

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

Мыктыбаева Диана Дарханқызы

Разработка автономной интеллектуальной системы управления  
резервуарным парком

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В070200 - Автоматизация и управление

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой АиУ  
д-р. техн. наук, профессор  
 Сулейменов Б.А.  
< > \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

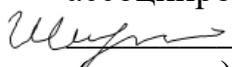
На тему: «Разработка автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком»

По специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Мыктыбаева Д.Д.

Научный руководитель  
канд. техн. наук,  
ассоциированный профессор

 Ширяева О. И.  
(подпись)

«20» мая 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизация и управление

5B070200 - Автоматизации и управления

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой АиУ

д-р. техн. наук, профессор

Сулейменов Б.А.

«29» мая 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся Мыктыбаевой Д.Д.

Тема «Разработка автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком».

Утвержден приказом ректора Университета № 762-б от «27» января 2020 г.

Срок сдачи законченной работы: «7» мая 2020 г.

Исходные данные дипломной работы: математическая модель технологического процесса, техническая литература, данные преддипломной практики.

Перечень подлежащих разработке в дипломной работе вопросов или краткое содержание дипломной работы: а) технологический процесс работы резервуарного парка б) Smart-технология синтеза систем: генетический алгоритм.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): схема автоматизации резервуарного парка; структурная схема модели.

Рекомендуемая основная литература: техническая литература по автоматизации технологических процессов и математическому моделированию в нефтегазовой промышленности из 10 наименований.



## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста генетикалық алгоритм негізінде резервуарлық паркті басқарудың автономды зияткерлік жүйесін әзірлеу мәселелері қарастырылады. Дипломдық жұмыс екі басты бөлімнен тұрады.

Бірінші бөлім технологиялық объектінің сипаттамасын, резервуарлардың құрылымын, цистерна жабдықтарын, автоматика жүйелерінің құрылымдық схемасын, объектінің кіру және шығу параметрлерін қамтиды.

Екінші бөлім SMART - технологияларды қарастырады: генетикалық алгоритм, функционалдық схеманы құру, резервуардың математикалық моделін құру.

Резервуарлық паркті басқару жүйелерінің динамикалық қасиеттеріне талдау жасалады, орнықтылығын, орнықтылық қорын анықтау және жүйенің сапасын бағалауды алу, шешімдерді іздеу алгоритмін іске асыру үшін сапаны лайықты интегралдық бағалау.

Генетикалық алгоритм негізінде резервуарлық паркті басқарудың зияткерлік жүйесінің реттеуішін синтездеу таңдалынады. MATLAB ортасында генетикалық алгоритмді қолдану арқылы реттеуішсіз және реттеуіші бар жүйесіз бастапқы жүйені модельдеу нәтижелерін алу. Simulink MATLAB-да реттеуішті Автоматты реттеумен синтезделген реттеуіштің салыстыруын орындау.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматриваются вопросы разработки автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком на основе генетического алгоритма. Дипломная работа состоит из двух главных разделов.

Первый раздел включает в себя описание технологического объекта, конструкции резервуаров, оборудования цистерн, структурная схема систем автоматизации, входные и выходные параметры объекта.

Второй раздел представляет собой рассмотрение SMART- технологий: генетический алгоритм, построение функциональной схемы, составление математической модели резервуара.

Будет сделан анализ динамических свойств систем управления резервуарным парком, определение устойчивости, запасов устойчивости и получение оценок качества системы, выбрана подходящая интегральная оценка качества для реализации алгоритма поиска решений, синтез регулятора интеллектуальной системы управления резервуарным парком на основе генетического алгоритма.

Получение результатов моделирования исходной системы без регулятора и системы с регулятором с применением генетического алгоритма в среде MATLAB. Выполнение сравнений синтезированного регулятора с автоматической настройкой регулятора в Simulink MATLAB.

## ANNOTATION

This thesis examines the development of an autonomous, intelligent reservoir management system based on a genetic algorithm. The thesis consists of two main sections.

The first section includes a description of the production facility, tank design, tank equipment, structure of automation systems, input and output parameters of the facility.

The second section is an examination of SMART technologies: genetic algorithm, construction of a functional scheme, mathematical model of a reservoir.

Analysis of the dynamic properties of reservoir park management systems, determination of stability, stability reserves and obtaining of system quality assessments, selection of suitable integral quality assessment for realization of the algorithm of solutions.

Synthesis of the regulator of the intelligent system of reservoir park management based on genetic algorithm.

The results of the model of the source system without a regulator and a system with a regulator are obtained using the genetic algorithm in the MATLAB environment. Performs synthetic regulator comparisons with automatic control settings in Simulink MATLAB.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Технологическая часть	11
1.1	Назначение резервуарного парка	11
1.2	Конструкции и оборудование резервуаров	12
1.3	Резервуарный парк как объект управления	13
2	Расчетная часть	17
2.1	Применение генетического алгоритма для задач минимизации	17
2.2	Математическая модель системы управления резервуарным парком	22
2.3	Анализ динамических свойств системы управления резервуарным парком	26
2.4	Синтез регулятора интеллектуальной системы управления резервуарным парком на основе генетического алгоритма	31
	Заключение	39
	Список использованной литературы	40

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация с каждым днем играет все более важную роль в производственной деятельности и жизни человеческого общества, удовлетворяя его растущие потребности. Автоматизация включает в себя инструменты и методы управления, технические концепции и регулирование автоматизированной системы, включая ее проектирование, разработку и обновление. Задачей автоматизации производства является разработка и реализация концепций управления как простыми, так и сложными объектами.

Целью автоматизации является разработка и внедрение в эксплуатацию концепций управления как простыми, так и сложными объектами. Автоматизация предусматривает: оптимизацию процессов в соответствии с определенными конкретными критериями, защиту от непредвиденных или опасных для здоровья ситуаций, поддержку и помощь работающему лицу.

Сегодня практически не осталось технических процессов, которые обходились без автоматизации - простые системы, используемые дома, и в конце концов, большое промышленное производство. Большинство технических средств, используемых в быту, благодаря автоматике обеспечивают безопасную и комфортную среду в повседневной жизни.

Нефтяная промышленность является наиболее важной отраслью экономики Казахстана, от которой зависит экономическое положение и развитие нашей страны. Нефть является важнейшим ресурсом и основой топливно-энергетического комплекса республики.

Основными требованиями, предъявляемыми к системам поставок нефти, являются непрерывность и надежность транспортировки нефти при экономичной и безопасной эксплуатации всего производственного объекта. Соблюдение этих основных требований возможно только при высоком уровне автоматизации.

Автоматизация нефтяной промышленности освобождает человека от сложного и повторяющегося физического труда и обеспечивает, чтобы добыча осуществлялась с такой надежностью, точностью, экономичностью и скоростью, которые не может обеспечить непосредственно участвующее лицо.

Автоматизация резервуарных парков обеспечивает автоматизацию и механизацию операций по приему и выгрузке нефти, эффективность продукции, защита оборудования от аварий, обеспечение более эффективного и экономичного использования резервуарных парков. Объем автоматизации резервуарных парков включает: централизацию контроля и управления, автоматическую защиту трубопроводов от высокого давления, автоматическую защиту от переполнения резервуаров, переключение программного обеспечения резервуаров во время жидкостей и слива; автоматическое тушение огня.

**Цель работы.** Разработка автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком. Исследование генетического алгоритма путем регулирования уровня жидкости в резервуаре.

**Актуальность** выбранной темы, обуславливается применением современных информационных подсистем для разработки объектов нефтяной промышленности, что ведет к повышению качества продукции, сокращение издержек и ручного труда в производстве, что также несет в себе значительные экономические выгоды и влечет за собой безопасное и продуктивное производство.

**Основные задачи.** Основными задачами в разработке автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком являются:

- разработка структурной и функциональной схемы резервуарного парка;
- анализ системы управления;
- синтез регулятора на основе генетического алгоритма;
- сопоставление полученных результатов с типовыми методами.

## 1 Технологическая часть

### 1.1 Назначение резервуарного парка

Для хранения, приема и сбора нефти используются нефтехранилища, состоящие из резервуаров и связывающего их трубопровода. Эти склады называются резервуарными парками. Крупные резервуарные парки, которые являются частью терминалов, промежуточных и головных станций основного трубопровода, имеют высокую пропускную способность и функционируют круглосуточно.

Резервуарные парки должны обеспечивать компенсацию за сезонные и пиковые отклонения в потреблении нефти, за однородную нагрузку магистральных трубопроводов, за накопление стратегических и чрезвычайных резервов для осуществления отопительных операций, смешивания и коммерческого использования для измерения количества продукция.

Более пяти резервуаров используются для приема нефтепродуктов различных сортов, в коммерческих операциях, в трубопроводах или налив. Одной из особенностей эксплуатации резервуаров считается увеличение скорости разрядки. Насосная мощность может достигать 5000-8000 м<sup>3</sup>/ч.

Резервуар представляет собой вертикально установленный большой металлический цилиндр, плоскость которого изготовлена из спиральной стали. В нижней части цистерны толщина стенок больше, чем в верхней части [1].

Резервуары различной мощности используются в водохранилищах, объем которых колеблется от 100 до 120000 м<sup>3</sup>. Степень, ниже которой откачка из резервуара не представляется возможной, называется минимальным уровнем. Максимальный уровень корпуса определяется на основе условий полного наполнения корпуса без учета его конструкции. Превышение степени наполнения до аварийного уровня в случае выхода из строя системы автоматизации и дистанционного управления системы резервуара. В зависимости от степени наполнения можно определить объем нефти в цистерне в соответствии с калибровочными таблицами, в которых, исходя из точных измерений, показан объем нефти в баке. Благодаря приемным каналам, масло поступает в цистерну и выкачивается через распределительные каналы. Один трубопровод может использоваться и в качестве распылителя, и в качестве приемника [1].

Соединение резервуаров с их коллекторами происходит с использованием специальных соединительных труб. Клапаны, которые разделяют резервуар от коллектора, устанавливаются на соединительных трубопроводах рядом с резервуарными баками. Так же, копии режущих замков монтируют на соединительных трубопроводах в соединениях с коллекторами. Некоторые из этих болтов используются в технологическом

процессе и выполняют свою функцию, тогда как другие могут не работать при выходе из строя рабочих шлюзов. Из нефтепровода нефть поступает в приемные резервуары и распределяется в обычные резервуарные баки, а насосные резервуары занимаются подачей ее в подпочвенные резервуары.

## 1.2 Конструкции и оборудование резервуаров

Так как резервуары для хранения нефти должны отвечать требованиям по пожарной безопасности, при построении используют материалы неподдающиеся горению. Для таких нужд как, сбор, хранение и измерение применяют резервуары, сделанные из стали, но могут встречаться и в бетонном и железобетонном исполнении. Располагают его над землей, под землей или же используется относительное заглубление.

