавитов:** 5

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

*Дата*



*проверяющий эксперт*



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Тайлақ Алдияр

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Исследование системы автоматического регулирования процессом переработки нефти на нефтехимическом заводе

**Научный руководитель:** Нурлан Сарсенбаев

**Коэффициент Подобия 1:** 3

**Коэффициент Подобия 2:** 1.3

**Микропробелы:** 7

**Знаки из других алфавитов:** 5

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

*Дата*

*Заведующий кафедрой*



Институт Автоматики и информационных технологий  
Кафедра Автоматизации и управления

**ОТЗЫВ**  
**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**  
на дипломную работу студента  
**Тайлака Алдияра Сакенұлы**

На дипломный проект студента 4 курса Казахского национального исследовательского технического университета по специальности 5В070200 – Автоматизация и управление **Тайлака Алдияра Сакенұлы**, на тему: «Исследование системы автоматического регулирования процессом переработки нефти на нефтехимическом заводе»

В данном дипломном проекте была описана установка комплексной подготовки нефти, применяемая на нефтехимических заводах. По функциональной схеме изучаемого объекта были подобраны технические средства автоматизации с указанием их технических характеристик и принципов работы. С помощью математического описания элементов структурной схемы, были рассчитаны передаточные функции замкнутой и разомкнутой системы регулирования уровня. Моделирование работы системы проводилось в среде «MATLAB» с получением графика переходного процесса. Основываясь на результатах моделирования был проведен анализ устойчивости системы, прямых оценок качеств и был синтезирован регулятор.

Дипломная работа оформлена согласно с требованиями ГОСТ, предъявляемых к оформлению учебных работ.

Дипломный проект выполнен **Тайлақ Алдияром** самостоятельно. В частности автором была составлена и исследована математическая модель регулирования уровня воды в отстойнике с последующим ее моделированием в среде «MATLAB». Автором был описан принцип работы установок переработки и подготовки нефти, применяемых на нефтехимических заводах. Разработана модель системы автоматического регулирования уровня воды в отстойнике и проведен анализ устойчивости системы.

**Оценка работы**

Дипломный проект соответствует требованиям, актуален и имеет практическую значимость. Дипломант **Тайлақ Алдияр Сакенұлы** заслуживает присвоения ему академической степени «бакалавр» по специальности «5В070200 – Автоматизация и управление»

Научный руководитель

канд.техн.наук,

ассистент-профессор

 Сарсенбаев Н.С.

11 мая 2022г.



## РЕЦЕНЗИЯ

На дипломный проект студента 4 курса Казахского национального исследовательского технического университета по специальности 5В070200 – Автоматизация и управление **Тайлака Алдияра Сәкенұлы**, на тему: «Исследование системы автоматического регулирования процессом переработки нефти на нефтехимическом заводе»

Выполнено:

- а) графическая часть на \_\_\_\_\_ листах
- б) пояснительная записка на 61 страницах

Развитие технологий приводит к росту потребления энергии. И на сегодняшний день большое количество стран удовлетворяют подобное потребление за счет нефти и газа. Находясь на двенадцатом месте в списке стран по запасам нефти, Казахстан не стал исключением. В связи с постоянно растущей нагрузкой на нефтехимические заводы и имея крупные залежи нефти, развитие процессов нефтепереработки является наиболее перспективным направлением в условиях нашей страны.

В данном дипломном проекте были описаны процессы добычи, подготовки и переработки нефти на технологических установках с описанием их принципов работы. По функциональной схеме изучаемого технологического процесса, были подобраны технические средства автоматизации и была построена структурная схема системы регулирования уровня воды в отстойнике. В среде «MATLAB» путем математического описания элементов с помощью передаточных функций, были получены переходные процессы системы. На основе полученных результатов моделирования был проведен анализ устойчивости системы и прямых оценок качеств с последующим синтезом регулятора.

Дипломная работа оформлена согласно с требованиями ГОСТ, предъявляемых к оформлению учебных работ.

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

К дипломной работе имеются следующие замечания:

- не обоснован выбор новых контроллеров,
- некоторые графические изображения не четкие.

### Оценка работы

Дипломный проект соответствует требованиям, актуален и имеет практическую значимость, дипломный проект выполнен на оценку 90% «отлично», а дипломант **Тайлак Алдияр Сәкенұлы** заслуживает присвоения ему академической степени «бакалавр» техники и технологии по специальности «5В070200– Автоматизация и управление»

Рецензент

Доктор PhD, зав. кафедрой

ЭМиЭП, АУЭИС ЖӨНЕ

Шыныбай Ж.С. (подпись)

«М» 05 2022 г.

