

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

Муханов Жарас Таймасович

На тему: " Разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов
управления процессом переработки жёлтого фосфора "

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

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

Автоматизация и управление

Кандидат физико-математических наук

Ассоциированный профессор

 Алдияров Н.У.

«  » 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: " Разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов
управления процессом переработки жёлтого фосфора "

5B070200 – Автоматизация и управление

Выполнил:

Муханов Ж.Т.

Рецензент

Магистр техники и технологии

По специальности РЭТ

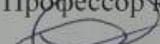
 Икхмбаев А.С.

2022 г.

Научный руководитель

Доктор технических наук

Профессор кафедры АиУ

 Сулейменов Б.А.

« 17 » мая 2022 г.



Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

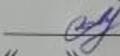
Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

5B070200 – Автоматизация и управление

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Автоматизация и управление
Кандидат физико-математических наук
Ассоциированный профессор

 Алдияров Н.У.
« ___ » _____ 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Муханов Жарас Таймасович

Тема: Разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора

Утверждаю *приказом Ректора Университета № 489-п* от «24» декабря 2021 г.

Исходные данные к дипломной работе: разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора, были построены функциональные схемы.

Краткое содержание дипломной работы:

а) Введение

б) Основная часть, экспериментальная часть

в) Аналитическая часть, заключение

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Схема цепей аппаратов в отделении отстоя и доработки, графики чувствительности.

Рекомендуемая основная литература: 1. Б.А. Сулейменов, Г.М. Мутанов, А.Б. Сулейменов. Интеллектуальные системы управления: теория, методы, средства. – Алматы: КазНИТУ, 2012. – 223 с. 2. Сулейменов Б.А. Интеллектуальные и гибридные системы управления технологическими процессами. – Алматы, Шикуча, 2009, - 320 с.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

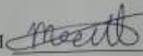
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Основная часть	07.04.2022	
Экспериментальная часть	18.04.2022	
Аналитическая часть	27.04.2022	

Подписи

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

Наименование разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Сулейменов Б.А. Доктор технических наук Профессор кафедры АиУ	17.05.22	
Экспериментальная часть	Сулейменов Б.А. Доктор технических наук Профессор кафедры АиУ	17.05.22	
Аналитическая часть	Сулейменов Б.А. Доктор технических наук Профессор кафедры АиУ	17.05.22	
Нормоконтролер	Сарсенбаев Н.С. Кандидат тех. наук Ассистент профессор	17.05.22	

Научный руководитель  Сулейменов Б.А.

Задание принял к исполнению обучающийся  Муханов Ж.Т.

Дата «24» декабря 2021 г.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста біз сары фосфорды өндеудің интеллектуалды басқару алгоритмдерін жасау мен зерттеуді қарастырдық. Бүгінгі таңда фосфор жер бетіндегі ең көп таралған элементтердің бірі болып табылады және өнеркәсіпте кеңінен қолданылады. Бұл мақалада біз сары фосфор туралы айтатын боламыз. Сары фосфор ең белсенді химиялық, улы және жанғыш.

Дипломдық жұмыста шламды бөлу және фосфорды тазарту цехы қарастырылды. Жұмыс сары фосфорды өндеу процесінің белгілі математикалық модельдерін талдаудан және бөлінген параметрлері бар осы күрделі объектіні математикалық сипаттау мәселелерін терең қарастырудан тұрды.

Біз осындай күрделі технологиялық процестерде жасанды басқару құралдарын пайдалана отырып, осы цехтың объектілерін басқару сапасын арттырудың жолын қарастырдық. Біздің жұмысымыздың басты нүктесі нейрондық желіні пайдаландық.

Дипломдық жұмыстың нәтижелері тәжірибелік маңызы бар және сары фосфорды өндеуді басқару процесінде қолдануға болады.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе мы рассматривали разработку и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора. На сегодняшний день фосфор является одним из самых распространенных элементов на земле и находит очень широкое применение в промышленности. В данной работе мы поговорим о жёлтом фосфоре. Жёлтый фосфор является наиболее активным химически, токсичен и горюч.

В дипломной работе был рассмотрен цех отделения отстоя и доработки фосфора. Работа состояла из анализа известных математических моделей процесса переработки жёлтого фосфора и углубленное рассмотрение проблем математического описания этого сложного объекта с распределёнными параметрами.

Мы рассматривали способ улучшения качества управления объектом этого цеха используя искусственное управление в подобных сложных технологических процессах. Ключевым моментом в нашей работе было то что мы использовали нейронную сеть.

Результаты дипломной работы имеют практическую значимость и могут применяться в процессе управления переработки жёлтого фосфора.

ANNOTATION

In the thesis, we considered the development and research of intelligent control algorithms for the processing of yellow phosphorus. Today, phosphorus is one of the most common elements on earth and is widely used in industry. In this paper, we will talk about yellow phosphorus. Yellow phosphorus is the most active chemically, toxic and combustible.

In the thesis work, the workshop of the separation of sludge and refinement of phosphorus was considered. The work consisted of an analysis of the known mathematical models of the yellow phosphorus processing process and an in-depth consideration of the problems of mathematical description of this complex object with distributed parameters.

We considered a way to improve the quality of object management of this workshop using artificial controls in such complex technological processes. The key point in our work was that we used a neural network.

The results of the thesis work are of practical importance and can be used in the process of managing the processing of yellow phosphorus.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 Технология отстоя и доработки фосфора как объект управления	10
1.1 Описание процесса переработки желтого фосфора	10
1.2 Отделение отстоя и доработки фосфора	11
1.3 Синтез и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом	12
2 Синтез интеллектуальных моделей управления процессами отстоя и доработки фосфора	15
2.1 Исходные данные для синтеза интеллектуальных моделей управления процессом отстоя фосфора	15
2.2 Синтез нечеткой модели управления процессами отстоя фосфора	17
2.3 Синтез нейросетевой модели управления процессами отстоя	22
2.4 Синтез нейро-нечёткой модели	27
3 Исследование моделей (алгоритмов) управления	34
3.1 Метод вычислительного эксперимента	34
3.2 Описание методов оценки адекватности	35
3.3 Описание методов оценки устойчивости и однозначности	35
3.4 Оценка чувствительности	36
3.5 Сравнительный анализ моделей на адекватность	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	39
Перечень сокращений	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	41

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: были рассматривали способы улучшения качество управления процессом переработки жёлтого фосфора, используя искусственное управления в подобных сложных технологических процессах.

Актуальность работы: В данной работе мы поговорим о жёлтом фосфоре. Жёлтый фосфор является наиболее активным химически, токсичен и горюч. Фосфор является важнейшим биогенным элементом и в то же время находит очень широкое применение в промышленности. А главная место промышленности фосфора (жёлтого) в Казахстане это - НДФЗ.

Ключевым моментом в нашей работе было то что мы использовали нейронную сеть. Интеллектуальную систему можно описать как систему, решающую задачи, которые традиционно считаются творческими и принадлежат конкретной предметной области. В результате объединения различных технологий искусственного интеллекта появились нейронная сеть и нечеткая логика. Их сущностью является то, что в отличие от других систем они стремятся приспособиться к неточности реального мира. И в данной работе мы исследуем три из таких сетей: нечеткая логика, нейронная сеть, нейронечеткая сеть. Исследования сделанные в этой работе имеют практическую значимость и могут применяться в процессе управления переработки жёлтого фосфора.

Задачи поставленные в работе: при исследовании интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора были поставлены задачи:

- Анализ известных математических моделей процесса переработки жёлтого фосфора и углубленное рассмотрение проблем математического описания этого сложного объекта с распределёнными параметрами.

- Моделирование на основе аналитических и практических данных сформирована матрица ПФЭ с результатами 27 эксперимента.

- Исследование на основе матрицы ПФЭ синтезированы модели управления тремя методами: нечёткие алгоритмы, нейронные сети и нейро-нечёткие сети.

- Проверить результаты исследования интеллектуальных моделей управления на однозначность, чувствительность, устойчивость и адекватность.

Таким образом мы будем сравнивать классическими методами построения с аналитико-статистических моделей управления, полученных с помощью методов искусственного интеллекта.

1 Технология отстоя и доработки фосфора как объект управления

1.1 Описание технологии процесса переработки желтого фосфора в условиях НДСЗ

Шихта для электровозгонки фосфора составляется из агломерата, полученного в цехе агломерации, кремнистого сырья и кокса, прошедших подготовку в отделениях сушки и дробления.

Процесс восстановления фосфора – эндотермический, идет при температуре 1350°C -1500°C. Продуктами процесса получения желтого фосфора восстановлением фосфатов углеродом в присутствии кремнезема в рудотермических печах являются: печной газ, шлак и феррофосфор.

Повышенная влажность компонентов шихты, приводит к увеличению содержания водорода, потерям фосфора, увеличению объема печных газов и дополнительному расходу электроэнергии [1].

Фосфор получается в виде паров и удаляется из печи в составе печного газа. Печной газ, выходящий из печи, содержит около 85% окиси углерода, 5% фосфора, газообразные примеси CO₂, SiF₄, PH₃, H₂S, N₂ и пыль исходного сырья. Во избежание подсосов воздуха в печи поддерживается избыточное давление до 500 Па. Для выхода печного газа в крышке печи имеется два отверстия, соответствующие двум ниткам пылеочистки и конденсации фосфора. В производстве желтого фосфора переход фосфора из газообразного состояния в жидкое протекает в конденсаторах скрубберного типа путем орошения фосфоросодержащего газа водой.

Печной газ, поступивший после пылеочистки в электрофильтрах на конденсацию, содержит 5- 7 % парообразного фосфора, до 85 % окиси углерода, 10-15 % об. азота, примеси, из которых основными являются SiF₄, PH₃, H₂, H₂S, CO₂, H₂O, а также остаточную пыль, неуловленную в электрофильтрах. Процесс конденсации осуществляется в последовательно включенных «горячем газоходе», «горячем», «холодном» конденсаторах с приемниками фосфора [1].

Существующая практика управления процессом производства желтого фосфора Основным технологическим процессом при производстве желтого фосфора является электроплавка фосфорсодержащей шихты. Фосфорная электропечь является химическим реактором со сложным температурным полем. Исходные компоненты поступают в печь с температурой до 20°C, продукты реакции расплавы и газы - покидают печь с температурой 1400°C и 500°C соответственно. В зоне контакта торца электрода с расплавом возможны температуры 2000°C и более. Такой широкий интервал температур определяет неоднородность пространства печи. В верхних уровнях, куда поступает холодная исходная шихта, химические реагенты твердые, далее, по мере опускания шихты вниз температура повышается, легкоплавкие компоненты шихты плавятся, появляется жидкая фаза, возможно растворение тугоплавких компонентов в расплаве, взаимодействие расплава с углеродом. Область максимальных температур находится у торца электрода. Здесь в твердом состоянии может

оставаться только кокс, остальные компоненты шихты расплавлены. Химические процессы, которые здесь происходят, связаны с взаимодействием твердого углерода с расплавом, с термической диссоциацией ряда соединений, их испарением и т.д. [1].

1.2 Отделение отстоя и доработки фосфора

Желтый фосфор-сырец поступает в отделение отстоя фосфора из печного цеха по обогреваемым трубопроводам в отстойники В-1301(1–10). Соотношение - Ра: шлам= 60–40 %.

Отстойники представляют собой резервуары из нержавеющей стали диаметром 7400 мм, высотой 4000 мм, объём отстойника - 160 м³. Для поддержания фосфора в расплавленном состоянии при температуре 343-353°К (70 - 80°С) в рубашку отстойника подается горячая вода с температурой не более 363°К (90°С), из цеха № 20 «Промышленная котельная, тепловые и газовые сети». Температура фосфора регистрируется на щите Щ-2 прибором поз. К-100а. Для улучшения условий отстаивания отстойники снабжены рамными мешалками. Продолжительность отстоя - не менее 2-х часов. Каждый отстойник снабжен двумя погружными насосами Н-1302, один из которых служит для перекачки фосфора, а другой - фосфорного шлама [2].

Во избежание самовозгорания фосфора в отстойниках находится под слоем горячей воды, не менее 50 см. Кроме того, в отстойники предусмотрена подача инертного газа - азота. По мере откачивания фосфора или шлама из отстойников, последние заполняются водой из цистерны кислой воды Е-1303 циркуляционными насосами, так что верхний уровень жидкости в отстойниках остается постоянным. В отделении отстоя установлены две цистерны кислой воды. Е-1303, полезная емкость каждой 80 м³.