Толщина стенок резервуаров должна быть примерно 14+6мм. Толщина крыш резервуарных баков, которые изготавливаются из стали, должна быть не больше 2.5 мм.

Железобетонные цистерны используются редко, так как они в основном предназначены только для хранения мазута и легкого масла. Внутренние стенки цистерн из железобетона должны быть покрыты сплошным защитным слоем, предотвращающим фильтрацию содержимого через бетонные стенки резервуара.

Нефтяные цистерны могут различаться по формам и по конструкции, делаются из листовой стали и железобетона. Устройство стальных резервуаров зависит от их назначения, т.е. все зависит от технологических параметров. Резервуары подразделяются по форме: надземные и подземные, вертикальные и горизонтальные, цилиндрические и сфероидальные.

Железобетонные цистерны могут иметь круглую и прямоугольную форму. Круглые корпуса являются наиболее экономичными, а прямоугольные корпуса - более простыми. Железобетонные цистерны более выгодны, чем стальные цистерны с точки зрения экономии металла, и они также медленнее нагревают масло благодаря толстым стенкам и уменьшают потери испарения.

Объем вертикальных стальных резервуаров колеблется в пределах от 100 до 120000 м<sup>3</sup>. Покрытие цистерны может быть закреплено или иметь плавающую крышу - понтон.

Горизонтальные цилиндрические цистерны могут размещаться на земле и под землей при условии, что их объем имеет значение от 3 до 200 м<sup>3</sup>. Форма днища могут быть разными, обычно бывают сферическими, плоскими или коническими.

Под оборудованием в резервуарах понимают:

- люк для выполнения работ по очистке, ремонту и осмотра резервуара;
- хлопушка;
- люк, необходимый для освещения и вентиляции;
- пробоотборник;
- огневой предохранитель, изолирующий от попадания огня;

- пенокамера, нужный для тушения пожара;
- шарнирный подъемный трубопровод, необходимый в целях откачки нефти с резервуара;
- дыхательные и предохранительные клапаны, которые применяются в качестве защиты бака от потери легких фракций нефти и аварии во время разгрузочных операций.

Люки устанавливаются для очистки, вентиляции и внутреннего осмотра контейнера.

Хлопушка используется для предотвращения потери нефти при неисправности защелки резервуара или разрыв трубы [2].

Пробоотборник используется для отбора проб нефти или другой жидкости из резервуаров.

Дыхательный клапан нужен для управления давлением паров во время добычи или заправки нефти. При увеличении давления внутри резервуарного бака клапан поднимается, и лишний газ выходит наружу, а при уменьшении давления клапан переходит в открытое положение и в резервуар поступает воздух. Клапан настраивается на конкретное значение давления, открываясь и закрываясь только при выбранных значениях внутреннего давления или разряжения.

Предохранительный клапан сброса давления устанавливается при контроле давления газообразных паров воздуха в резервуаре лишь в том случае, если дыхательный клапан вышел из строя или работает не корректно.

### **1.3 Резервуарный парк как объект управления**

Основными целями автоматизации резервуарных парков являются:

- удаленное регулирование за процессом наполнения и слива резервуаров;
- удаленный контроль над клапанами на сливных и приемных трубопроводах цистерн;
- слежение за параметрами учета нефти, которые хранятся в резервуарных баках;
- удаленный контроль над насосным оборудованием.

Перед тем как представлять резервуарный парк, как объект управления необходимо уделить внимание ряду важных замечаний:

- на использование одно и того же объекта, то есть необходимость в типовых оборудованьях;
- на параметры одного резервуара в масштабе состояния всех объектов;
- на необходимость в автоматизации систем пожарной безопасности и пожаротушения, учитывая вещества, с которыми приходится работать;
- на колебания напряжения, применение оборудования телемеханического типа, запасные вспомогательные системы, связано это с отдаленностью от мест проживания населения;

- на использование систем управления и регулирования, которые в первую очередь минимизируют потери в экономическом плане из-за значимости самого объекта в масштабе целой страны.

Для повышения скорости наполнения и опорожнения резервуарных баков необходимо автоматическое подсоединение их к трубам, выполняющих функции откачки. Особенно это относится к главным насосным станциям, так как имеет место влияние производительность насосных оборудований на быстроту наполнения цистерн.

Электрические схемы контроля и управления являются схемами, которые чаще всего используются при обслуживании резервуарного парка.

Благодаря автоматизации резервуарных паров можно добиться:

- управления резервуарным парком из отдаленного пульта управления, автоматический контроль является централизованным;
- повышения точности измерения уровня: мониторинг уровня жидкости может происходить в пределах 1 мм;
- использования цифровой передачи данных, которая позволит исключить просчеты;
- электронной обработки информации, благодаря которым обеспечиваются результаты измерений и данные в соответствующих единицах измерений о количественной информации содержимого нефтепродукта;
- высокая надежность;
- эффективность, достигаемая благодаря повышению точности операций, связанных с сырьевыми товарами, и эффективности использования резервуаров;
- благодаря тому, что нет необходимости в рабочих, которым придется выбираться на поле, повысится организация труда;
- возможности модернизации в будущем, а информация может быть сохранена в базе данных для дальнейшего использования.

На рисунке 1 представлена структурная схема систем автоматизации резервуарного парка.



Рисунок 1.1 – АСУ ТП резервуарного парка

Основные параметры, которые подлежат контролю:

- предельные значения содержания нефти в цистерне;
- уровни, указанные в производственной карте контейнера;

- предельный уровень нефти при чрезвычайных ситуациях;
- предельное значение температуры резервуара .

АСУ ТП – это программные и технические средства, осуществляющие автоматизацию управления технологическим оборудованием [3].

Благодаря ему осуществляется мониторинг следующих параметров:

- уровень нефти и воды в резервуарах;
- предельные уровни в резервуарах;
- температура;
- давление нефти во входящих и выходящих трубопроводах.

Система газообнаружения – это система, необходимая для нахождения точек утечки газов и своевременного уведомления, оповещения и сигнализации в целях безопасного труда.

Система газообнаружения необходима, так как выполняет ряд важных функций:

- обнаружение утечек;
- проверка наличия газа в помещениях;
- оповещение с помощью света и звука при утечках.

Система пожаротушения – система, необходимая для обнаружения источников воспламенения и огня, сигнализации о пожаре и уведомления персонала о способах тушения пожаров и эвакуации.

Чтобы рассмотреть резервуарный парк как объект управления, переменные следует разделить на отдельные части или группы.

В качестве входных переменных выступают:

- $X_1$  – качественный состав поступившей нефти;
- $X_2$  – давление, оказываемое нефтью при подаче ее в резервуар;
- $X_3$  – количество поступившей из нефтепровода нефти;
- $X_4$  – температура поступившей нефти.

Управляющие переменные:

- $U_1$  – давление поступающей нефти;
- $U_2$  – давление выходящей нефти.

Переменные, связанные с условием протекания технологического процесса:

- $Z_1$  – уровень подтоварной воды;
- $Z_2$  – вязкость нефти;
- $Z_3$  – температура нефти внутри резервуара;
- $Z_4$  – температура стенок резервуара;
- $Z_5$  – давление паров нефти, находящееся вне жидкого пространства резервуарного бака.

Выходные переменные:

- $Y_1$  – нижний уровень резервуара;
- $Y_2$  – верхний уровень резервуара;
- $Y_3$  – потеря нефти с «дыханиями».

Возмущающими воздействиями в данном процессе являются:

- состав нефти;

- состояние насосов;
- колебания температуры окружающей среды;
- состояние резервуаров.

Схема с изображением всех переменных, без учета возмущающих воздействий показана на рисунке 1.2.

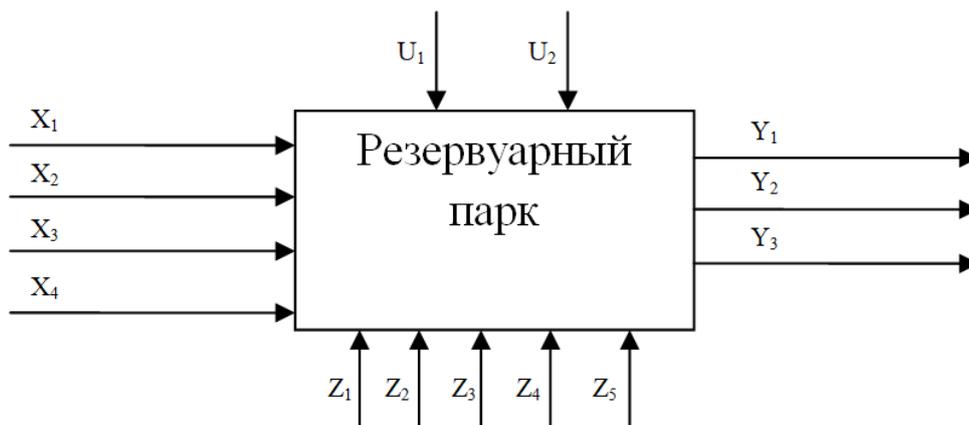


Рисунок 1.2 – Схема с переменными процесса

Для осуществления задач минимизации с применением генетического алгоритма достаточно рассмотреть объект управления с одним входом и с одним выходом.

## 2 Расчетная часть

### 2.1 Применение генетического алгоритма для задач минимизации

Генетический алгоритм (ГА) относится к стохастическим, адаптивным методам поиска, идеально подходящие для решения оптимизационных задач. Генетический алгоритм совмещает в себе переборный метод (скрещивание) и градиентный спуск (отбор лучших особей).

Основной идеей алгоритма является организация структуры «естественного отбора» среди многих решений. Поскольку генетический алгоритм использует биологические подходы, вводятся свойственная им терминология. Популяция относится к группе всех экспериментальных решений, в то время как единственное решение, написанное двоичным кодом, называется хромосомой или особью.

В теории естественного отбора предполагается, что в борьбе за существование выживает особь, наиболее подходящая для создания потомства. В этом контексте приспособленность характеризуется целевой функцией, и чем меньше будет ее значение, тем более адаптируемым является индивидуум.

Рассмотрим концепцию наследования. Принцип наследования заключается в том, что следующее поколение будет похоже на своих родителей, причем потомки родителей будут наиболее адаптированы в своем поколении.

Клетки каждой особи содержат набор данных об этой особи (хромосомы). Нить ДНК является основной частью хромосомы, в которой определяется какие типовые функции будет выполнять данная клетка и какие химические процессы будут происходить в ней. Отрезок цепочки ДНК, в котором отражается индивидуальное свойство особи (например, пигментация радужной оболочки, цвет кожного покрова и т.д.) называется геном. Генетические признаки человека описываются приблизительно 60 000 генами, которые имеют длину около 90 000 000 нуклеотидов.