Цистерна изготовлена из двухслойной стали и снабжена змеевиком для пара. Температура воды в цистерне поддерживается не более 353°К (70°С-80°С). Контроль и регистрация температуры осуществляется прибором поз. К-100 на щите Щ-1. Находясь в обороте, горячая вода постоянно загрязняется фосфором. фосфорсодержащая вода из цистерны Е-1303 насосами Н-1305 периодически перекачивается в цистерну фосфорсодержащих стоков Е-1333, из нее насосом откачивается в отделение очистки сточных вод. Цистерны Е-1303 вновь заполняются горячей водой. Для заполнения цистерн и промывки фосфоропроводов используется вода горячая очищенная (ВГО), приготовленная и нагретая до 90°С в отделении очистки сточных вод, которая также используется для подпитки емкостей и промывки железнодорожных цистерн на станции промывки [2].

Желтый фосфор поступает на доработку в хранилища Е-1331/ 1-12 по обогреваемым трубопроводам из отделения отстоя. Температура фосфора при перекачивании - 343-353°К (70°С - 80°С).

Хранение желтого фосфора производится в резервуарах Е-1331/ 1-12.

Резервуары представляют собой вертикальные сварные аппараты ёмкостью 300 м³, выполненные из нержавеющей стали. Для поддержания температуры фосфора 70 - 80°С (343-353°К) резервуары Е-1331 снабжены змеевиками для пара с суммарной поверхностью нагрева 100 м².

Температура фосфора в резервуарах регистрируется на щите Щ -1! прибором К-100 и прибором К-102 на щите Щ-2. Уровень фосфора в резервуарах контролируется с помощью мерной ленты вручную.

Резервуары Е-1331 теплоизолированные, а по днищу проложены змеевики обогрева острым паром.

Во избежание самовозгорания на воздухе, хранение фосфора производится под слоем горячей воды не менее 50 см. Резервуары для хранения фосфора Е-1331 подключены к системе азотного дыхания давлением 50 мм. вод. ст.

При заполнении резервуаров Е-1331 фосфором избыточная цистерну фосфорсодержащей воды Е-1333. По мере откачивания фосфора из резервуаров Е-1331 они заполняются кислой водой из цистерны Е-1333, так что верхний уровень воды в резервуарах остается постоянным [2].

1.3 Постановка задачи синтеза и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом

В отделении доработки желтого фосфора установлены три емкости фосстоков поз. Е-1333/_{3,4,5} выполненные из 2-х слойной стали с внутренней футеровкой.

В цистернах поз. Е-1333 установлены погружные насосы для удаления фосфорного шлама, который со временем накапливается в ёмкостях.

Фосфорсодержащая вода из сборника поз. Е-1333/_{3,4,5} периодически откачивается насосами в отделение очистки сточных вод.

В отделении отстоя и доработки фосфора предусмотрены 6 самовсасывающих насоса для откачки аварийных проливов из поддонов.

Технологическая схема и схема цепей аппаратов отделения отстоя и доработки фосфора приведена на рисунке 1.

Опрос опытных операторов отделения отстоя показал, что процесс отстоя зависит от температуры фосфора-сырца, поступающего из цеха №5, соотношения фосфор: шихта и температуры горячей воды, подаваемой в рубашку отстойника. Критерием, определяющим качество отстоя является — чистота фосфора (Р4), поступающего в хранилище товарного, фосфора: чем меньше шлама поступает в резервуары-хранилища (Е-1331/1-12), тем выше качество товарного фосфора - Р4 [2].

Управлять качеством товарного фосфора можно изменяя время отстоя — чем больше время отстоя, тем чище будет качество товарного фосфора. То есть количества шлама в товарном фосфоре будет минимально. В то же время, от времени отстоя зависит и производительность всего отделения: чем больше время отстоя, тем ниже производительность отделения. Поэтому от мастерства

операторов зависит эффективность процесса отстоя — необходимо добиваться заданного качества товарного фосфора P_4 , и при этом не снижать производительность всего отделения [2].

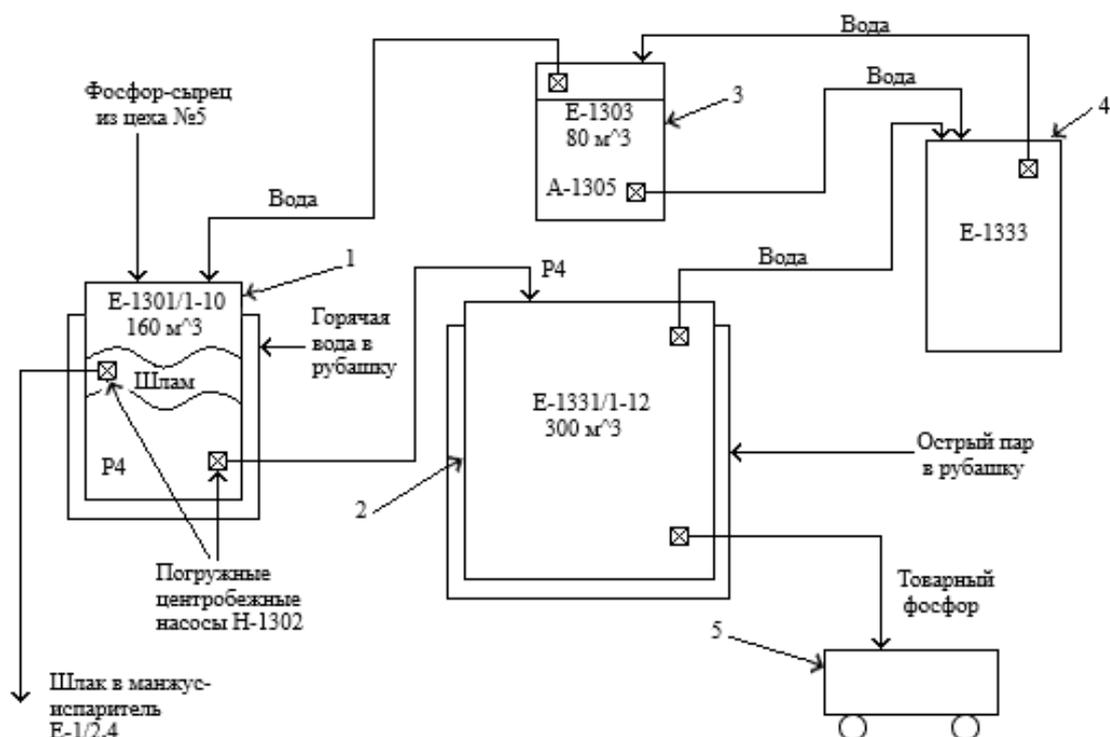


Рисунок 1 – Схема цепей аппаратов в отделении отстоя и доработки фосфора

Строение цеха:

- 1 – отстойники в количестве 10 ед.;
- 2 – резервуары для хранения желтого фосфора в количестве 12 ед.,
- 3 – цистерны кислой воды в количестве 2 ед.,
- 4 – цистерна фосфорсодержащих стоков;
- 5 – ж/д цистерна для отгрузки товарного фосфора потребителям

Таким образом, задача оптимального управления процессом отстоя фосфора-сырца заключается в следующем: «Добиваться заданного качества товарного фосфора при максимизации производительности всего отделения отстоя».

В таблице 1 представлена матрица полного факторного эксперимента (ПФЭ), которая была сформирована при проведении интервью с опытными операторами отделения отстоя и доработки фосфора. Операторы проводили «мысленные» эксперименты, что значительно облегчило проведение исследований на действующем промышленном объекте.

С помощью экспертов были выбраны наиболее значимые входные и управляющие переменные:

X_1 — температура фосфора (70 - 80°C);

X_2 — соотношение P_4 :шлам (60 - 40%);

X_3 — температура горячей воды в рубашку отстойника (70° - 95°C);

Выходными (управляющими переменными) методом ранжирования были отобраны следующие:

Y — время отстоя (от 2 до 4 часов).

В качестве цели выбрали нахождения лучшего метода алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора.

2 Синтез интеллектуальных моделей управления процессами отстоя и доработки фосфора

2.1 Исходные данные для синтеза интеллектуальных моделей управления процессом отстоя фосфора

Задачей подсистемы верхнего уровня является определение оптимальных режимов ведения процесса: Y время отстоя; X_1 , X_2 , X_3 . Как правило, такие расчеты необходимо производить один раз за смену. Опрос технологов цеха позволил составить матрицу планирования ПФЭ для 27 эксперимента при трехуровневой оценке (0,0; 0,5 и 1,0), трёх входных переменных: $N = 3^3 = 27$ в итоге получаем количество экспериментов – 27 в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 — Матрица ПФЭ для процесса отстоя фосфора-сырца

Номер эксп	Температура фосфора, X_1	Соотношение Р4:шлам, X_2	Температура воды, X_3	Время отстоя, Y
1	0,0	0,0	0,0	0,98
2	0,5	0,0	0,0	0,91
3	1,0	0,0	0,0	0,82
4	0,0	0,5	0,0	0,21
5	0,5	0,5	0,0	0,124
6	1,0	0,5	0,0	0,07
7	0,0	1,0	0,0	0,065
8	0,5	1,0	0,0	0,06
9	1,0	1,0	0,0	0,058
10	0,0	0,0	0,5	0,99
11	0,5	0,0	0,5	0,92
12	1,0	0,0	0,5	0,82
13	0,0	0,5	0,5	0,21
14	0,5	0,5	0,5	0,128
15	1,0	0,5	0,5	0,072
16	0	1,0	0,5	0,066
17	0,5	1,0	0,5	0,062
18	1,0	1,0	0,5	0,06
19	0,0	0,0	1,0	0,97
20	0,5	0,0	1,0	0,88
21	1,0	0,0	1,0	0,78
22	0,0	0,5	1,0	0,18
23	0,5	0,5	1,0	0,12
24	1,0	0,5	1,0	0,065
25	0,0	1,0	1,0	0,062

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
26	0,5	1,0	1,0	0,058
27	1,0	1,0	1,0	0,056

В таблице 1 все переменные представлены в нормированном (безразмерном) виде в диапазоне от 0,0 (минимальное значение) до 1,0 (максимальное значение). Нормирование переменных производилось по формуле:

$$\bar{X} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (1)$$

где: \bar{X} – нормированное (безразмерное) значение переменной;
 X_{\min} – минимальное значение переменной;
 X_{\max} – максимальное значение переменной.

Например, для X_1 нормированным значением при минимальной температуре фосфора – 70 °С, будет равно:

$$\bar{X}_1 = \frac{70^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}}{80^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}} = \frac{0}{10} = 0,0, \quad (2)$$

а для максимальной температуре фосфора – 80 °С, нормированное значение равно:

$$\bar{X}_1 = \frac{80^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}}{80^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}} = \frac{10}{10} = 1,0, \quad (3)$$

Аналогично были рассчитаны нормированные (безразмерные) значения и для переменных X_2 , X_3 и Y .

Матрица планирования ПФЭ составляется опытными технологами с помощью «мысленного» эксперимента. Поэтому составить такую матрицу гораздо проще, чем по данным активного эксперимента.

В таблице сосредоточен многолетний опыт работы технологов на фосфорном заводе в городе Тараз.

Матрица планирования ПФЭ может быть использована при разработке моделей управления четырьмя способами: методом планирования эксперимента, методом нечеткого моделирования, методом нейронных сетей и нейро-нечеткими методами.

2.2 Синтез нечеткой модели управления процессами отстоя фосфора

При использовании нескольких информационных систем (ИС) изменение условий работы или появление помех может приводить к тому, что меняется характер информационных сигналов и возникают ситуации, когда необходим выбор режима работы: использование одной из систем или их комплексирование.

Выполнение данного задания основывается на методе комплексирования ИС на основе нечеткой логики. Использование нечеткой логики определено двумя факторами: 1) отсутствием точного определения/формализации границ, в которых целесообразно использовать тот или иной набор сигналов (режим) и 2) необходимостью определения весов информационных сигналов при комплексировании [3].

Метод задания количественных границ для режимов работы и весов сигналов основан на оценке значения координаты центра тяжести (ЦТ) результирующей функции принадлежности нечеткой системы вывода (НСВ) от входного параметра: предлагается границы режимов определять как области пересечения входных и выходных функций принадлежности НСВ, а весовые коэффициенты сигналов – как координаты ЦТ [3].

Введение нечеткой логики в процесс комплексирования ИС обеспечивает решение задачи определения границ режимов функционирования ИС и весов сигналов в соответствии с оценками значений координат центра тяжести результирующей функции принадлежности. Комплексирование на основе нечеткой логики позволяет учитывать изменение точности сигналов в зависимости от различных внешних факторов [3].

Для создания нечеткой модели пропишем правила ее работы, основываясь на матрице планирования ПФЭ в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Правила нечеткой логики

№ Правил	Температура фосфора	Чистота фосфора	Температура воды	Время отстоя фосфора
Правило 1	0,0	0,0	0,0	0,98
Правило 2	0,5	0,0	0,0	0,91
Правило 3	1,0	0,0	0,0	0,82
Правило 4	0,0	0,5	0,0	0,21
Правило 5	0,5	0,5	0,0	0,124
Правило 6	1,0	0,5	0,0	0,07
Правило 7	0,0	1,0	0,0	0,065
Правило 8	0,5	1,0	0,0	0,06
Правило 9	1,0	1,0	0,0	0,058
Правило 10	0,0	0,0	0,5	0,99
Правило 11	0,5	0,0	0,5	0,92

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Правило 12	1,0	0,0	0,5	0,82
Правило 13	0,0	0,5	0,5	0,21
Правило 14	0,5	0,5	0,5	0,128
Правило 15	1,0	0,5	0,5	0,072
Правило 16	0	1,0	0,5	0,066
Правило 17	0,5	1,0	0,5	0,062
Правило 18	1,0	1,0	0,5	0,06
Правило 19	0,0	0,0	1,0	0,97
Правило 20	0,5	0,0	1,0	0,88
Правило 21	1,0	0,0	1,0	0,78
Правило 22	0,0	0,5	1,0	0,18
Правило 23	0,5	0,5	1,0	0,12
Правило 24	1,0	0,5	1,0	0,065
Правило 25	0,0	1,0	1,0	0,062
Правило 26	0,5	1,0	1,0	0,058
Правило 27	1,0	1,0	1,0	0,056

Для описания входных и выходных данных в FIS редакторе воспользуемся следующими наименованиями: Температура фосфора – temp-F, Соотношение Р₄:шлам – purity-F, Температура горячей воды в рубашку отстойника – temp-Water, Время отстоя – time-F.

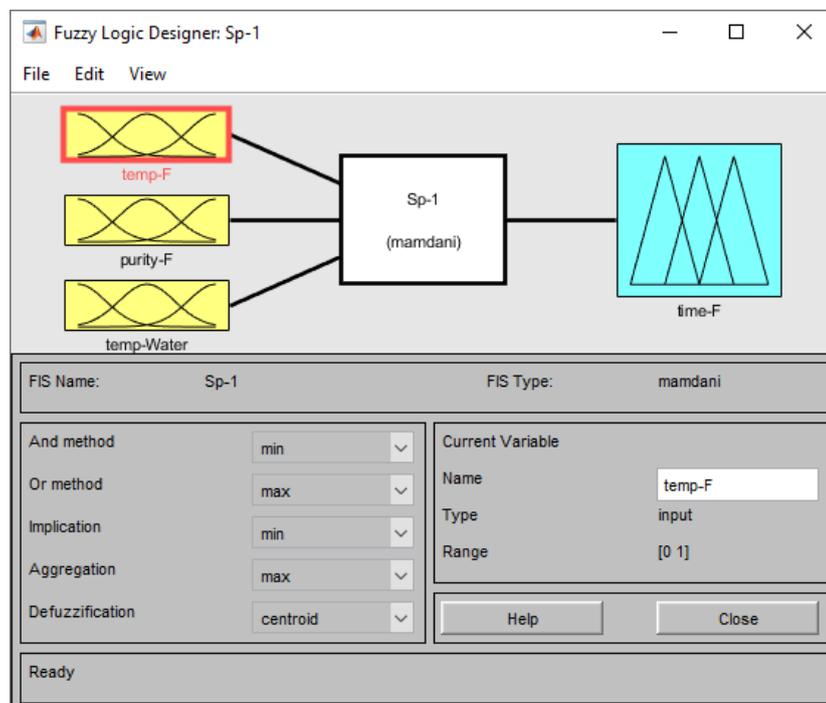


Рисунок 2 – Интерфейс редактора функций принадлежности

В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной используется множество («Low», «Middle», «High»), которое записывается в символическом виде (L, M, H).

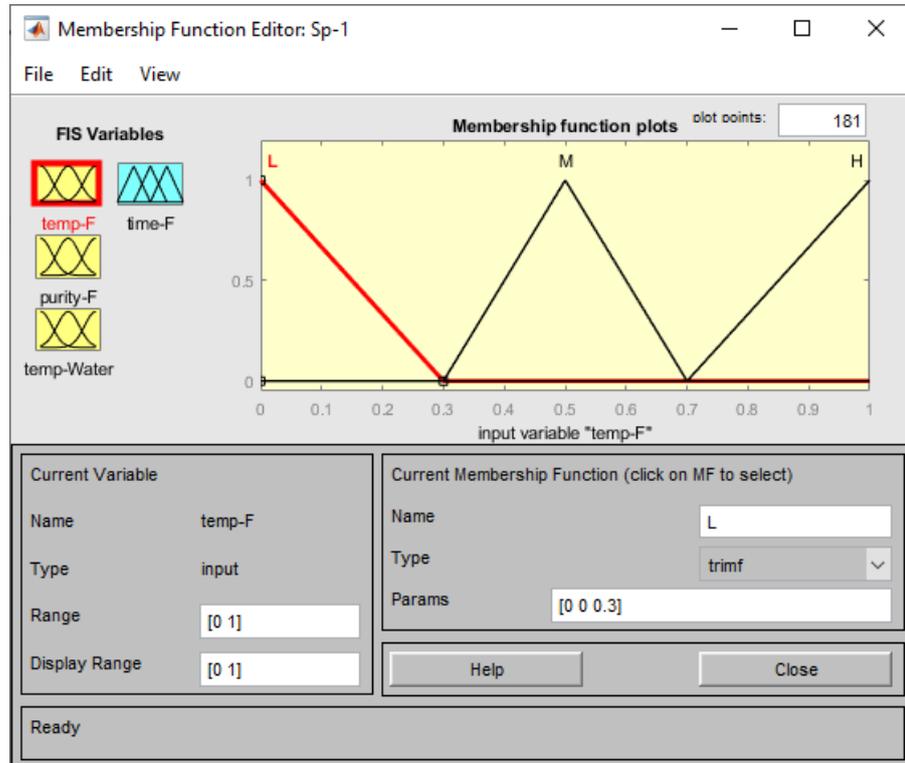


Рисунок 3 – Редактор функции принадлежности входных данных

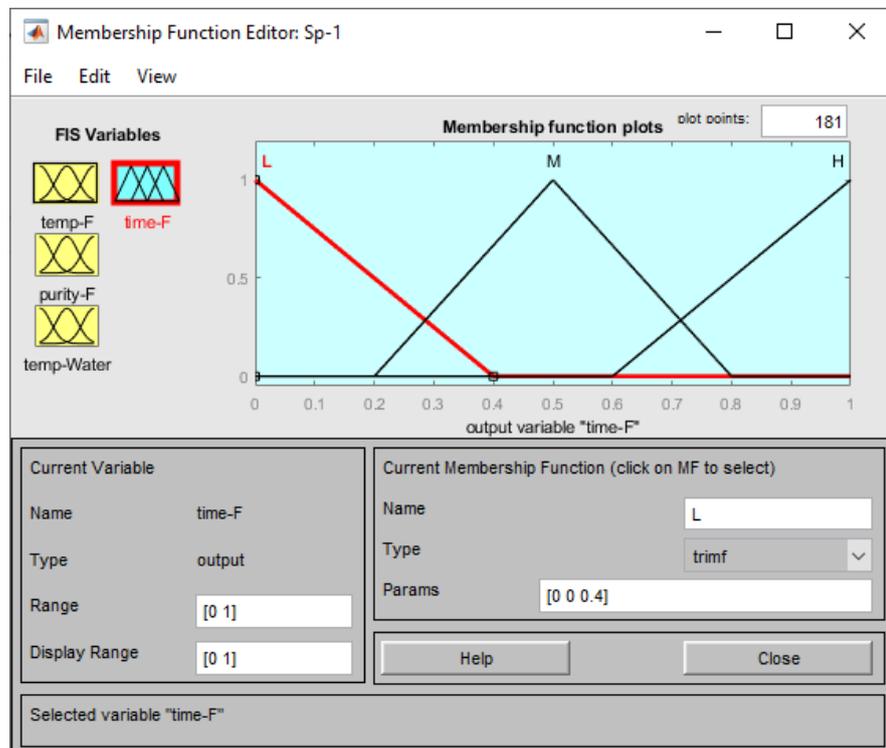


Рисунок 4 – Редактор функции принадлежности выходных данных

После введения всех входных значений получим правила нечеткого вывода в графическом виде в соответствии с рисунком 6.

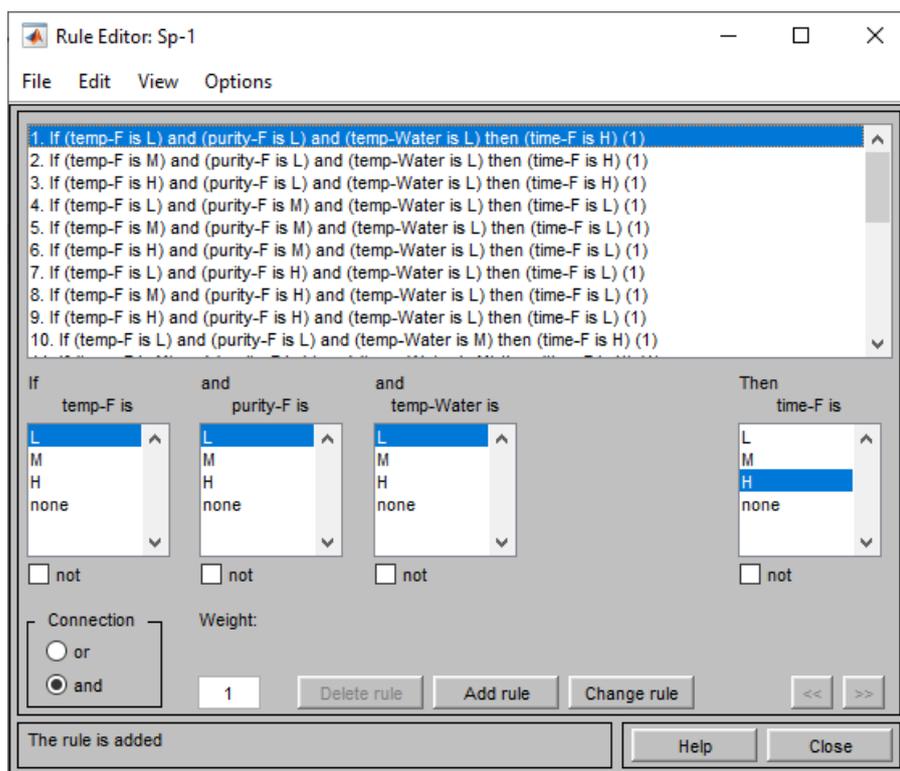


Рисунок 5 – Правила нечеткого вывода введенные

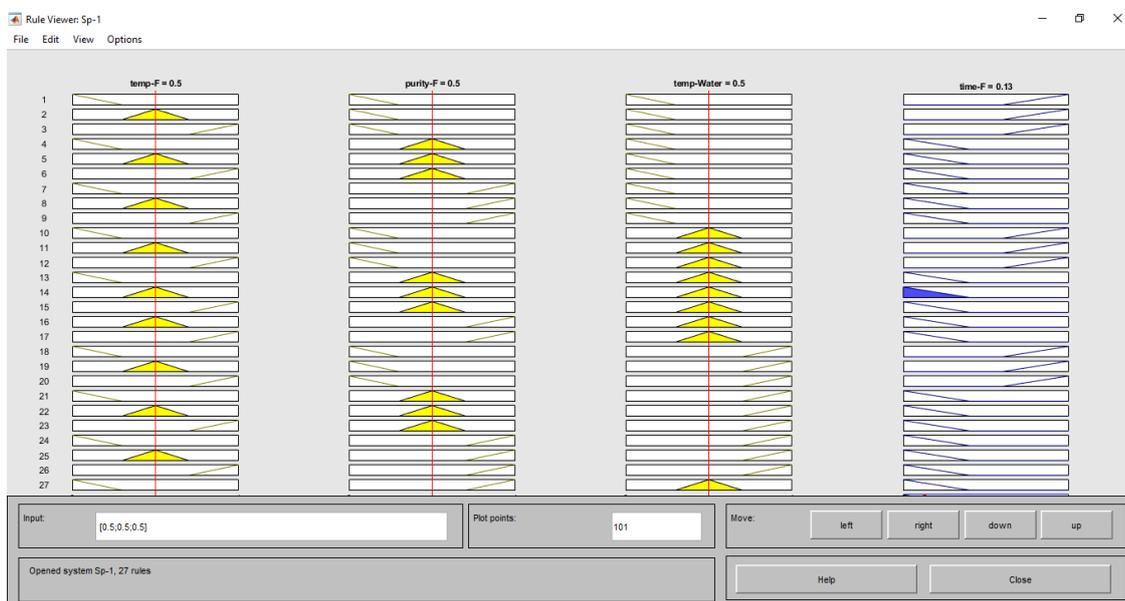


Рисунок 6 – Правила нечеткого вывода с начальными входными данными

При изменении входных значений выходные результаты изменились в соответствии с правилами, прописанными в системе в соответствии с рисунком 7.