Существуют два типа клеток: соматические клетки с парными хромосомами и половые клетки. Каждая соматическая клетка содержит 23 пары хромосом, в которых одна пара происходит от одного родителя, а другая от другого. В отличие от этого, половые клетки имеют 23 непарные хромосомы, которые сливаются, чтобы получить набор из 46 хромосом. Формирование новых комбинаций хромосом называется кроссовер. Во время кроссовера, как показано на рисунке 2.1, парные хромосомы соматических клеток приближаются друг к другу, их ДНК-нити разрываются в случайных местах и их части обмениваются. Эти хромосомы позже появятся в половой клетке, реализуя набор генетической информации об особи.

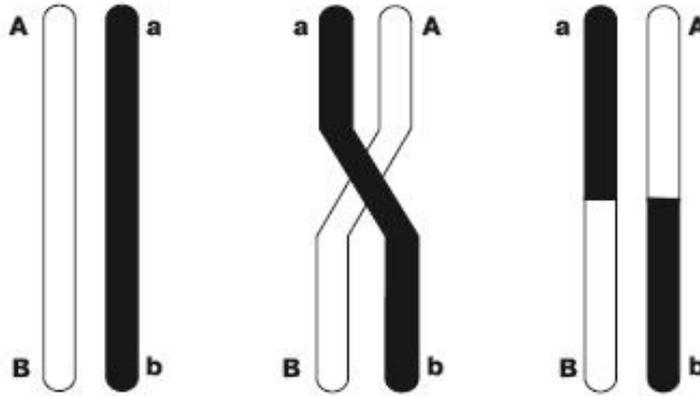


Рисунок 2.1 – Условная схема кроссинговера

На наследственность также влияют мутации, которые представляют изменения в случайных областях ДНК из-за внешних факторов (например, излучение). Если мутация проявляется в половых органах, то в новых генерациях возможны дефектные наследственные изменения [4].

Эволюция – процесс постоянной оптимизации биологических форм жизни. В случае если в некотором множестве дана сложная функция, зависящая от нескольких переменных, тогда под ГА подразумевают программу, задача которой найти в краткосрочный период времени точку, в которой значение функции будет находиться ближе всего к максимуму (минимуму).

Терминология ГА представляет собой синтез генетических и искусственных понятий. Таким образом, для определения, заимствованного с генетики, имеется аналог (символический).

Хромосома – строка или вектор, которая состоит из каких-либо чисел. Обычно применяется двоичное кодирование для представления данных в бинарном виде. При этом позиция или бит хромосомы называется геном.

Особь – набор хромосом (способ решения задачи).

Кроссинговер – операция обмена частями пар хромосом.

Локус – позиция гена в хромосоме.

Мутация – процесс случайного изменения одной или нескольких позиций в хромосоме.

Эпистаз – характеристики, показывающая влияние гена на пригодность особи в зависимости от значения гена, который присутствует в другом месте.

Аллель – последовательность генов.

Хеммингово расстояние – пространство, состоящее из булевых векторов, в котором введена метрика Хемминга. Он изображён как  $n$ -мерный гиперкуб с вершинами, расположенными на определенном расстоянии. Кроме того, расстояние между двумя вершинами можно определить как длину наименьшего пути, измеренного вдоль рёбер.

Расстояние Хэмминга – это число различных компонентов в векторах. Вектор Булева – это вектор, состоящий из компонентов, которые происходят из бычьего множества. Например,  $\{1, -1\}$  или  $\{0, 1\}$ .

**Алгоритм генетического метода.** Существует набор экспериментальных решений (популяция). Необходимо создать на основе исходной популяции новую, таким образом, чтобы пробные решения находились ближе к глобальному минимуму заданной целевой функции. Пары формируются для размножения из первоначальной популяции.

Процесс генетического алгоритма состоит из нескольких этапов:

- 1) Генерация первоначальной популяции, состоящей из  $n$  хромосом.
- 2) Расчет пригодности каждой отдельной хромосомы.
- 3) Выборка пар хромосом-родителей с помощью одного из известных способов отбора.
- 4) Кроссинговер пар родителей с произведением двух потомков, с вероятностью  $p_c$ .
- 5) Мутация потомков с вероятностью  $p_m$ .
- 6) Повтор итераций 3-5 до тех пор, пока не будет сгенерировано новое поколение популяции, которые будут содержать  $n$  хромосом.
- 7) Повтор итераций 2-6 до тех пор, пока не будет выполнен критерий останова процесса.

Критерием останова процесса работы ГА может быть заданным количеством  $m$  поколений или схождением популяции. Под схождением понимают состояние популяции, при котором все строки популяции практически одинаковы и находятся в области экстремума. Кроссовер не оказывает существенного влияния на изменение популяций, так как потомство является копией родителей с переменными хромосомами. Из-за мутации особи с меньшими способностями подвержены вымиранию. Можно сказать, что схождение популяции - это поиск наилучшего или ближайшего решения.

Работа простого генетического алгоритма описана на рисунке 2.2. Основными операторами в ГА являются кроссовер, мутация, отбор (отбор хромосом) и родительский отбор. От них зависит эффективность и реализация ГА. Рассмотрим некоторые операторы.

Панмиксия считается самым простым и универсальным оператором родительского отбора. Предполагается, что каждый член населения соответствует случайному числу из  $[1, n]$ , где  $n$  - число особей в популяции. Эти цифры отражают число особей, которые будут участвовать в операции по скрещиванию. Определенное число особей, которые образуют пары с собой, не будут участвовать в процессе размножения, в то время как некоторые будут несколько раз участвовать с другими популяциями. Эффективность этого алгоритма снижается по мере роста популяции.

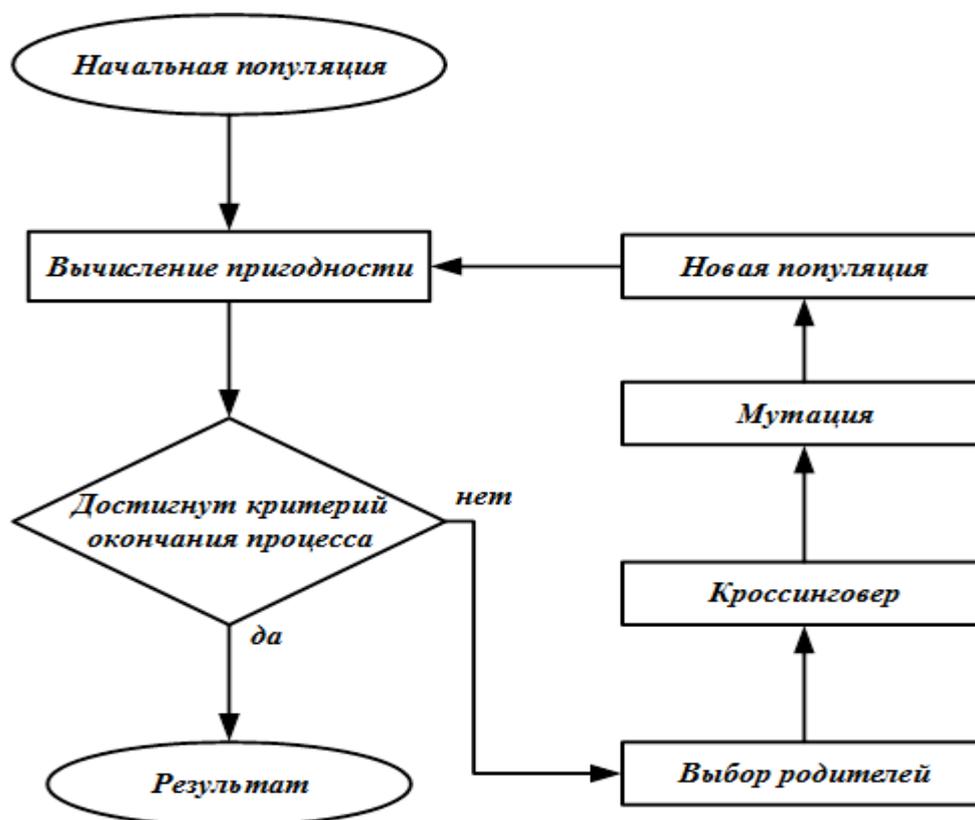


Рисунок 2.2 – Схема простого генетического алгоритма

Инбридинг – метод, в котором один родитель выбирается случайным образом, а другой является ближайшим к первому членом популяции. Здесь ближайшей особью может описываться минимальное расстояние Хемминга (для бинарных строк) или евклидово расстояние между векторами.

Аутбридинг – метод, похожий на инбридинг. Отличие в том, что пары скрещивания отбираются из максимально далеких особей. Аутбридинг заставляет генетический алгоритм рассматривать новые и неисследованные области.

Процесс селекции заключается в том, что родителями становятся только такие особи, у которых значение приспособленности не менее определенной пороговой величины (в качестве примера может быть средняя приспособленность по популяции). Самые распространенные методы селекции – метод рулетки.

Метод рулетки (англ. roulette-wheel selection) подразумевает отбор особей через вращение рулетки  $N$ -ое количество раз. Каждый сектор колеса рулетки принадлежит одной особи, причем размер сектора пропорционален вероятности попадания особи в новую популяцию. Такая вероятность  $P(i)$  вычисляется по формуле:

$$P(i) = \frac{f(i)}{\sum_{i=1}^N f(i)},$$

где  $f(i)$  это пригодность  $i$ -ой особи. Ожидаемое число копий  $i$ -ой хромосомы после вращения рулетки определяются по формуле:

$$N_i = P(i) \cdot N.$$

Оператор рекомбинации (воспроизведения) используется после операции отбора родителей с целью получения новых потомков. Основная идея заключается в том, что потомки наследуют генетическую информацию от обоих родителей.

Потомки генерируются в соответствии со следующим правилом:

$$C = P_1 + \alpha(P_2 - P_1)$$

где  $C$  – потомок;

$P_1$  и  $P_2$  – первый и второй родители;

$\alpha$  – случайное число на отрезке  $[d, 1+d]$ ,  $d \geq 0$ . Считается, что наиболее оптимальное потомство создается при  $d = 0.25$ .

Гены мутируют на основании следующего правила:

$$X_n = X_c \pm \alpha \cdot \delta$$

где  $X_n$  – новая переменная;

$X_c$  – старая переменная;

$\alpha = 0.5$  поисковое пространство (интервал изменения переменной).

Коэффициент  $\delta$  высчитывается по формуле :

$$\delta = \sum_{i=1}^m a(i)2^{-i},$$

где  $a(i) = 1$  с вероятностью  $\frac{1}{m}$ , в противном случае  $a(i) = 0$ ,  $m$  – параметр.

Для отбора особей новой популяции применяется отбор усечением, который основывается на использовании популяции, состоящей из родителей и потомства, которые отсортированы в порядке возрастания функции пригодности. Особи непригодные для скрещивания отсеиваются в соответствии с порогом  $T \in [0;1]$ , который показывает количественную долю особей, принимающих участие в отборе. Процесс заключается в записи особей, попавших в допустимую область случайным образом до тех пор, пока количество особей в новой популяции.