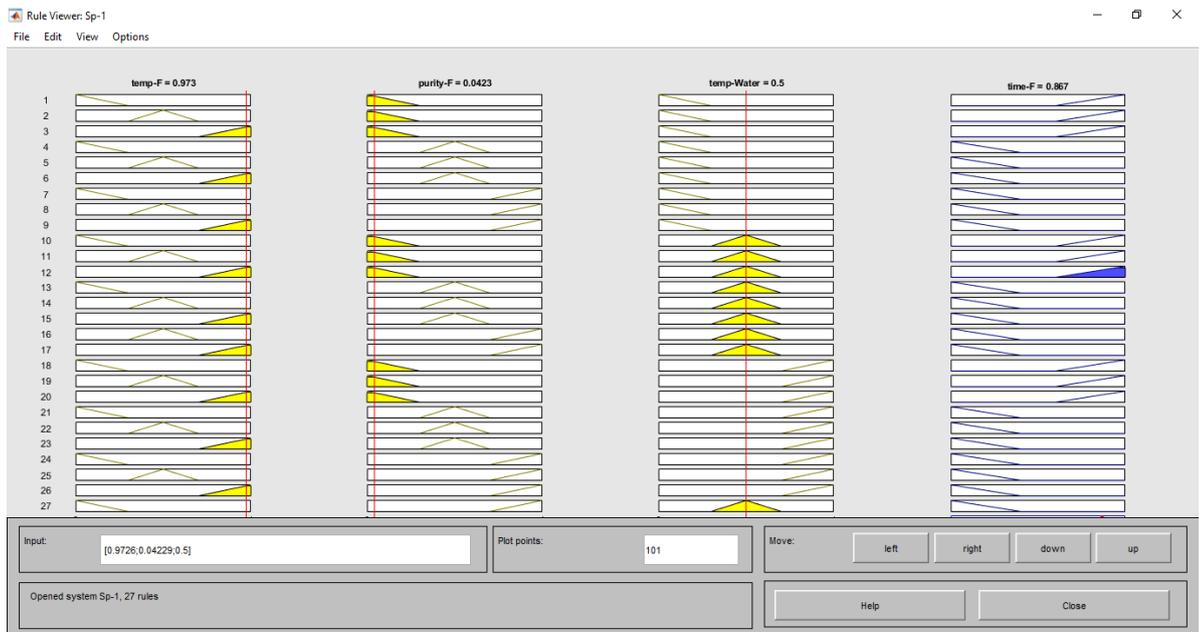


Рисунок 7 – Отклик системы на изменение входных параметров

Выведем поверхность нечеткого вывода для заданной нечеткой модели с начальными параметрами в соответствии с рисунком 8.

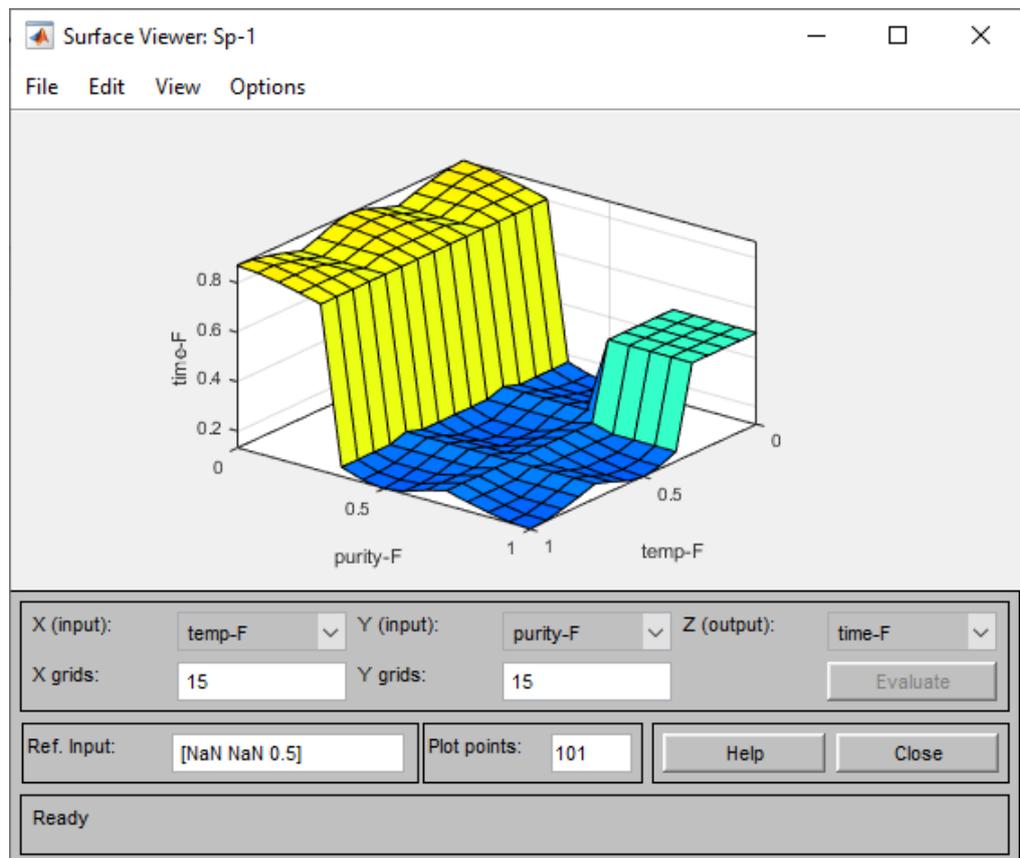


Рисунок 8 – Поверхность нечеткого вывода для заданной нечеткой модели с начальными параметрами

Таблица 3 - Результаты работы нечеткой логики

№	Выходные данные	Результат	Ошибки
	Время отстоя, Y		
1	0.98	0.87	0.11
2	0.91	0.87	0.04
3	0.82	0.87	0.05
4	0.21	0.13	0.08
5	0.124	0.13	0.006
6	0.07	0.13	0.06
7	0.065	0.13	0.065
8	0.06	0.13	0.07
9	0.058	0.13	0.072
10	0.99	0.87	0.12
11	0.92	0.87	0.05
12	0.82	0.87	0.05
13	0.21	0.13	0.08
14	0.128	0.13	0.002
15	0.072	0.13	0.058
16	0.066	0.13	0.064
17	0.062	0.13	0.068
18	0.06	0.13	0.07
19	0.97	0.87	0.1
20	0.88	0.87	0.01
21	0.78	0.87	0.09
22	0.18	0.13	0.05
23	0.12	0.13	0.01
24	0.065	0.13	0.065
25	0.062	0.13	0.068
26	0.058	0.13	0.072
27	0.056	0.13	0.074

После обучения нечеткой сети, полученные результаты имеют большие отклонения, из 27 результатов 16 имеют отклонения выше нормы, что указывает на значительную ошибку в 6.1259%.

2.3 Синтез нейросетевой модели управления процессами отстоя

Чтобы начать сборку нейронной сети вызовем модуль `nntool` из командного окна среды MatLAB. Далее введем входные данные и желаемый

результат в соответствующие области данных в соответствии с рисунком 9 и 10, а также выберем тип нужной нейронной сети в соответствии с рисунком 11.

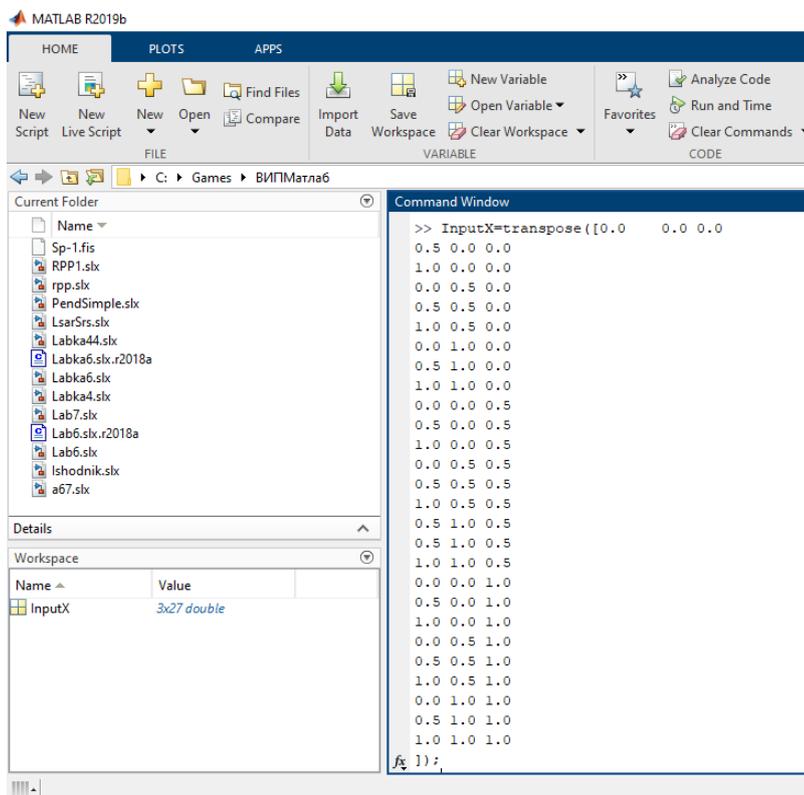


Рисунок 9 – Командное окно с введёнными входными данными

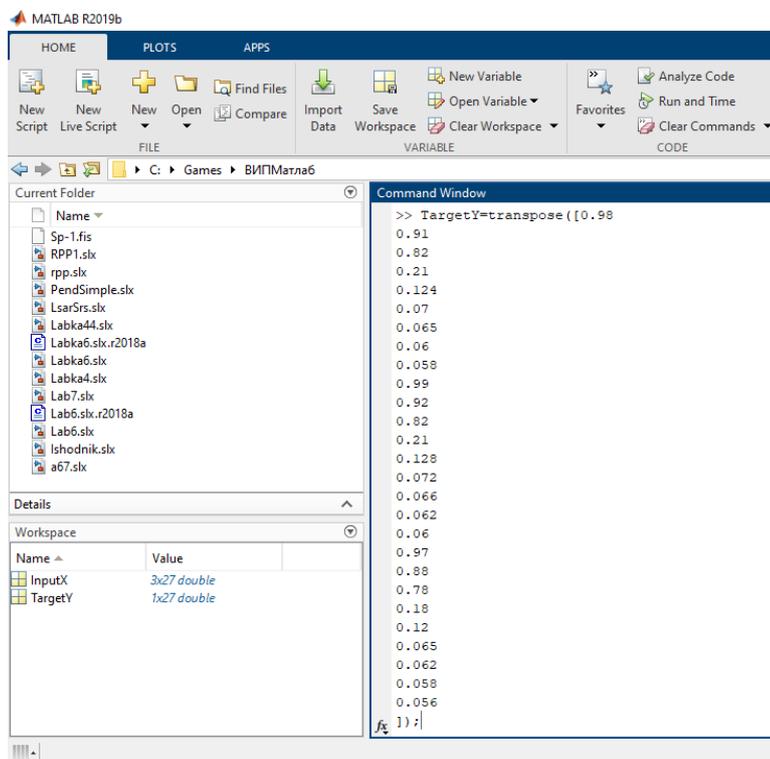


Рисунок 10 – Командное окно с введённым желаемым результатом

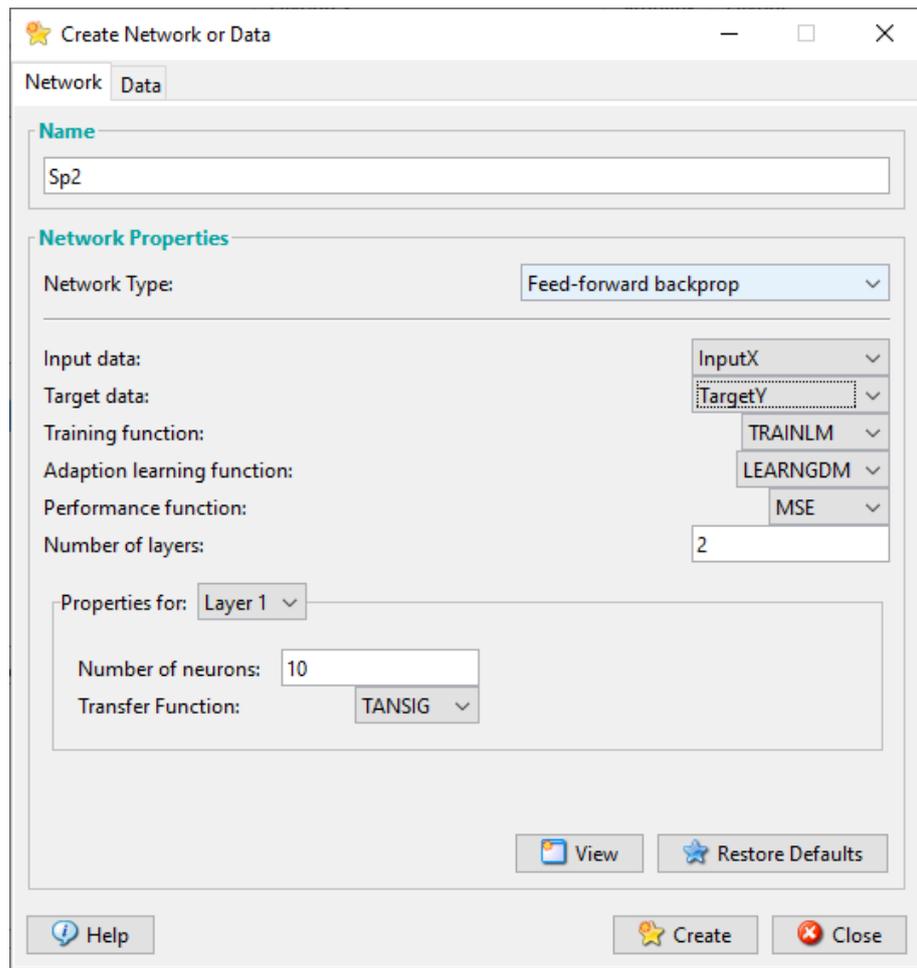


Рисунок 11 – Окно ввода данных для нейронной сети

Для обучения нейронной сети вводим данные из таблицы 1, а затем создаем нейронную сеть. В поле входные данные указываем заранее созданные данные, задаем тип нейронной сети, выберем перцептрон (Feed-Forward Back Propagation) с 10 сигмоидными (TANSIG) нейронами скрытого слоя и одним линейным (PURELIN) нейроном выходного слоя. Обучение производится с использованием алгоритма Левенберга-Маркардта (Levenberg-Mar-quardt), который реализует функция TRAINLM. Функция ошибки – MSE, число слоев соответственно равно 2 [4].

Нейронная сеть после введения входных данных и выбора параметров будет иметь 3 входных слоя, 10 скрытых и 1 выходной слой в соответствии с рисунком 12.

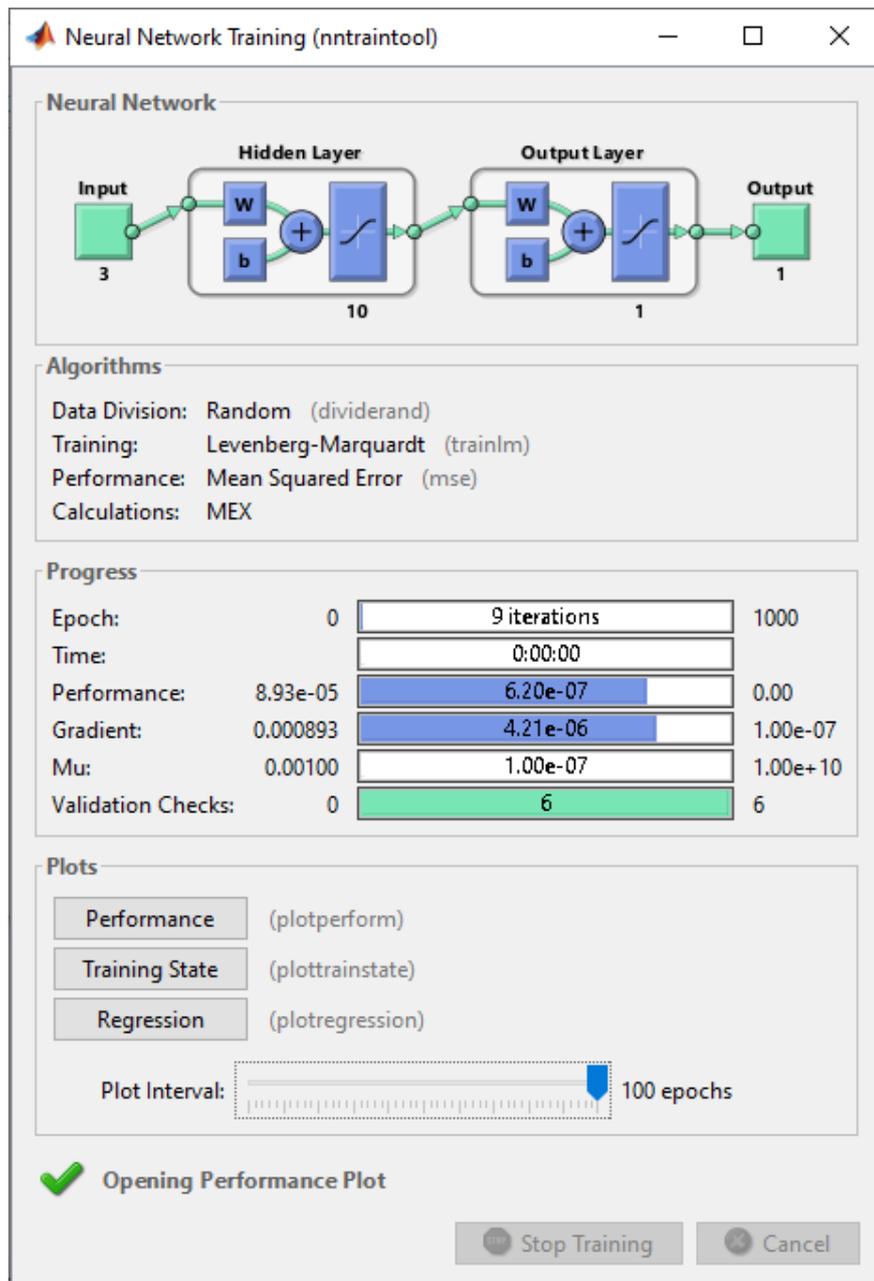


Рисунок 12 – Окно обучения нейросети

Теперь необходимо обучить сеть для ее дальнейшего применения, задаем входные и целевые данные, затем указываем параметры обучения, программа покажет прогресс и итог обучения как показано на рисунке 13.

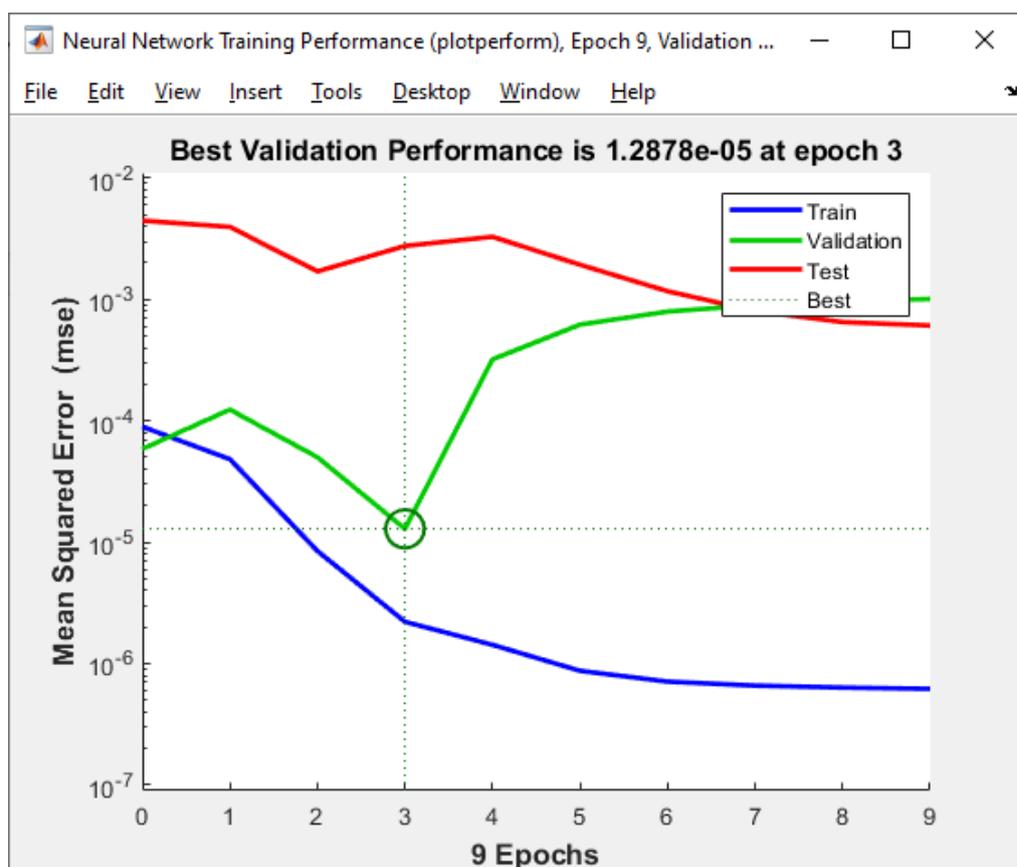


Рисунок 13 – Прогресс обучения нейросети

После окончания обучения система сохранила выходные данные нейросети (результаты) и разностные ошибки результатов желаемого и полученного в файлах `network_output1` и `network_error1` соответственно, которые приведены в таблице 3 и позволят провести сравнительный анализ в дальнейшем в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 - Результаты работы нейросети

№	Выходные данные	Результат	Ошибки
	Время отстоя, Y		
1	0.98	0.98147	-0.0014738
2	0.91	0.91583	-0.0058288
3	0.82	0.71557	0.10443
4	0.21	0.21061	-0.00061475
5	0.124	0.12405	-0.0000498
6	0.07	0.073817	-0.0038168
7	0.065	0.067951	-0.0029507
8	0.06	0.061147	-0.0011469
9	0.058	0.057489	0.00051075
10	0.99	0.98671	0.003286

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
11	0.92	0.92006	-0.000062
12	0.82	0.8189	0.0010993
13	0.21	0.20131	0.0086923
14	0.128	0.1278	0.00020457
15	0.072	0.071997	0.0000034
16	0.066	0.0632	0.0028
17	0.062	0.0632	-0.0012
18	0.06	0.056585	0.003415
19	0.97	0.97014	-0.00013588
20	0.88	0.88064	-0.00064037
21	0.78	0.77948	0.00051695
22	0.18	0.18211	-0.0021066
23	0.12	0.12085	-0.00085419
24	0.065	0.066039	-0.0010389
25	0.062	0.062894	-0.00089352
26	0.058	0.061371	-0.0033713
27	0.056	0.056331	-0.00033096

После обучения нейронной сети, полученные результаты имеют небольшие отклонения, в основном незначительные, из 27 результатов 3 имеют отклонения выше средней нормы, что указывает на незначительную ошибку в 0.5610 %.

2.4 Синтез нейро-нечётких моделей

Вместо нечетких моделей и нейронных сетей можно применять гибридные модели, такие как нейро-нечеткие сети, которые по замыслу должны сочетать все достоинства двух вышеперечисленных методов. Возможности MATLAB позволяют провести эти исследования. Для этого в MATLAB существует редактор ANFIS, который позволяет создавать или загружать, конкретную модель адаптивной системы нейро-нечеткого вывода, выполнять ее обучение, визуализировать ее структуру, изменять и настраивать ее параметры, а также использовать настроенную сеть для получения результатов нечеткого вывода [5].