## 2.2 Математическая модель системы управления резервуарным парком

Математическая модель процесса – это система уравнений и логических соотношений, которая отражает сущность явлений, протекающих в системе, и поведение системы при изменении входных переменных.

Для исследования генетического алгоритма рассмотрим регулирование уровня резервуара, как объект управления. Тогда технологическая схема объекта с одним входом будет выглядеть следующим образом, как показано на рисунке 2.3:

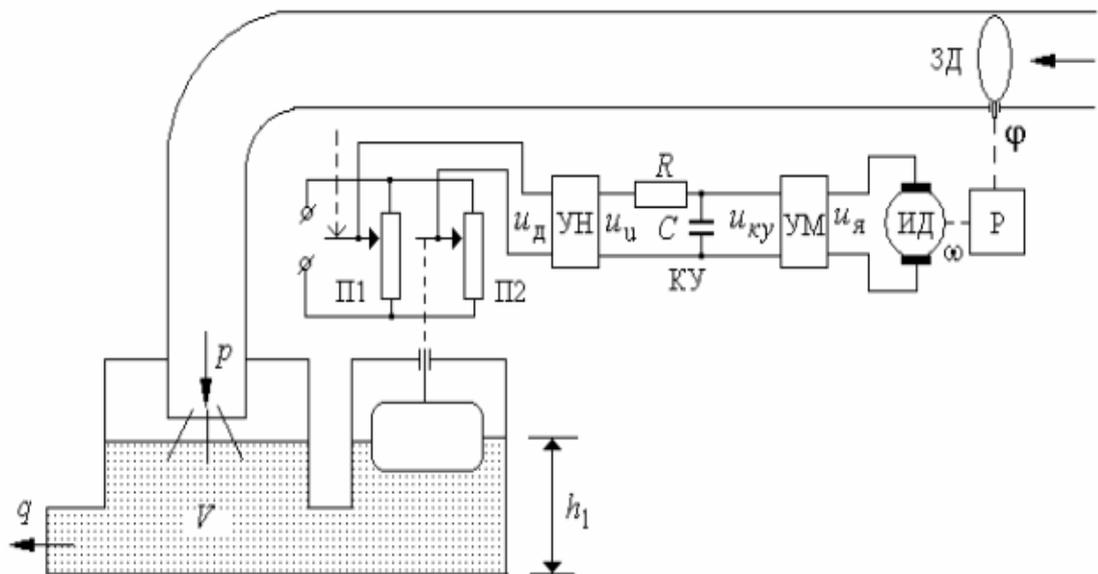


Рисунок 2.3 – Схема регулирования уровня жидкости в открытом баке

Здесь П1 – задающий потенциометр, П2 – потенциометр обратной связи, УН – усилитель напряжения, КУ – последовательное корректирующее устройство, УМ – усилитель мощности, ИД – исполнительный двигатель постоянного тока, Р – понижающий редуктор, ЗД – задвижка.

Линеаризованные уравнения элементов системы имеют вид:

- устройство сравнения:

$$h = h_1 - h_0, u_d = k_d \cdot h.$$

- усилители:

$$u_u = k_u \cdot u_d, u_я = k_m \cdot u_{кy}$$

- двигатель и редуктор:

$$T_{\partial\alpha} \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_{ld} \cdot u_z, \frac{d\varphi}{dt} = k_p \cdot \omega,$$

- трубопровод и бак:

$$T_1 \frac{d\Delta p}{dt} + \Delta p = k_1 \cdot \Delta \varphi, h_1 = k_2 \cdot (\Delta p - \Delta q),$$

- корректирующее устройство представляет из себя RC-цепь :

$$RC \frac{du_{ky}}{dt} + u_{ky} = u_u.$$

Как видно по схеме на рисунке 2.4, для получения передаточной функции всей системы необходимо последовательно умножить передаточные функции всех ее элементов и замкнуть отрицательной обратной связью.

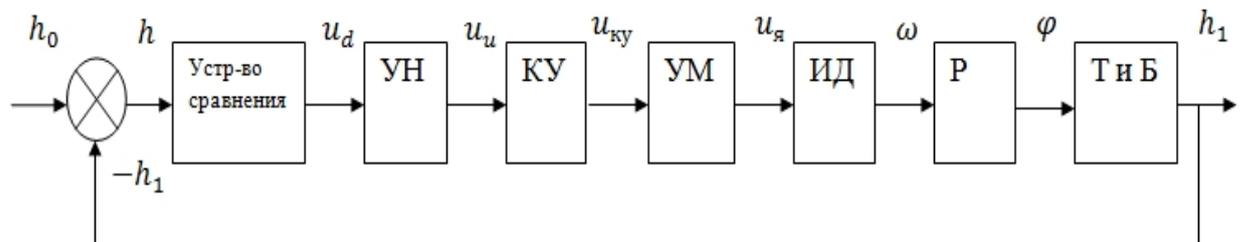


Рисунок 2.4 –Функциональная схема замкнутой системы

$$G(s) = k_o \cdot k_u \cdot \frac{1}{RCs + 1} \cdot k_m \cdot \frac{k_{\text{дв}}}{T_{\text{дв}}s + 1} \cdot \frac{k_p}{s} \cdot \frac{k_1}{T_1s + 1} \cdot k_2$$

В качестве параметров объекта управления используем следующую таблицу 2.1:

Таблица 2.1 – Параметры объекта управления

$k_d$	$K_{\text{и}}$	$K_{\text{ум}}$	$T_{\text{ум}}$	$K_{\text{дв}}$	$T_{\text{дв}}$	$K_p$	$K_{\text{т}}$	$T_{\text{т}}$	R	C
0.1	10	1	0.02	2	0.02	0.001	10	0.015	0.1	0.1

Используя исходные данные из таблицы 2.1, получим следующую функцию:

$$G(s) = 0.1 \cdot 10 \cdot \frac{1}{0.1 \cdot 0.1s + 1} \cdot 1 \cdot \frac{2}{0.02s + 1} \cdot \frac{0.001}{s} \cdot \frac{10}{0.015s + 1} \cdot 3.5 =$$

$$= \frac{0.07}{0.000003s^4 + 0.00065s^3 + 0.045s + s} \quad (2.1)$$

Данная передаточная функция (2.1) является разомкнутой.

Разомкнутая система – система без обратной связи. Для анализа и синтеза регулятора нам понадобится замкнутая система.

Замкнутая система – система, имеющая общую обратную связь.

Чтобы получить замкнутую систему необходимо числитель прибавить к знаменателю, так как используется единичная обратная связь. Тогда, замкнутая система выглядит следующим образом:

$$G(s) = \frac{0.07}{0.000003s^4 + 0.00065s^3 + 0.045s + s + 0.07}$$

Переходная характеристика данной системы показана на рисунке 2.5

Переходная характеристика – это реакция звена на единичный ступенчатый сигнал.

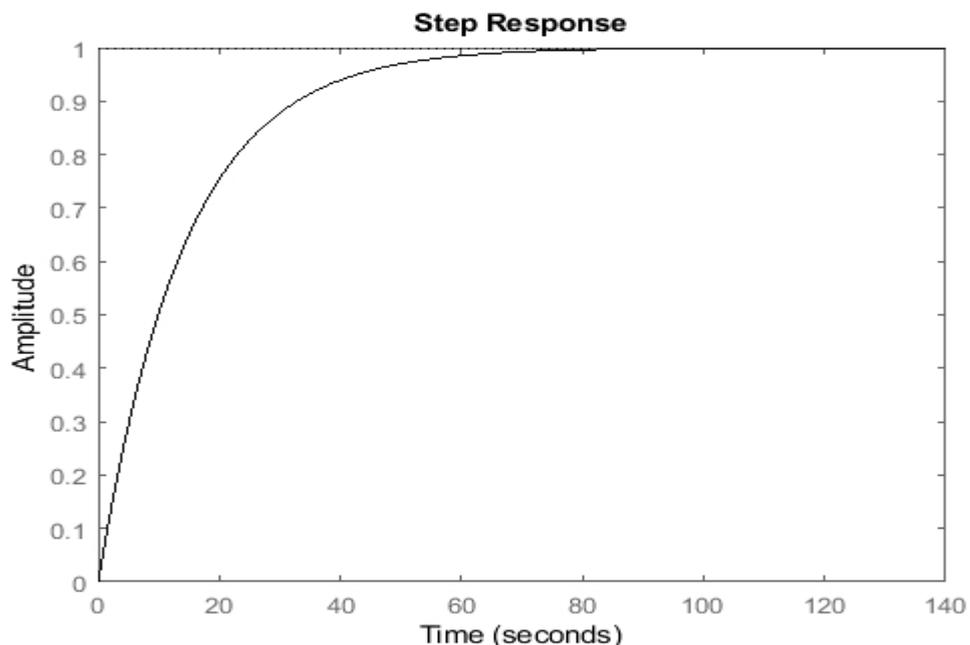


Рисунок 2.5 – Переходная характеристика объекта управления

Как мы можем видеть по графику, характеристика данной системы напоминает апериодическое звено первого порядка, которое не имеет колебаний. Недостатком системы является время ее регулирования.

**АЧХ, ФЧХ, АФЧХ.** Для наглядного представления частотных свойств звена используется так называемые частотные характеристики.

Амплитудно-частотная характеристика показывает, как пропускает звено сигнал различной частоты. Оценка пропускания делается по отношению амплитуд выходной и входной величин [5].

Фазо-частотная характеристика показывает фазовые сдвиги, вносимые звеном на различных частотах.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика строится на комплексной плоскости.

Для нахождения частотных характеристик необходимо найти действительные и мнимые части передаточной функции с помощью преобразования Фурье. Для этого оператор  $s$  заменяем на  $j\omega$ :

$$G(j\omega) = \frac{0.07}{0.000003(j\omega)^4 + 0.00065(j\omega)^3 + 0.045(j\omega) + j\omega}$$

На рисунке 2.6 показана АФЧХ дополненная в бесконечности, так как разомкнутая система представляет с собой интегральное звено, стремящийся к бесконечности.