После вызова редактора путем набора команды *anfisedit* в командной строке рабочей области MATLAB, развернется окно редактора нейро-нечеткой сети. Так как выборка данных идет из рабочей области MATLAB, нет необходимости прописывать путь для файла-источника, либо можно ввести данные с использованием файла Excel через команду *xlsread* в рабочую область MATLAB и далее произвести выборку в соответствии с рисунком 14.

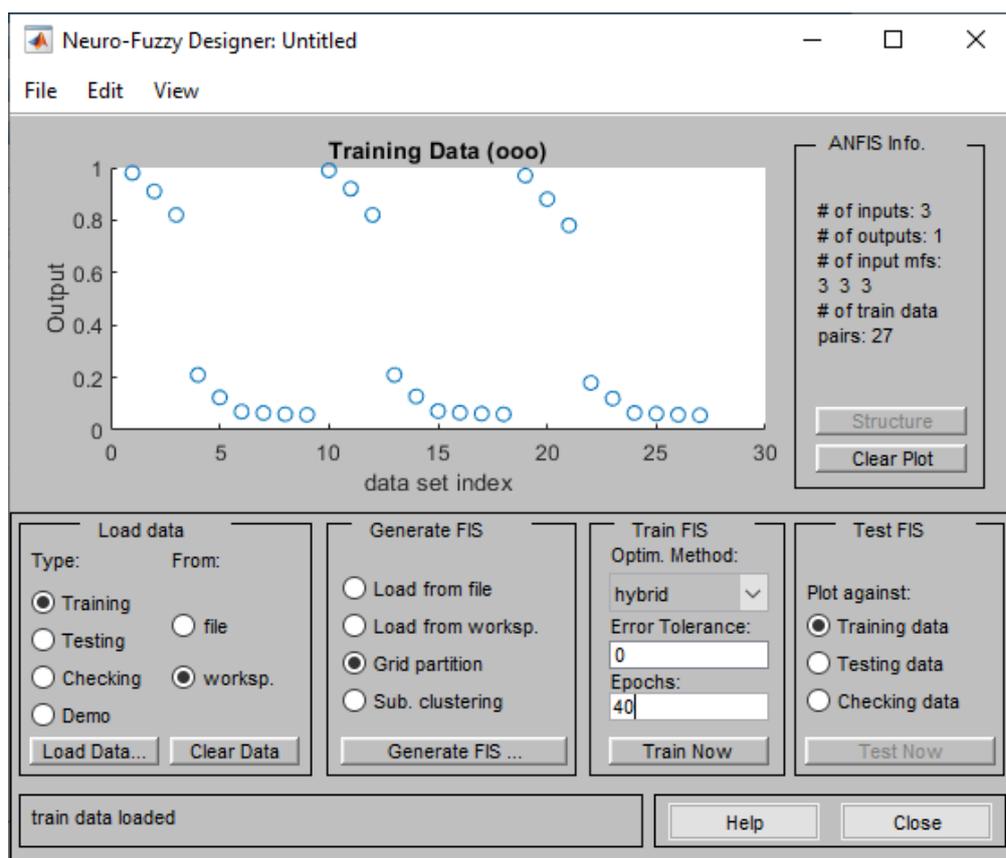


Рисунок 14 – Окно редактора нейро-нечеткой сети

Выберем параметры для обучения. Для загрузки тестовой выборки в меню типа устанавливаем тип тестирования (**Training**), нажимаем кнопку загрузки данных (**Load data**), в появившемся окне вводим имя массива тестовой выборки **r_test** и нажимаем кнопку **OK**. В блоке генерации нечеткой системы (**Generate FIS**) имеются следующие альтернативы: загрузка системы с диска (**Load from disk**), загрузка системы из рабочей области MATLAB (**Load from worksp.**), генерирование системы по алгоритму решетчатого разбиения без кластеризации (**Grid partition**) и генерирование системы через субтрактивную кластеризацию (**Sub. clustering**). Выберем метод решетчатого разбиения **Grid partition**, согласно которому функции принадлежности нечетких термов равномерно распределяются внутри диапазона изменения данных. База знаний содержит все возможные варианты правил. Коэффициенты в заключениях правил принимаются равными нулю. Нажимаем на кнопку генерации нечеткой системы (**Generate FIS**) [6]. В появившемся окне в соответствии с рисунком 12 необходимо указать количество и тип функций принадлежности входных и выходных переменных и нажать на кнопку **OK**.

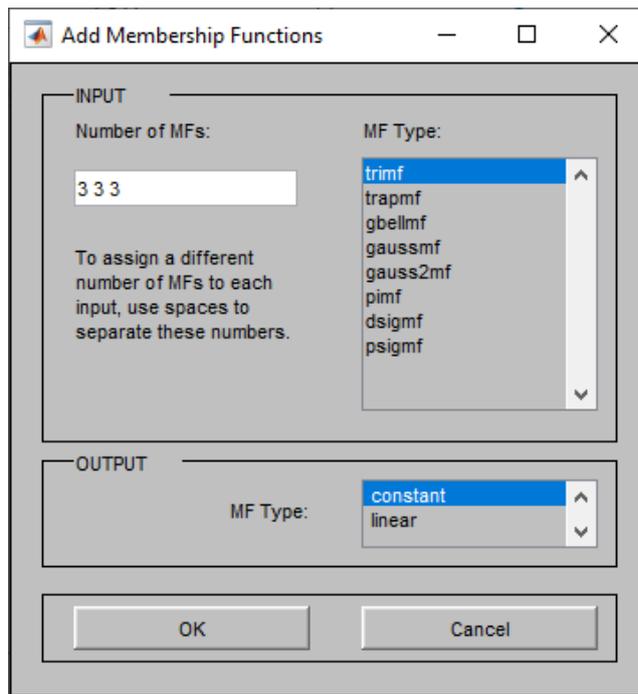


Рисунок 15 – Выбор количества и типа функций принадлежности

Архитектуру синтезированной нейронечеткой сети можно посмотреть нажав на кнопку структуры сети (Structure) блока информации системы ANFIS. Для данной системы получится структура со сложной связью в соответствии с рисунком 16.

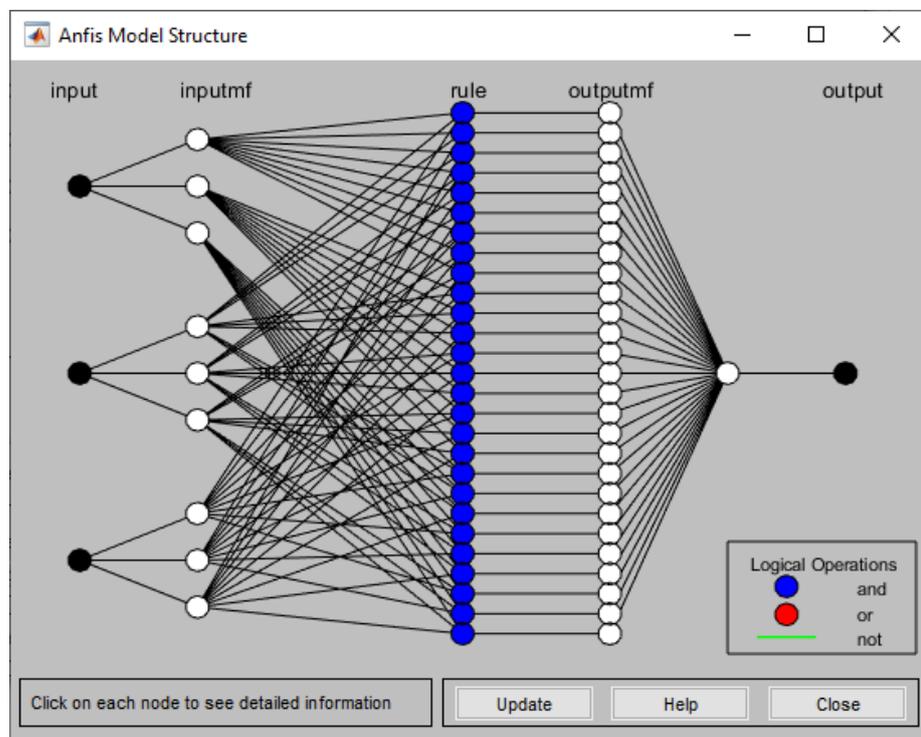


Рисунок 16 – Архитектура синтезированной нейро-нечеткой сети с 3 входными переменными

В блоке обучения (**Train FIS**) необходимо выбрать метод обучения (**Optim. Method**), точность обучения (**Error tolerance**), количество итераций обучения (**Epochs**) и нажать на кнопку обучения (**Train Now**). В ANFIS-редакторе реализованы два метода обучения: метод обратного распространения ошибки (**backpropa**) и гибридный алгоритм, объединяющий метод обратного распространения ошибки и метода наименьших квадратов (**hybrid**). Выберем гибридный метод обучения, укажем точность обучения равную 0, количество итераций равное 40 и нажмем на кнопку обучения. Динамика обучения выводится в основном окне редактора: ось абсцисс соответствует итерациям алгоритма обучения, ось ординат – значениям средней квадратичной ошибки [7].

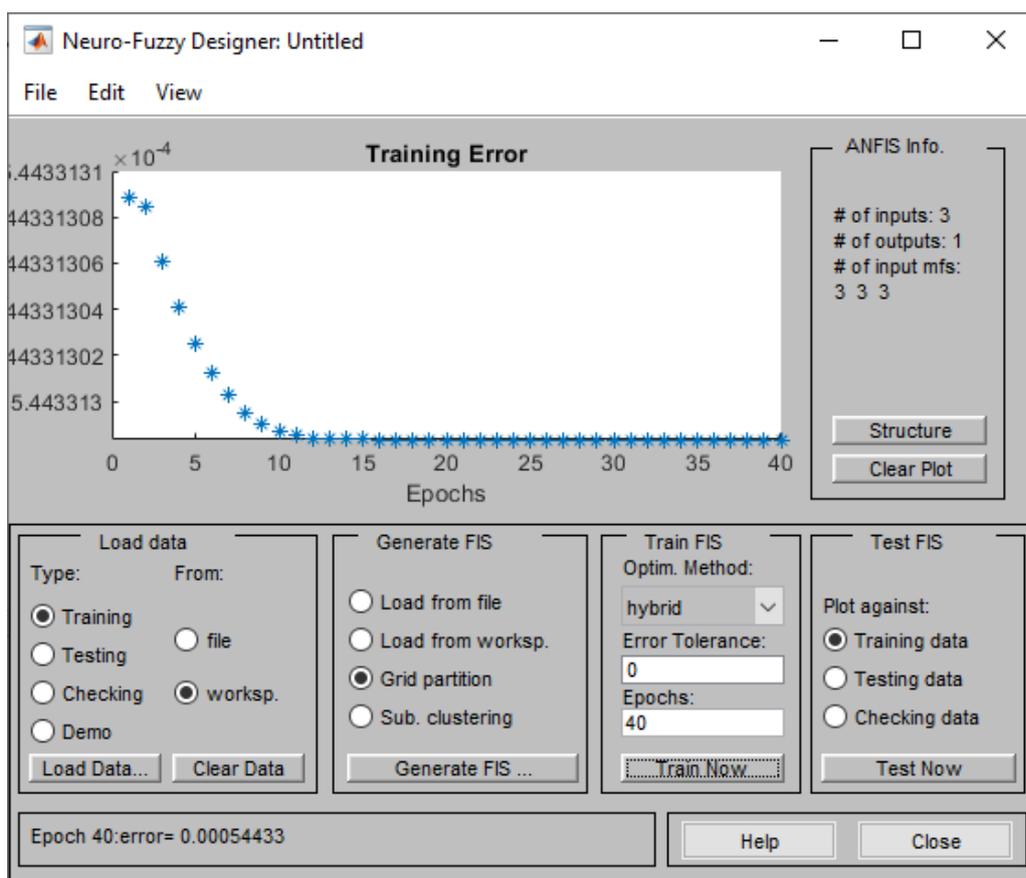


Рисунок 17 – Обучение при гибридном методе на 40 эпохах

Ошибка составила 0,00054433, что указывает на высокую точность, в сравнении с использованием нечеткого алгоритма и нейросети.