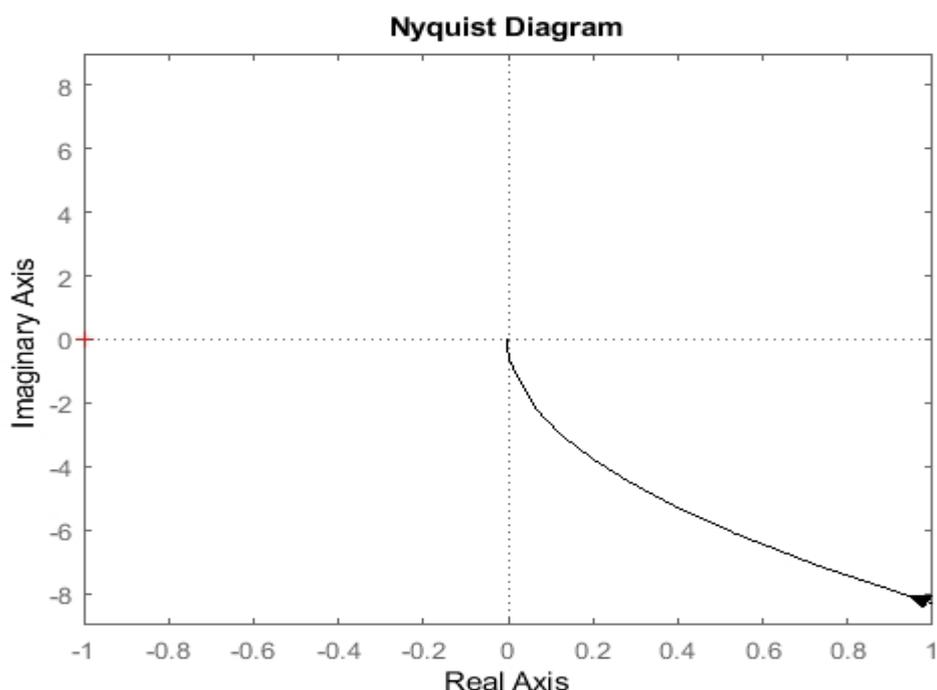


Рисунок 2.6 – АФЧХ разомкнутой системы

На рисунке 2.7 показана АЧХ и ФЧХ передаточной функции:

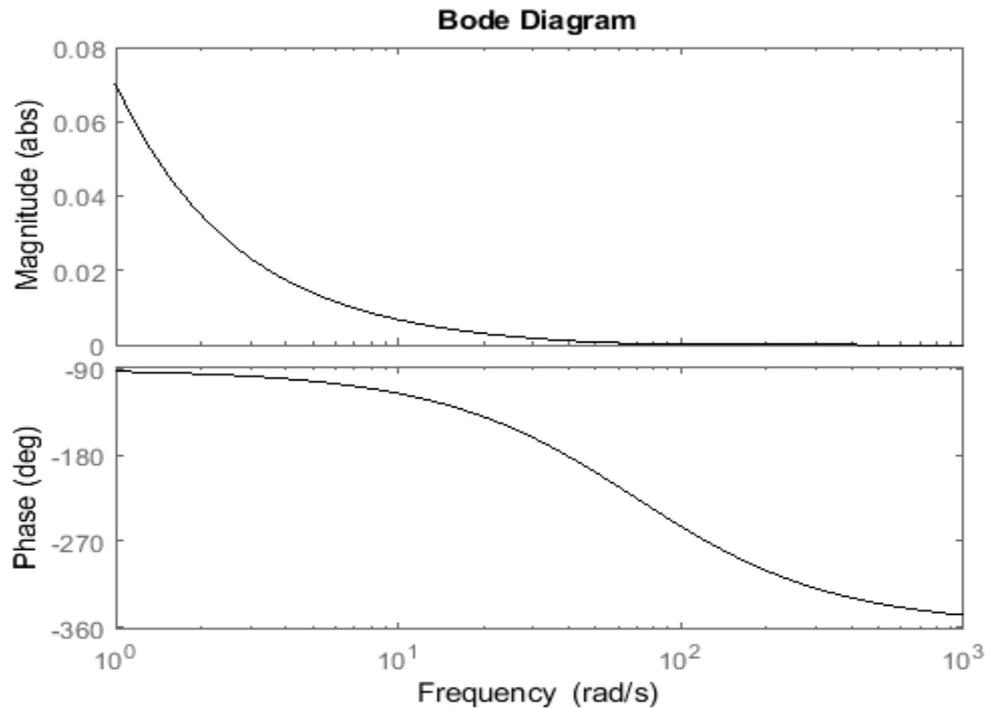


Рисунок 2.7 – АЧХ и ФЧХ разомкнутой системы

### 2.3 Анализ динамических свойств системы управления резервуарным парком

Важнейшей задачей анализа динамических систем управления является решение вопроса об их устойчивости. Устойчивость – это свойство системы возвращаться в исходное положение после прекращения внешних возмущений. Если в системе автоматического регулирования после снятия возмущающего воздействия возникают незатухающие колебания, то система находится на границе устойчивости. Если же в системе возникают расходящиеся колебания, то система является неустойчивой [6].

При анализе и синтезе автоматической системы управления широко применяются следующие критерии устойчивости:

- алгебраические критерии устойчивости;
- критерий устойчивости Михайлова;
- амплитудно-фазовый критерий устойчивости.

Наиболее подходящим является первый метод Ляпунова. Согласно первому методу Ляпунова для линейных систем:

- система устойчива, если и только все ее полюса имеют отрицательные действительные части (полюса левые).
- система неустойчива, если и только хотя бы один из ее полюсов имеет положительную действительную часть (полюса правые).
- система находится на границе устойчивости, если и только она имеет нулевые или чисто мнимые корни [6].

Для определения устойчивости разомкнутой системы найдем корни характеристического уравнения передаточной функции на рисунке 2.8

```
>> G=tf([0.07],[0.000003 0.00065 0.045 1 0])

G =

          0.07
-----
3e-06 s^4 + 0.00065 s^3 + 0.045 s^2 + s

Continuous-time transfer function.

>> pole(G)

ans =

          0
-100.0000
 -66.6667
 -50.0000
```

Рисунок 2.8 – Полюса характеристического уравнения разомкнутой системы

В соответствии с первым методом Ляпунова система на границе устойчивости, так как имеется нулевой корень при всех отрицательных корнях.

Аналогично, определим устойчивость замкнутой системы и найдем корни характеристического уравнения, как показано на рисунке 2.9:

```
>> G=tf([0.07],[0.000003 0.00065 0.045 1 0.07])

G =

          0.07
-----
3e-06 s^4 + 0.00065 s^3 + 0.045 s^2 + s + 0.07

Continuous-time transfer function.

>> pole(G)

ans =

-99.8588
-67.2801
-49.4576
 -0.0702
```

Рисунок 2.9 – Корни характеристического уравнения замкнутой системы

По первому методу Ляпунова данная система устойчива, так как все его полюса левые, то есть имеют отрицательный знак.

**Находим запас устойчивости.** Практические исследования автоматических систем управления должны учитывать, что, как правило, динамические характеристики контролируемого объекта или системы находятся с определенной погрешностью и, кроме того, изменяются с течением времени и с изменением нагрузок. Это требует введения более жестких мер, которая означает, что система должна быть не только устойчивой, но и обладать определенным запасом устойчивости. Запас устойчивости является показателем, насколько система удалена от границы устойчивости [7].

Минимально допустимым значением для запаса устойчивости является запас в 6 дБ по амплитуде и в 30 градусов по фазе.

Получим запас устойчивости по амплитуде и по фазе, используя команду `margin` на рисунке 2.10.

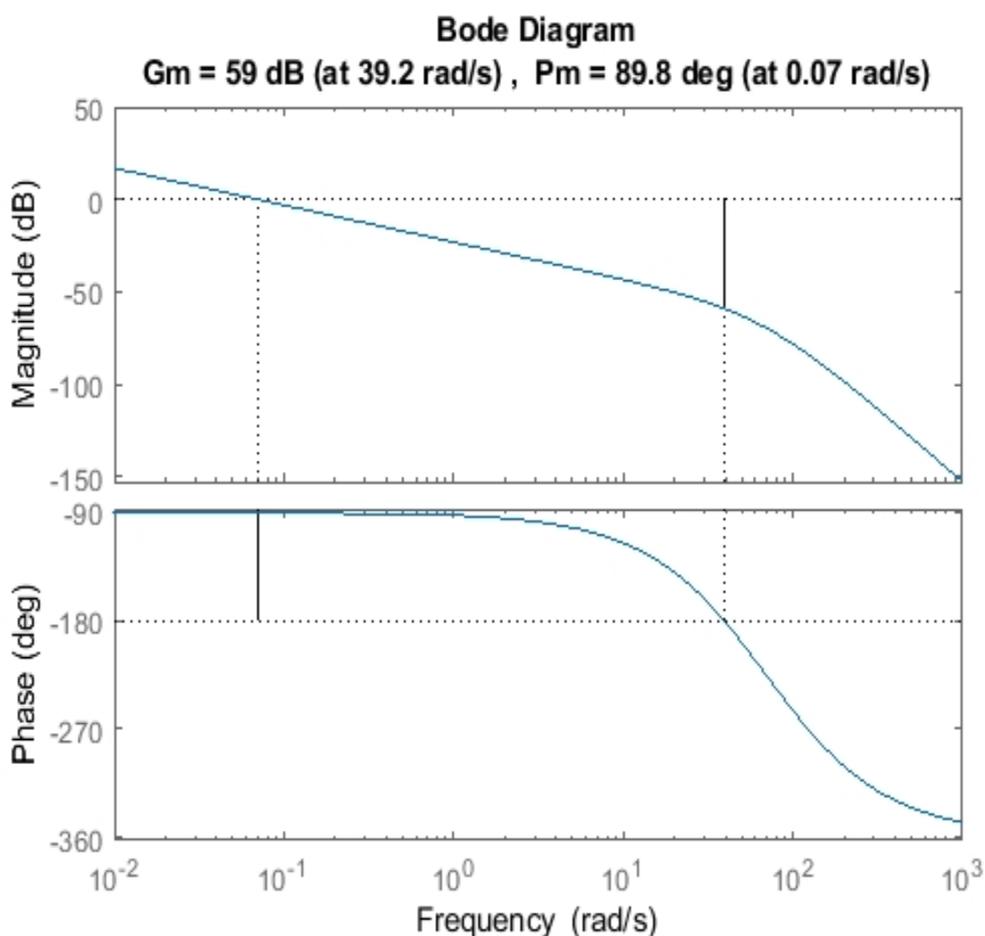


Рисунок 2.10 – Запас устойчивости

Исходя из анализа характеристик выше видно, что:

- запас устойчивости по амплитуде = 59 дБ, что является допустимым;
- запас устойчивости по фазе = 89.8 deg, что также удовлетворяет требованиям.

**Оценки качества и характеристики системы.** Перейдем к оценкам качества системы. Прямые оценки качества получают по переходной характеристике. Время регулирования и нарастания показаны на рисунке 2.11.

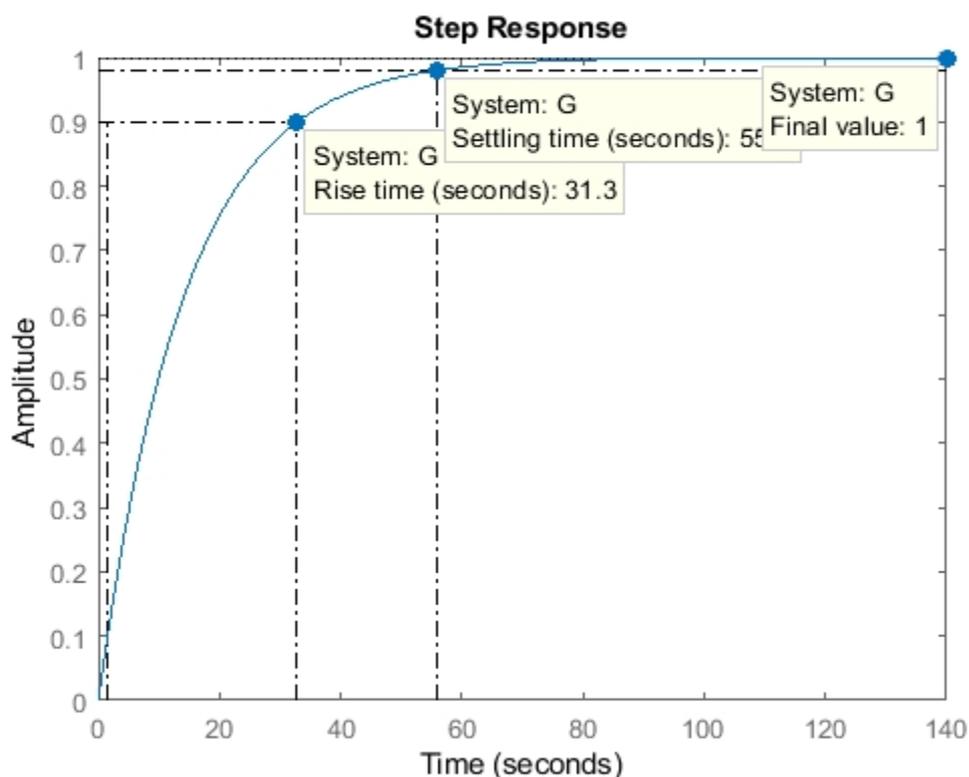


Рисунок 2.11 – Переходной процесс замкнутой системы

Получены следующие оценки:

- 1) время регулирования = 55.8с;
- 2) время нарастания = 31.3с;
- 3) перерегулирование – нет;
- 4) число колебаний – нет;
- 5) колебательность – нет;
- 6) период колебаний – нет;
- 7) установившаяся ошибка по задающему воздействию вычисляется с использованием теоремы конечного значения преобразования по Лапласу:

$$\lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{R(s)}{1 + G(s)} =$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0.000003s^4 + 0.00065s^3 + 0.045s + s + 0.07}{0.000003s^4 + 0.00065s^3 + 0.045s + s + 0.14} = \frac{1}{2};$$

- 8) время достижения первого максимума – нет;
- 9) декремент затуханий – нет.

Из-за того, что характеристика системы напоминает апериодическое звено первого порядка многие оценки качества равны нулю.

**Корневые оценки качества.** Получим следующие полюса системы на рисунке 2.12.

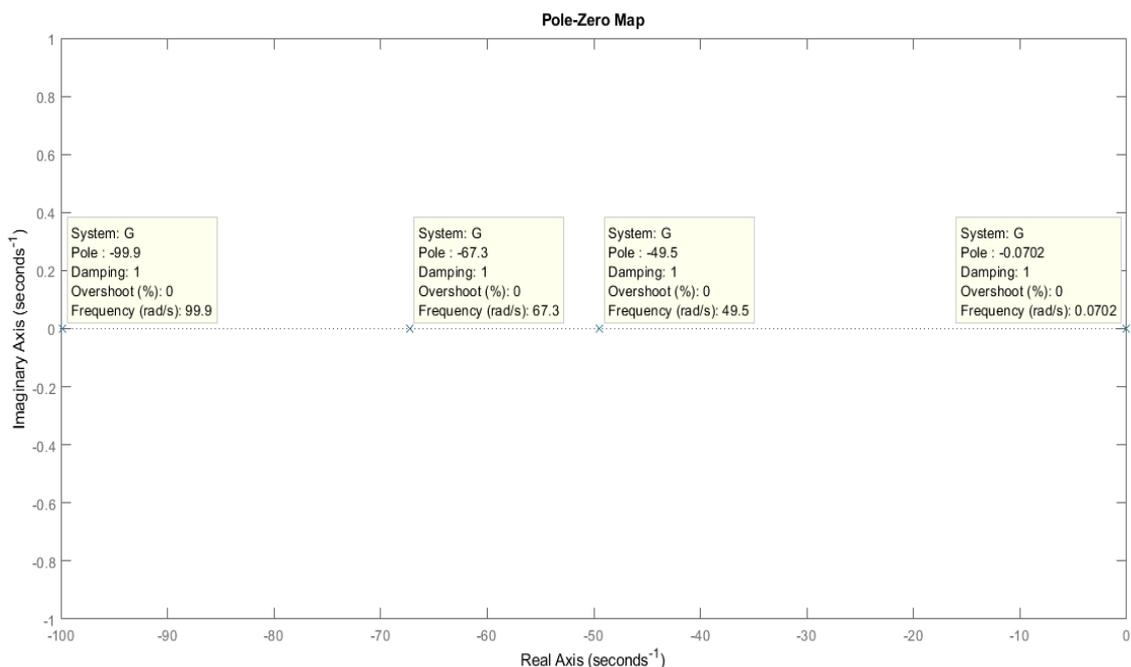


Рисунок 2.12 – Полюса системы

Полюса системы имеют вид  $\lambda = -99.9, \lambda = -67.3, \lambda = -49.5, \lambda = -0.0702$ .

Тогда корневые оценки:

- 1) степень устойчивости:  $\eta = |\alpha_{\min}| = 0.0702$ ;
- 2) колебательность:  $\mu = \frac{\beta}{\alpha} = 0$ .

Приведена таблица 2.2, где указаны оценки качества объекта управления и требования к регулятору.

Таблица 2.2 – Оценки качества системы управления и требования к регулятору

№	Оценка качества		Исходная система	Желаемые требования к системе
	1	2	3	4
1	Время регулирования (Settling Time)	$T_{set}$	55.8с	10с

Продолжение таблицы 2.2

	1	2	3	4
3	Установившаяся ошибка (Steady-State Error)	$e_{ss}$	0.5	0.5
4	Время нарастания (Rise Time)	$T_R$	31.3с	5с
5	Степень устойчивости	$\eta$	0.0702	$\eta > 0.0702$
6	Показатель колебательности	$\mu$	0	0

## 2.4 Синтез регулятора интеллектуальной системы управления резервуарным парком на основе генетического алгоритма

Для улучшения параметров системы был выбран П регулятор, который описывается следующим уравнением:

$$u(t) = k_p e(t).$$

где  $k_p$  - коэффициент усиления пропорционального звена.

Пропорциональный регулятор – это прибор для управления технологическим процессом, который используется в методе пропорционального регулирования.

Пропорциональные регуляторы, как и все самоуравновешивающиеся приборы, имеют три основных механизма: входной, определения ошибки и выходной. В пропорциональном регуляторе основные механизмы расположены так, что регулятор производит выход, пропорциональный его входу.

**Выбор регулятора.** Главным недостатком данной системы является время ее регулирования, поэтому надо выбрать такой регулятор, где ее значение будет наименьшим. Необходимо для заданной системы получить такой регулятор, что позволит достигнуть времени регулирования меньше 4 секунд, при не ухудшении остальных оценок. Идеальной для данной системы будет пропорциональный регулятор, который позволит сократить это время без колебаний и иных негативных воздействий на объект.

Структурная схема объекта управления с П регулятором выглядит следующим образом:

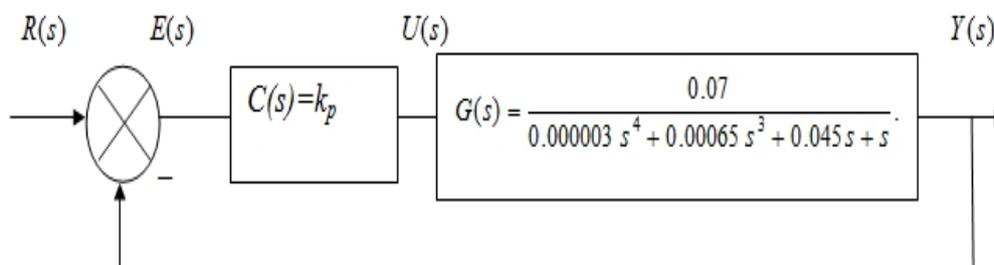


Рисунок 2.13 – Структурная схема объекта управления

Найдем предельный пропорциональный коэффициент усиления для объекта управления. Передаточная функция О.У.:

$$G(s) = \frac{0.07}{0.000003s^4 + 0.00065s^3 + 0.045s^2 + s},$$

Р регулятор:

$$C(s) = k_p, \quad (2.1)$$

Найдем функцию всей системы с обратной связью:

$$T(s) = \frac{0.07 * k_p}{0.000003s^4 + 0.00065s^3 + 0.045s^2 + s + 0.07 * k_p}. \quad (2.2)$$

Используя критерий устойчивости Гурвица, найдем пределы, в которых возможно изменение значения регулятора:

$$0.000003s^4 + 0.00065s^3 + 0.045s^2 + s + 0.07 * k_p = 0$$

$$a_4 = 0.07 * k_p > 0$$

$$k_p > 0$$

$$H = \begin{vmatrix} 0.00065 & 1 & 0 & 0 \\ 0.000003 & 0.045 & 0.07k_p & 0 \\ 0 & 0.00065 & 1 & 0 \\ 0 & 0.000003 & 0.045 & 0.07k_p \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = 0.00002625 - 0.000000029575k_p > 0$$

$$k_p < 887.574$$

Коэффициент пропорциональности, в котором система устойчива, лежит в пределе  $k_p \in (0; 887.574)$ .

Для нахождения параметра регулятора с помощью генетического алгоритма необходимо минимизировать интегральную оценку качества, которая будет являться целевой функцией. В качестве интегральной оценки качества была выбрана квадратичная, так как для нее существует преобразование, позволяющее использовать в расчетах.

**Постановка задачи.** Для математической модели замкнутой системы в формуле (2.2) необходимо синтезировать П регулятор (2.1) с помощью генетического алгоритма, который минимизирует интегральную квадратичную оценку:

$$I = \int_0^{\infty} e(t) dt \rightarrow \min,$$

где  $e(t)$  – ошибка отклонения.