Для проверки модели на тестовой выборке в блоке тестирования нечеткой системы (**Test FIS**) выберем тестовые данные (**Testing data**) и нажмем на кнопку тестирования (**Test Now**). Результаты тестирования выводится в основном окне редактора ANFIS в соответствии с рисунком 18.

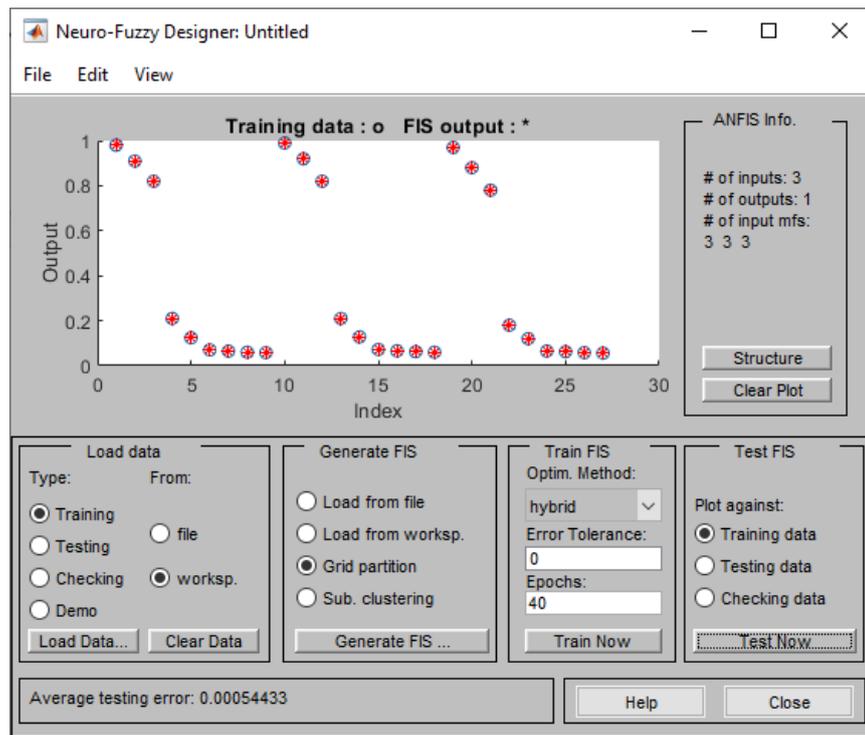


Рисунок 18 – Тестирование синтезированной нейронечеткой сети

Экспериментальные данные показаны синими точками, а результаты моделирования – красными звездочками. Ошибка на тестовой выборке составила 0,00054433. Матлаб создал 27 правил для работы нейронечеткой сети в соответствии с рисунком 19.

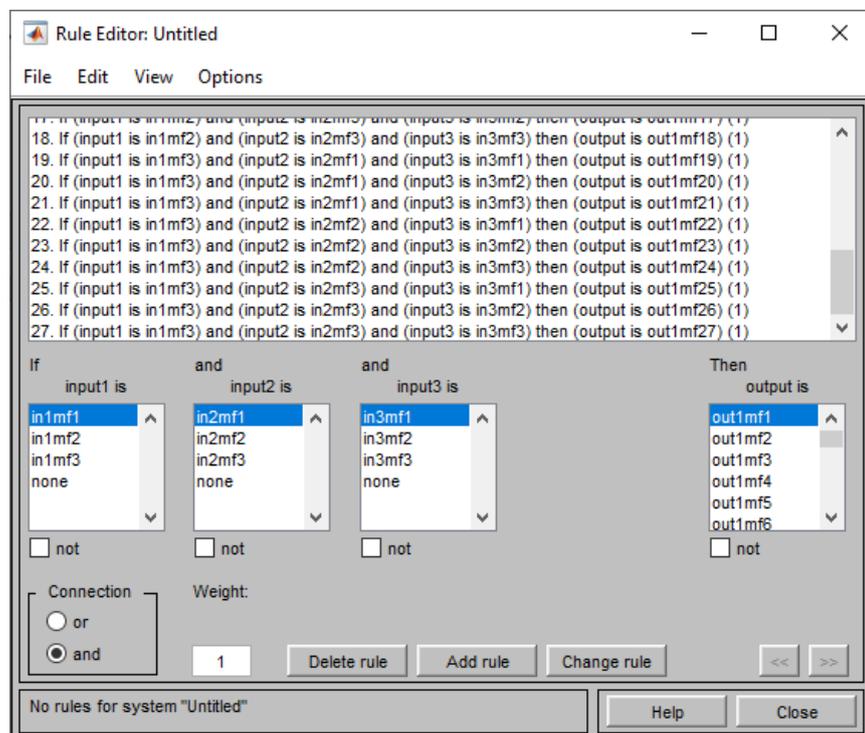


Рисунок 19 – Правила нечеткой части нейро-нечеткой сети



Рисунок 18 – Нейро-нечеткая модель управления

Таким образом, нейронечеткая сеть показала лучший результат в сравнении с использованием только нечеткого алгоритма или нейронной сети.

Таблица 5 – Результаты нейронечеткой сети

№	Выходные данные	Результат	Ошибки
	Время отстоя, Y		
1	0.98	0.9805	0.0005
2	0.91	0.9105	0.0005
3	0.82	0.8205	0.0005
4	0.21	0.2106	0.0006
5	0.124	0.1245	0.0005
6	0.07	0.0705	0.0005
7	0.065	0.0655	0.0005
8	0.06	0.0606	0.0006
9	0.058	0.0585	0.0005
10	0.99	0.9905	0.0005
11	0.92	0.9205	0.0005

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
12	0.82	0.8206	0.0006
13	0.21	0.2105	0.0005
14	0.128	0.1285	0.0005
15	0.072	0.0725	0.0005
16	0.066	0.0665	0.0005
17	0.062	0.0625	0.0005
18	0.06	0.0605	0.0005
19	0.97	0.9706	0.0006
20	0.88	0.8806	0.0006
21	0.78	0.7805	0.0005
22	0.18	0.1805	0.0005
23	0.12	0.1205	0.0005
24	0.065	0.0656	0.0006
25	0.062	0.0625	0.0005
26	0.058	0.0585	0.0005
27	0.056	0.0566	0.0006

После обучения нейронечеткой сети, полученные результаты имеют минимальные отклонения, в основном незначительные, что указывает на наименьшую ошибку 0.05443%.

3 Исследование моделей (алгоритмов) управления

3.1 Метод вычислительного эксперимента

В настоящее время основным способом исследования моделей (ММ) и проверки ее качественных показателей служит вычислительный эксперимент. *Вычислительным экспериментом* называется методология и технология исследований, основанные на применении прикладной математики и ЭВМ как технической базы при использовании ММ. Вычислительный эксперимент основывается на создании ММ изучаемых объектов, которые формируются с помощью некоторой особой математической структуры, способной отражать свойства объекта, проявляемые им в различных экспериментальных условиях, и включает в себя следующие этапы [7].

1. Для исследуемого объекта строится модель, в которой проводится разделение всех действующих факторов на главные и второстепенные. В рассматриваемом явлении на этапе исследования второстепенные факторы отбрасываются, одновременно формулируются допущения и условия применимости модели. Модель записывается в математических терминах, как правило, в виде дифференциальных или интегро-дифференциальных уравнений.

2. Разрабатывается метод решения сформулированной математической задачи. Эта задача представляется в виде совокупности алгебраических формул, по которым должны вестись вычисления и условия, показывающие последовательность применения этих формул. Совокупность перечисленных формул и условий носит название *вычислительного алгоритма*. Вычислительный эксперимент имеет многовариантный характер, так как решения поставленных задач часто зависят от многочисленных входных параметров. При создании оптимальной установки приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, отличающихся значением некоторых параметров. В связи с этим при организации вычислительного эксперимента можно использовать эффективные численные методы;

3. Разрабатываются алгоритм и программа решения задачи на ЭВМ. Программирование решений определяется теперь не только искусствами опытом исполнителя, а перерастает в самостоятельную науку со своими принципиальными подходами;

4. Проведение расчетов на ЭВМ. Результат получается в виде некоторой цифровой информации, которую далее необходимо будет расшифровать. Точность информации определяется при вычислительном эксперименте достоверностью модели, положенной в основу эксперимента, правильностью алгоритмов и программ (проводятся предварительные «тестовые» испытания).

5. Обработка результатов расчетов, их анализ и выводы. На этом этапе могут возникнуть необходимость уточнения ММ (усложнения или, наоборот, упрощения), предложения по созданию упрощенных инженерных способов решения и формул, дающих возможности получить необходимую информацию

более простым способом. Вычислительный эксперимент приобретает исключительное значение в тех случаях, когда натурные эксперименты и построение физической модели оказываются невозможными. В науке и технике известно немало областей, в которых вычислительный эксперимент оказывается единственно возможным при исследовании сложных систем. Пригодность ММ для решения задач исследования характеризуется тем, в какой степени она обладает так называемыми целевыми свойствами, основными из которых являются адекватность, устойчивость и чувствительность [7].

3.2 Описание методов оценки адекватности

В общем случае под *адекватностью* понимают степень соответствия модели тому реальному явлению или объекту, для описания которого она строится. Создаваемая модель ориентирована на исследование определенного подмножества свойств этого объекта. Поэтому можно считать, что адекватность модели определяется степенью ее соответствия не столько реальному объекту, сколько целям исследования. В наибольшей степени это утверждение справедливо относительно моделей проектируемых систем (т.е. в ситуациях, когда реальная система вообще не существует). Тем не менее, во многих случаях полезно иметь формальное подтверждение (или обоснование) адекватности разработанной модели. Один из наиболее распространенных способов такого обоснования – использование методов математической статистики. Суть этих методов заключается в проверке выдвинутой гипотезы (в данном случае об адекватности модели) на основе некоторых статистических критериев. При этом следует заметить, что при проверке гипотез методами математической статистики необходимо иметь в виду, что статистические критерии не могут доказать ни одной гипотезы – они могут лишь указать на отсутствие опровержения. Процедура оценки основана на сравнении измерений на реальной системе и результатов экспериментов на модели и может проводиться различными способами [8].

Наиболее распространенные из них:

- по средним значениям откликов модели и системы;
- по дисперсиям отклонений откликов модели от среднего значения откликов системы;
- по максимальному значению относительных отклонений откликов модели от откликов системы;
- по средней абсолютной ошибке.

3.3 Описание методов оценки устойчивости и однозначности

При проверке адекватности модели как существующей, так и проектируемой системы реально может быть использовано лишь ограниченное

подмножество всех возможных значений входных параметров (рабочей нагрузки и внешней среды). В связи с этим для обоснования достоверности получаемых результатов моделирования большое значение имеет проверка устойчивости модели [9].

Устойчивость модели – это ее способность сохранять адекватность при исследовании эффективности системы на всем возможном диапазоне рабочей нагрузки, а также при внесении изменений в конфигурацию системы. Следует отметить, что универсальной процедуры проверки устойчивости модели не существует. Разработчик вынужден прибегать к методам «для данного случая», частичным тестам и здравому смыслу. Часто полезна апостериорная проверка. Она состоит в сравнении результатов моделирования и результатов измерений на системе после внесения в нее изменений. Если результаты моделирования приемлемы, уверенность в устойчивости модели возрастает. В общем случае можно утверждать, что чем ближе структура модели соответствует структуре системы и чем выше степень детализации, тем устойчивее модель.

Устойчивость результатов моделирования может быть также оценена методами математической статистики. Воспользуемся основной задачей математической статистики, которая заключается в проверке гипотезы соответствия свойств исследуемого признака или явления свойствам некоторого множества элементов, называемого генеральной совокупностью (выборки). В генеральной совокупности исследователя обычно интересует некоторый признак, который обусловлен случайностью и может иметь качественный или количественный характер. Для проверки гипотезы об устойчивости результатов могут быть использованы различные критерии математической статистики [9].

3.4 Оценка чувствительности

Очевидно, что устойчивость является положительным свойством модели. Однако если изменение входных воздействий или параметров модели (в некотором заданном диапазоне) не отражается на значениях выходных параметров, то польза от такой модели невелика. В связи с этим возникает задача оценивания чувствительности модели к изменению параметров рабочей нагрузки и внутренних параметров самой системы. Такую оценку проводят по каждому параметру модели в отдельности. Основана она на том, что обычно диапазон возможных изменений параметра известен. Данные, полученные при оценке чувствительности модели, могут быть использованы, в частности, при планировании экспериментов: большее внимание должно уделяться тем параметрам, по которым модель является более чувствительной [10].

Полученные модели подвергаются тщательному исследованию и анализу их чувствительности, устойчивости, однозначности. Для чего проводится моделирование процесса управления при различных изменениях входных переменных, строятся кривые изменения выходных переменных при изменении входных переменных, и производится их анализ совместно с экспертами. После

завершения исследования моделей, полученных разными методами, производится сравнительный анализ на их адекватность. Для чего с помощью моделей рассчитываются выходные переменные при значениях входных переменных, взятых из матрицы планирования ПФЭ, и сравниваются с оценками эксперта. После чего формируется матрица сравнения, которая позволяет рассчитать величину ошибки моделирования различными способами [10].

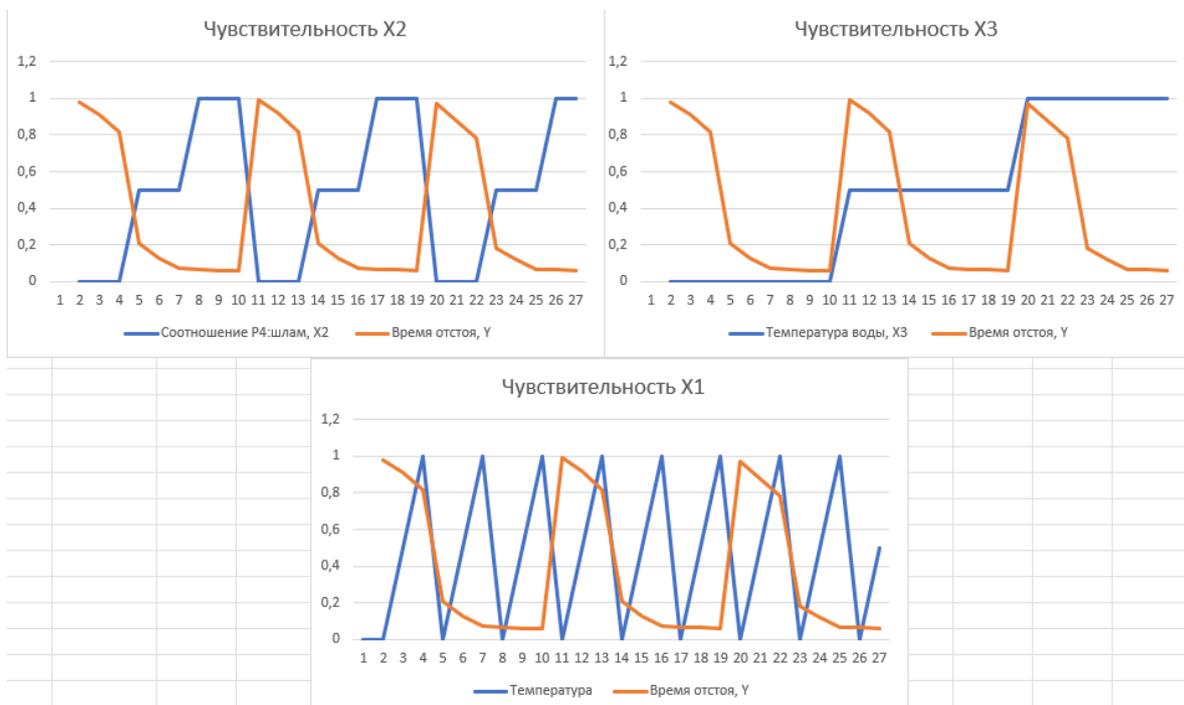


Рисунок 19 – Графики чувствительности

Графики показывают что на выходные данные больше влияет X2 соотношение P4:шлам. Таким образом, нейро-нечеткая модель в наибольшей степени чувствительна к изменению чистоты фосфора.

3.5 Сравнительный анализ моделей на адекватность

Результаты исследований интеллектуальных моделей управления на среднем уровне АСУТП сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты моделирования интеллектуальных моделей

№	Правильный ответ	Нечеткая логика	Нейронная сеть	Нейро-нечеткая сеть
1	0.98	0.87	0.98147	0.9805
2	0.91	0.87	0.91583	0.9105
3	0.82	0.87	0.71557	0.8205

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5
4	0.21	0.13	0.21061	0.2106
5	0.124	0.13	0.12405	0.1245
6	0.07	0.13	0.073817	0.0705
7	0.065	0.13	0.067951	0.0655
8	0.06	0.13	0.061147	0.0606
9	0.058	0.13	0.057489	0.0585
10	0.99	0.87	0.98671	0.9905
11	0.92	0.87	0.92006	0.9205
12	0.82	0.87	0.8189	0.8206
13	0.21	0.13	0.20131	0.2105
14	0.128	0.13	0.1278	0.1285
15	0.072	0.13	0.071997	0.0725
16	0.066	0.13	0.0632	0.0665
17	0.062	0.13	0.0632	0.0625
18	0.06	0.13	0.056585	0.0605
19	0.97	0.87	0.97014	0.9706
20	0.88	0.87	0.88064	0.8806
21	0.78	0.87	0.77948	0.7805
22	0.18	0.13	0.18211	0.1805
23	0.12	0.13	0.12085	0.1205
24	0.065	0.13	0.066039	0.0656
25	0.062	0.13	0.062894	0.0625
26	0.058	0.13	0.061371	0.0585
27	0.056	0.13	0.056331	0.0566
Ошибка		6.1259%	0.5610%	0.05443%

Согласно таблице 6, видно, что нечеткая модель показала ошибку большую, чем остальные две сети. Это обусловлено тем, что границы необходимо перенастроить, а также добавить несколько правил, которые будут учитывать те вводные данные, которые не укладываются в диапазон уже прописанных правил нечеткой логики. Нейронечеткая сеть имеет наименьший показатель ошибки, который можно не учитывать.

Таким образом, проведенные исследования показали высокую эффективность алгоритмов управления, полученных с помощью методов искусственного интеллекта. По сравнению с классическими методами построения аналитико-статистических моделей методы, основанные на знаниях, опыте интуиции людей-экспертов позволяют создавать системы оптимального управления сложными технологическими процессами значительно легче, быстрее и эффективнее. При этом оценка адекватности интеллектуальных моделей на порядок выше, чем при традиционном моделировании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведённый анализ известных математических моделей процесса отстоя и доработки фосфора, что на сегодняшний день требуется более углубленное рассмотрение проблем математического описания этого сложного объекта с распределёнными параметрами.

2. Использование искусственного управления в подобных сложных технологических процессах позволит улучшить качество управления объектом.

3. Интеллектуальная синтезированная на аналитических и практических данных показала очень хороший результат, в сравнении с математической моделью.

4. На основе аналитических и практических данных сформирована матрица ПФЭ с результатами 27 «мысленного» эксперимента.

5. На основе матрицы ПФЭ синтезированы модели управления тремя методами: нечёткие алгоритмы, нейронные сети и нейро-нечёткие сети.

6. Проведены исследования интеллектуальных моделей управления на однозначность, чувствительность, устойчивость и адекватность.

Проведенные исследования показали высокую эффективность алгоритмов управления, полученных с помощью методов искусственного интеллекта. По сравнению с классическими методами построения аналитико-статистических моделей, методы основанные на знаниях, опыте, интуиции людей-экспертов позволяют создавать системы оптимального управления сложными технологическими процессами значительно легче, быстрее и эффективнее.

Результаты исследований в этой работе имеют практическую значимость и могут применяться в процессе управления переработки жёлтого фосфора.

Перечень сокращений

ИА – интеллектуальный алгоритм
ИС – информационная система
ММ – математическая модель
НДФЗ – Новоджамбулский фосфорный завод
НСВ - нечеткой системы вывода
ПФЭ - полно факторный эксперимент
ЦТ – центр тяжести
ЭВМ - электронно-вычислительная машина

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 М.В. Ионов, М.Н. Краснянский. Автоматизированные системы технической диагностики химикотехнологического оборудования // Вопросы современной науки и практики №2 (40). 2012. Тамбов: Университет имени В.И. Вернадского, с. 66-73.
- 2 А.Р. Титов, Д.Н. Коркушев, А.В. Широков. Разработка и внедрение интеллектуальной системы диагностики мощных силовых трансформаторов.– Казань: филиал ОАО «Сетевая компания».
- 3 А.В. Андрейченков. Интеллектуальные информационные системы. – М. Финансы и статистика, 2006. – 406 с.
- 4 Б.А. Сулейменов, Г.М. Мутанов, А.Б. Сулейменов. Интеллектуальные системы управления: теория, методы, средства. – Алматы: КазНИТУ, 2012. – 223 с.
- 5 К. К. Васильев, М. Н. Служивый. Математическое моделирование систем связи : учебное пособие – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 114-137 с.
- 6 Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH, СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 63 с.
- 7 Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы, М.: Горячая линия - Телеком, 2006.
- 8 В. Suleimenov, В. Muhanov. Development of an optimal control system for smelting process in the molten-pool // Elektrotechniczny. No/vol:11 b/2012, p 124-130.
- 9 Сулейменов Б.А. Интеллектуальные и гибридные системы управления технологическими процессами. – Алматы, Шикуча, 2009, - 320 с.
- 10 Б.А. Сулейменов, Д.Ж. Хамметов. Разработка MES-технологии для агломерационного отделения НДФЗ // Инженерно-технический журнал «Вестник автоматизации», №33, 2011 г., с. 10-13.
- 11 А.Н. Тихонов. Основы теории надежности и диагностики. – Барнаул: АлтГТУ, 2008. – 226 с.

**ОТЗЫВ
РЕЦЕНЗЕНТА**

На дипломную работу
Муханов Жарас Таймасович
5B070200 – Автоматизация и управление
Тема: «Разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов
управления процессом переработки жёлтого фосфора»

В рецензируемой бакалаврской работе рассматривается актуальная задача разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора.

В первой части дипломной работы был рассмотрен цех отделения отстоя и доработки фосфора. Работа состояла из анализа известных математических моделей процесса переработки жёлтого фосфора и углубленное рассмотрение проблем математического описания этого сложного объекта с распределёнными параметрами.

Во второй части дипломной работы был рассмотрен способ улучшения качество управления объектом этого цеха используя искусственное управления в подобных сложных технологических процессах. Ключевым моментом в нашей работе было то что была использована нейронная сеть.

В третьей части дипломной работы сравнили результаты и сделали выводы по проведенным исследованиям, которые показали высокую эффективность алгоритмов управления, полученных с помощью методов искусственного интеллекта. В конце проверили результаты исследования интеллектуальных моделей управления на однозначность, чувствительность, устойчивость и адекватность.

Оценка работы

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки «А/90/отлично», что дипломант справился с поставленной задачей, дипломная работа соответствует требованиям. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов, студента Муханов Ж.Т. по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление допускается к защите.

Рецензент

Магистр техники и технологии по специальности РЭТ



**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломную работу
Муханов Жарас Таймасович
5B070200 – Автоматизация и управление

Тема: «Разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора»

Перед дипломантом ставилась задача исследования интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора.

В дипломной работе был рассмотрен способ улучшения качество управления объектом этого цеха используя искусственное управления в подобных сложных технологических процессах. В работе был рассмотрен цех отделении отстоя и доработки фосфора. Ключевым моментом в нашей работе было то что мы использовали нейронную сеть. Интеллектуальную систему можно описать как систему, решающую задачи, которые традиционно считаются творческими и принадлежат конкретной предметной области. В результате объединения различных технологий искусственного интеллекта появились нейронная сеть и нечеткая логика. Их сущностью является то, что в отличие от других систем они стремятся приспособиться к неточности реального мира. И в данной работе мы исследуем три из таких сетей: нечеткая логика, нейронная сеть, нейронечеткая сеть.

В процессе работы автор работы показал себя дисциплинированным, исполнительным и трудолюбивым 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, оцениваю работу на «90/А/отлично» студент Муханов Ж.Т. допускается к защите.

Научный руководитель
Доктор технических наук
Профессор кафедры АиУ
Сулейменов Б.А.

« 0 » 2022 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Муханов Ж.

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора

Научный руководитель: Батырбек Сулейменов

Коэффициент Подобия 1: 4

Коэффициент Подобия 2: 2.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 0

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



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Муханов Ж.

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора

Научный руководитель: Батырбек Сулейменов

Коэффициент Подобия 1: 4

Коэффициент Подобия 2: 2.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 0

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 укрывтия 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

14.05.2022.

проверяющий эксперт