С помощью формулы приведенной в [8], интегральная квадратичная оценка примет вид:

$$I = \int_0^{\infty} e(t)^2 dt = J = \frac{1}{2a_n^2 \Delta} (B_m \Delta_m + B_{m-1} \Delta_{m-1} + \dots + B_1 \Delta_1 + B_0 \Delta_0) - \frac{b_m b_{m-1}}{a_n^2}$$

Используя уравнение (2.2), где  $m=0$ ,  $n=4$  – данное выражение выглядит следующим образом:

$$J = \frac{1}{2a_4^2 \Delta} (B_0 \Delta_0)$$

Найдем коэффициенты данного преобразования:

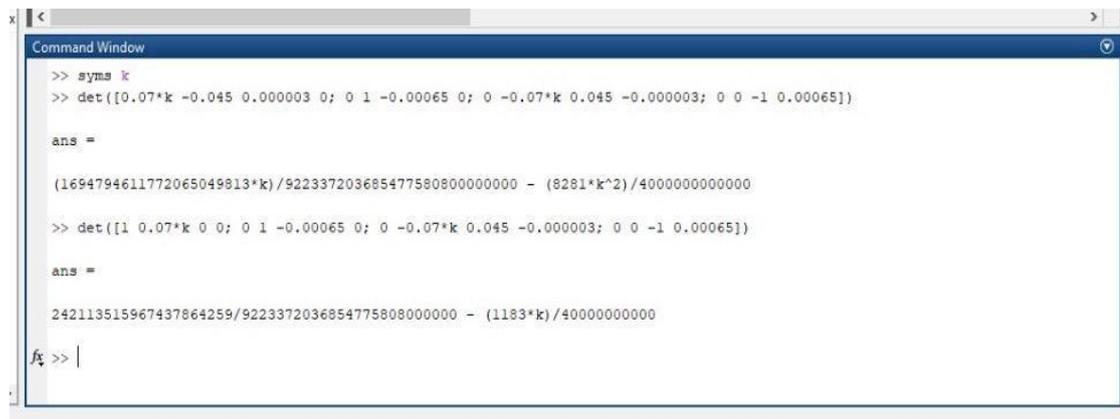
$$a_4 = 0.07k_p,$$

$$B_0 = b_0^2 = (0.07k_p)^2 = 0.0049k_p^2,$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0.07k_p & -0,045 & 0,000003 & 0 \\ 0 & 1 & -0.00065 & 0 \\ 0 & -0,07k_p & 0.045 & -0.000003 \\ 0 & 0 & -1 & 0.00065 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} 1 & -0.045 & 0.000003 & 0 \\ 0.07k_p & 1 & -0.00065 & 0 \\ 0 & -0.07k_p & 0.045 & -0.000003 \\ 0 & 0 & -1 & 0.00065 \end{vmatrix}$$

Определитель матриц четвертого порядка были получены в командной строке MATLAB, показанный ниже на рисунке 2.14:



```

Command Window
>> syms k
>> det([0.07*k -0.045 0.000003 0; 0 1 -0.00065 0; 0 -0.07*k 0.045 -0.000003; 0 0 -1 0.00065])
ans =
(1694794611772065049813*k)/922337203685477580800000000 - (8281*k^2)/4000000000000
>> det([1 0.07*k 0 0; 0 1 -0.00065 0; 0 -0.07*k 0.045 -0.000003; 0 0 -1 0.00065])
ans =
242113515967437864259/922337203685477580800000000 - (1183*k)/400000000000
fx >> |

```

Рисунок 2.14 – Нахождение определителей четвертого порядка

Полученное выражение интегральной оценки в среде MATLAB дана на рисунке ниже, так как рассчитывалось с помощью той же командной строки.

Произведем расчет коэффициента пропорциональности П-регулятора для управления процессом уровня жидкости в резервуаре на основе генетического алгоритма. Для этого необходимо в М-файле MATLAB создать скрипт в котором будет реализовываться критерий качества, указанный на рисунке 2.15:

```

function j=kvint(k)
j=(0.0049.*k.^2*(242113515967437864259/922337203685477580800000000 - (1183.*k)./400000000000))/(2*0.0049.*k.^2*
((1694794611772065049813*k)/922337203685477580800000000 - (8281*k^2)/4000000000000))
end

```

Рисунок 2.14 – Скрипт интегральной оценки в М-file

Генетический алгоритм в программе MATLAB входит в подпрограмму Optimization Tool, вызов которой осуществляется с помощью команды *gatool*.

Генетический алгоритм и метод прямого поиска можно использовать для задач, которые трудно решить обычными методами оптимизации, например, когда искомая целевая функция является разрывной, нелинейной, не имеет производных [9].

Инструментарий Optimization Tool предоставляет возможность нахождения параметров, которые максимизируют или минимизируют функцию при заданных ограничениях. Набор инструментов включает в себя решатели для линейного, квадратичного программирования, нелинейной оптимизации и нелинейного метода наименьших квадратов.

На рисунке 2.16 представлено главное окно Optimization Tool. Для решения задачи используются стандартные параметры: количество особей в популяции – 50; число хромосом, автоматически попадающих в следующую популяцию – 0.05 от размера популяции; коэффициент скрещивания – 0.08. Полученный результат:  $k_p = 63.867$  при 100 итераций.

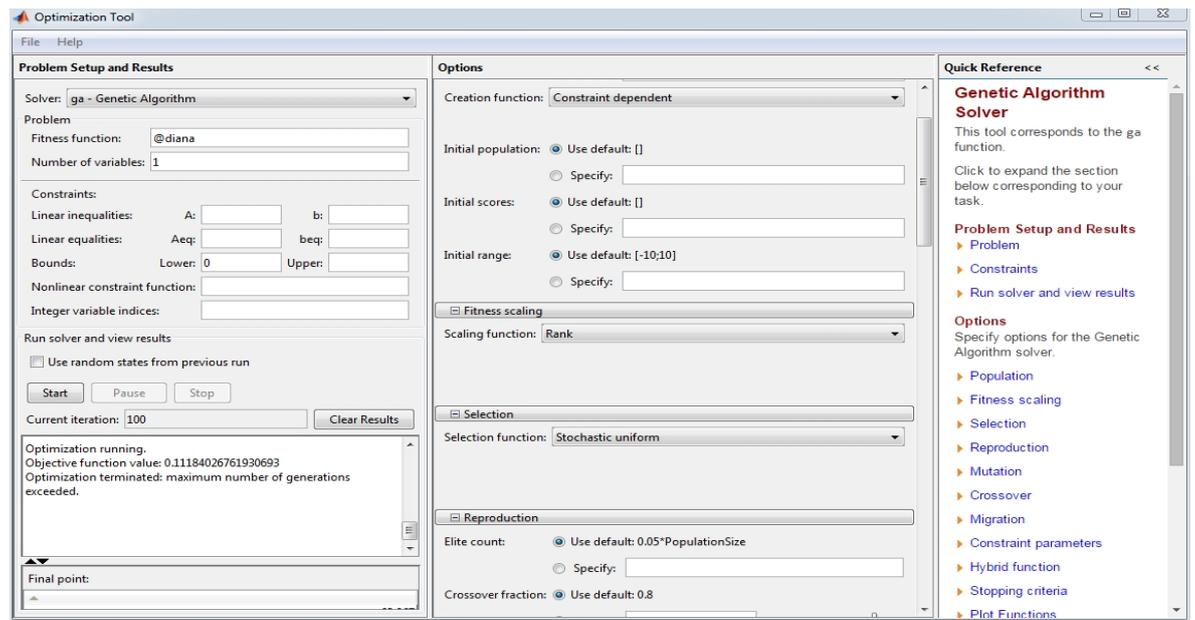


Рисунок 2.16 – Окно подпрограммы Optimization Tool

После 100 итерации целевая функция достигла минимума в точке 0.11 при коэффициенте пропорциональности 63.867

Тогда закон управления выглядит следующим образом:

$$u(t) = 63.867e(t).$$

Полюса полученной системы показаны на рисунке 2.17. Как можно судить по полюсам, исходя из этого, система имеет большую степень устойчивости, так как наименьший по модулю полюс равен -5.91.

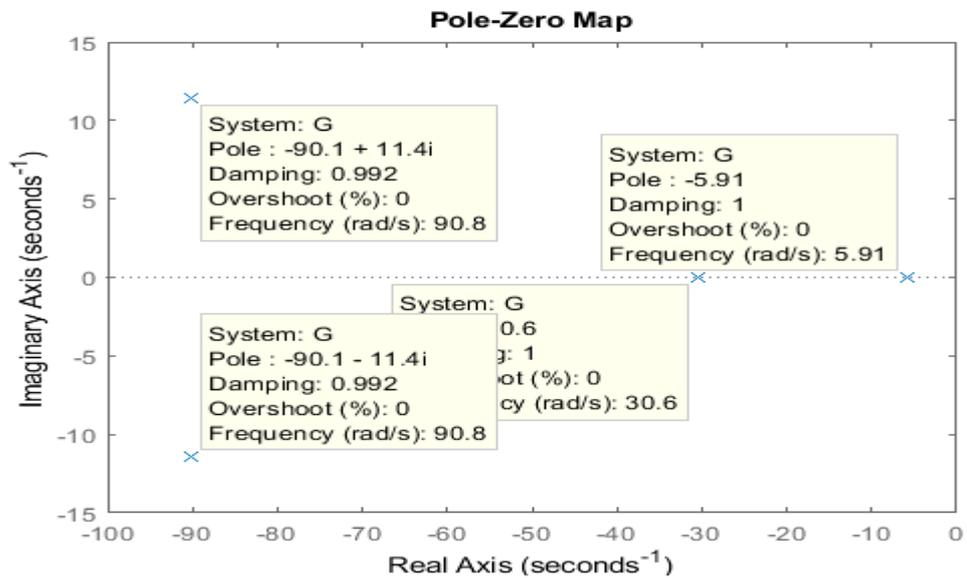


Рисунок 2.17 – Полюса системы с регулятором

Ниже на рисунке 2.18 была получена переходная характеристика с П регулятором. Видно, что у системы благодаря генетическому алгоритму улучшилось быстродействие.

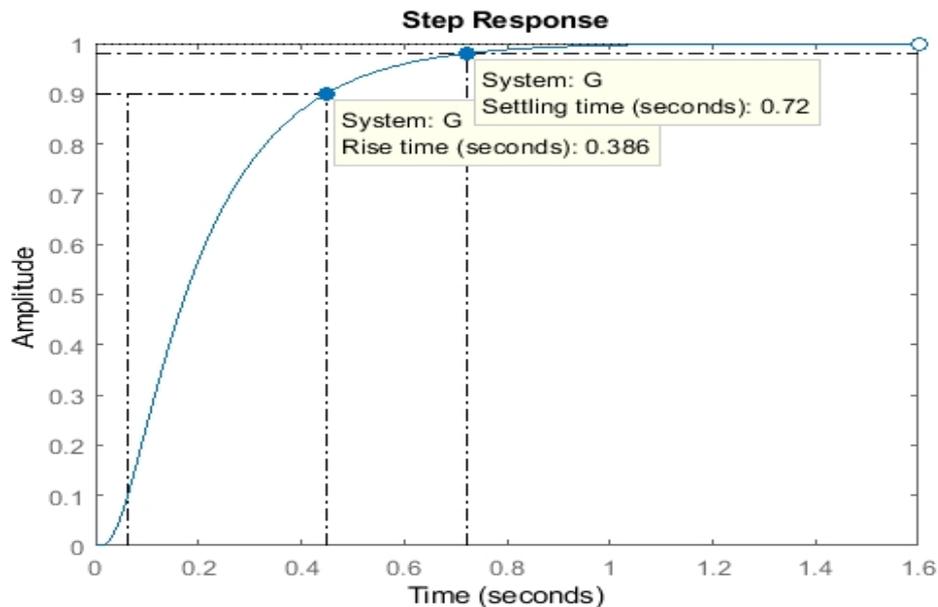


Рисунок 2.18 – Переходная характеристика с регулятором

На рисунке 2.19 показаны АЧХ и ФЧХ системы с регулятором и получены запасы устойчивости по амплитуде и по фазе:

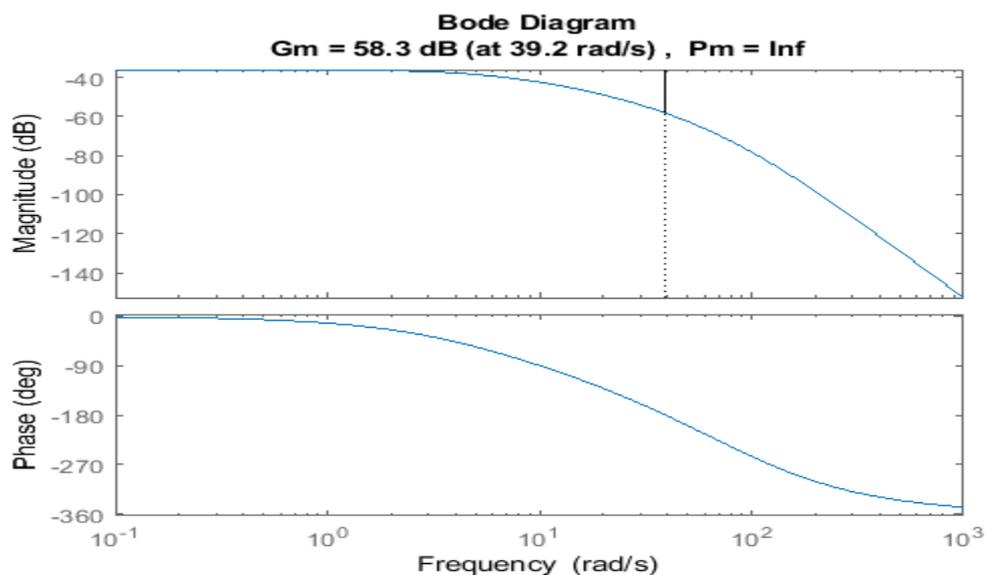


Рисунок 2.19 – АЧХ и ФЧХ системы с регулятором

Для наглядности смоделируем в среде Matlab исходную систему, систему с регулятором на основе генетического алгоритма и с регулятором с параметрами полученные с автоматической настройкой Matlab. Каждый контур замыкается обратной связью через блок сумматора (Sum), на вход подается единичный ступенчатый сигнал (Step).

Выходные сигналы собираются через элемент Mux для отображения на экране осциллографа. В блоке PID Controller задается параметр Proportional (P) представляющий коэффициент  $k_p$ , в то время как значения параметров Integral (I) и Derivative (D) равняются нулю. Таким образом, реализуется управление объектом по пропорциональному закону регулирования. Полученные результаты показаны на рисунке 2.20, где жирной линией обозначена исходная система с регулятором, обычной – регулятор на основе генетического алгоритма и пунктирной – автонастройка MATLAB.

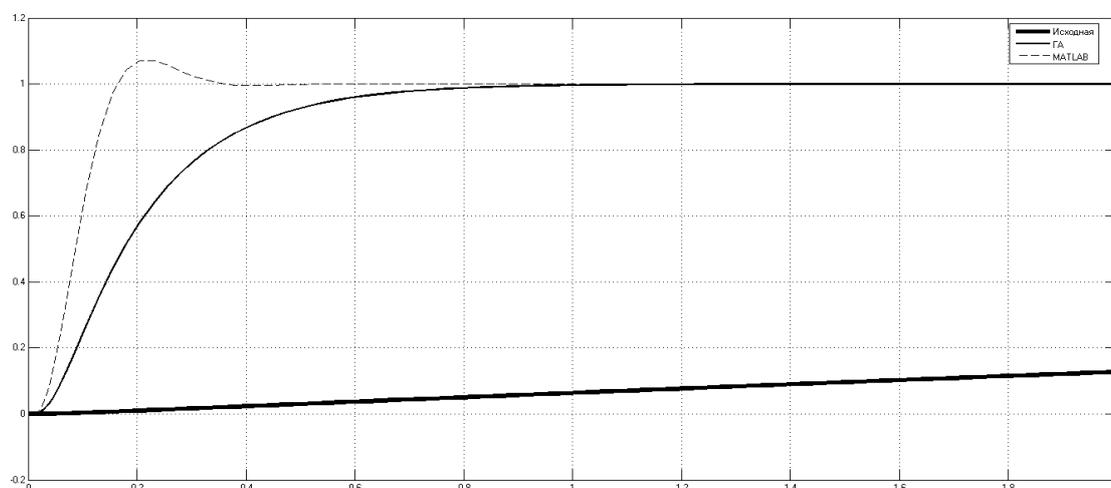


Рисунок 2.20 – Результаты моделирования

Как видно по характеристикам генетический алгоритм имеет явные преимущества перед авто-настройкой, так как нет никаких колебаний.

Детально сравним значения оценок качества систем с регулятором и без. Данные приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения оценок качества системы в сравнении

Оценка качества	Система без регулятора	P-регулятор
Время регулирования	$T_{set} = 55.8 \text{ с}$	$T_{set} = 0.72 \text{ с}$
Время нарастания	$T_r = 31.3 \text{ с}$	$T_r = 0.386 \text{ с}$
Установившаяся ошибка	$e_{ss} = 1/2$	$e_{ss} = 1/2$
Степень устойчивости	$\eta =  \alpha_{min}  = 0.0702$	$\eta = 5.91$
Колебательность	$\mu = \frac{\beta}{\alpha} = 0$	$\mu = 0$

Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что синтезированная система управления удовлетворяет заданным требованиям и цель достигнута.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе была рассмотрена разработка автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком на основе генетического алгоритма.

Было рассмотрено назначение резервуарного парка, решена задача анализа САУ с использованием первого метода Ляпунова. Получены оценки качества замкнутой системы, а именно прямые и корневые. Была построена функциональная схема, составлена математическая модель резервуара.

Был сделан синтез регулятора интеллектуальной системы управления резервуарным парком на основе генетического алгоритма. Вычислены предельные коэффициенты пропорциональности и интегральности для синтеза и преобразована передаточная функция для работы с имеющимся алгоритмом.

Был подобран нужный регулятор для поставленной задачи, получены результаты моделирования исходной системы без регулятора и системы с регулятором с применением генетического алгоритма в среде MATLAB.

Выполнено сравнение синтезированного регулятора с автоматической настройкой регулятора в Simulink MATLAB.

Были получены результаты моделирования, исходя из которых, система с регулятором имеет более высокую точность и скорость в сравнении с другими методами синтеза.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Исакович Р. Я., Логинов В. И. Автоматизация производственных процессов нефтяной и газовой промышленности. – М: Недра, 1983. – С. 74-85.
- 2 Байков Н. М., Колесников Б. В., Челканов П. И. Сбор, транспорт и подготовка нефти. – М: Недра, 1975. – С. 31-41.
- 3 Розин В.Е., Коган Л.Б., Автоматизация технологических процессов. – Л: Химия, 1982. – 45 с.
- 4 Ünal M., Ak A., Topuz V., Erdal H. Optimization of PID controllers using ant colony and genetic algorithms // Studies on computational intelligence. – Springer, 2013. – Vol. 449. – 72 p.
- 5 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – С-П.: Профессия., 2004. – 54 с.
- 6 Щукин О.С. Основы автоматического управления энергосистем: учебное пособие. – Нижневартовск: Издательство Нижневарт. гуманит. ун-та, 2012. – 107 с.
- 7 Карпенко, А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие / А. П. Карпенко. – 2-е изд. – Москва: Издательство МГГУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 446 с.
- 8 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – С-П.: Профессия., 2004. – 212 с.
- 9 Бураков М.В. Генетический алгоритм: теория и практика: учебное пособие / М. В. Бураков. – СПб.: ГУАП, 2008. – 164 с.

**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломную работу  
Мықтыбаева Диана Дарханқызы  
5B070200 – Автоматизация и управление

Тема: «Разработка автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком»

Перед дипломантом ставилась задача разработки автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком.

В первом разделе дипломной работы рассматривается САУ резервуарным парком. Рассмотрены конструкция, оборудование резервуаров и свормирована САУ резервуарным парком.

Во втором разделе, на основе математической модели САУ в виде передаточной функции сделана постановка задач анализа динамических свойств и синтеза интеллектуального регулятора. В качестве интеллектуальной методологии выбран метод оптимизации на основе генетического алгоритма.

Получены алгоритмы синтеза интеллектуального регулятора в среде MATLAB.

В процессе работы автор проекта показала себя дисциплинированной, исполнительской и трудолюбивой с высоким уровнем теоретической подготовки.

Заключение: Считаю, что дипломант справился с поставленной задачей, дипломная работа соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным работам по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов студентка Мықтыбаева Д.Д. допускается к защите.

**Научный руководитель**  
ассоциированный профессор, канд.техн.наук

  
Ширяева О.И.  
(подпись)

«25» мая 2020 г.

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Мыктыбаева Диана

**Название:** Разработка автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком

**Координатор:** Ольга Ширяева

**Коэффициент подобия 1:** 10

**Коэффициент подобия 2:** 1,6

**Замена букв:** 2

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 0

**Белые знаки:** 0

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 10 и Коэффициент подобия 2: 1.6. Коэффициенты подобия объясняются тем, что в дипломной работе были использованы общепринятые термины теории управления: устойчивость, регулятор и пр. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

29.05.2020

Дата



Подпись Научного руководителя

## Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Мыктыбаева Диана

**Название:** Разработка автономной интеллектуальной системы управления резервуарным парком

**Координатор:** Ольга Ширяева

**Коэффициент подобия 1:** 10

**Коэффициент подобия 2:** 1,6

**Замена букв:** 2

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 0

**Белые знаки:** 0

**После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:**

обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;

обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;

обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите. Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 10 и Коэффициент подобия 2: 1.6. Коэффициенты подобия объясняются тем, что в дипломной работе были использованы общепринятые термины теории управления: устойчивость, регулятор и пр. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, работа признается самостоятельной и допускается к защите.

29.05.2020

Дата

  
\_\_\_\_\_  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

**Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:**

Дипломная работа допускается к защите.

29.05.2020

Дата

  
\_\_\_\_\_  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения