Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

УДК 665.63: 51.001.57 На правах рукописи

**ТАНИРБЕРГЕНОВА АЛУА АМИРХАНОВНА**

**Разработка моделей и эвристических методов принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки ЛГ**

Диссертация на соискание степени

доктора философии (PhD)

по образовательной программе

8D07102 – Автоматизация и управление

Научные консультанты

доктор технических наук,

профессор

Б.Б. Оразбаев,

зарубежный консультант

кандидат технических наук,

доцент

А.В. Марков

(Белоруссия)

Республика Казахстан

Астана, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ …………………….…….……………….... | | | 4 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЯ………………………....….………………….…….…... | | | 5 |
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ ……………………....................... | | | 10 |
| ВВЕДЕНИЕ………………………….…………………..………………….. | | | 11 |
| 1 | | АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ГИДРООЧИСТКИ И ПОДХОДОВ К ИХ РЕШЕНИЮ...................................................... | 16 |
| 1.1 | | Технологические объекты нефтепереработки и гидроочистки в нефтеперерабатывающих заводах, основные характеристики и вопросы повышения их эффективности. …………………………... | 16 |
| 1.2 | | Исследование научно-технических основ технологии и процесса гидроочистки бензиновых фракций, влияние основных параметров процесса на количество и качество получаемой продукции. ………………………….………………………………... | 25 |
| 1.3 | | Методы математического моделирования и принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов нефтепереработки по вектору критериев. …………………………. | 33 |
| 1.4 | | Проблемы, возникающие при решении задач исследования и подходы к их решению ……………………………………………... | 45 |
| Выводы по разделу 1. ………………………………….…………………… | | | 51 |
| 2 | | ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ БЛОКА ГИДРООЧИСТКИ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА. ……………………… | 53 |
| 2.1 | | Изучение и описание объекта исследования – блока гидроочистки установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ ………………………………………... | 53 |
| 2.2 | | Концепция построения пакета моделей для системного моделирования ХТС на примере блока гидроочистки.………..….. | 56 |
| 2.3 | | Подходы и методы построения моделей технологических объектов в условиях неопределенности и нечеткости исходной информации.………………………….……………………………... | 62 |
| 2.4 | | Экспертные оценки для разработки математического описания ХТС блока гидроочистки в нечеткой среде. ………………………. | 72 |
| 2.5 | | Разработка моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки риформинга ЛГ. …………………………………………. | 80 |
| Выводы по разделу 2………………………………….……..……………… | | | 90 |
| 3 | ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ БЛОКА ГИДРООЧИСТКИ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИХ РЕШЕНИЯ. …………….………. | | 92 |
| 3.1 | Формализация и постановка задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки на основе математических моделей. ………………………………………..…... | | 92 |
| 3.2 | Разработка эвристических методов решения поставленных задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга с использованием исходной нечеткой информации. …. ………………………………….……….. | | 97 |
| 3.3 | Основные свойства предложенных эвристических методов решения задач принятия решений в нечеткой среде и методика выбора конкретного метода в зависимости от производственных ситуаций. ……………………………………………………..……….. | | 101 |
| Выводы по разделу 3 . ……………………………………………..………. | | | 104 |
| 4 | ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ. СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ………………………..…… | | 106 |
| 4.1 | Определение оптимальной температуры процесса гидроочистки на основе лингвистического моделирования. …………………….… | | 106 |
| 4.2 | Постановка задачи принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки в нечеткой среде и решение ее на основе предложенного эвристического подхода………………....... | | 111 |
| 4.3 | Создание архитектуры и основных функциональных блоков системы поддержки принятия решений для управления режимами работы блока гидроочистки……………………………………........... | | 116 |
| 4.4 | Описание основы интерфейса создаваемой системы поддержки принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга …………………………...….. | | 120 |
| 4.5 | Результаты исследований и перспективы их применения..……..…. | | 123 |
| Выводы по разделу 4……….……………………………………….………. | | | 124 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.……………………….…………………………………… | | | 126 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ. ………………….. | | | 128 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А – Акт внедрения............................................................ | | | 138 |
| **ПРИЛОЖЕНИЕ Б** **–** Блок-схема алгоритмизации методов разработки нечетких и лингвистических моделей ……………………………………. | | | 140 |
| **ПРИЛОЖЕНИЕ В –** Карты экспертного опроса для основных технологических агрегатов блока гидроочистки установки риформинга.. | | | 142 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Нечеткие множества, описывающие входные параметры, их терм-множество и функции принадлежности каждого терма………………………………………………………………………….. | | | 144 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Характеристики и свойства сравниваемых методов решения задач принятия решений при решении тестовых задач. | | | 145 |
| **ПРИЛОЖЕНИЕ Е** **–** Расчет экономической эффективности от внедрения полученных результатов ………………………………………. | | | 146 |
| **ПРИЛОЖЕНИЕ Ж** **–** Код программы.......................................................... | | | 152 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ И – Свидетельство об авторском правом....................... | | | 175 |

**НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

П ЕНУ 19-21. Положение о диссертационном совете Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева.

ГОСТ 2177-82. Фракционный состав бензина.

ГОСТ 511-82. Качество бензина, октановое число.

ГОСТ 2070-82. Содержание непредельных углеводородов в гидрогенизате.

ГОСТ 13380-81. Содержание серы в гидрогенизате.

ASTM 51-34-93. Содержание ароматических углеводородов, н-гептана в гидрогенизате.

СТП 319908-40100 5-00. Качество нефтепродуктов.

ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе.

ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

**Алгоритм** – строгая последовательность действий, преобразующая исходные данные, чтобы получить решения поставленной задачи.

**Базы знаний и данных** – базы для хранения знания ЛПР, экспертов предметной области в формализованном виде и данных, характеризующиеся работу и состояния объекта.

**Блок гидроочистки** – один из основных блоков установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95, предназначенный для проведения процесса гидроочистки прямогонного бензина из вредных примесей.

**Весовой вектор** – множество весовых коэффициентов, отражающие взаимную важность критериев или ограничений.

**Гидрогенизат** – гидроочищенный в процессе гидроочистки от сернистых и других вредных примесей прямогонный бензин.

**Гидроочистка** – технологический процесс, предназначенный для очистки сырья от сернистых и других вредных органических соединений в присутствии катализатора.

**Гидрооблагораживание** – процесс снижение или удаление из нефти и нефтепродуктов каталитических ядов.

**Детерминированные модел**и – модели, разрабатываемые на основе аналитических методов в условиях однозначных связей между входными и выходными параметрами, характеризуется тем, что при конкретных значениях входных параметров дает одни и те же результаты.

**Задача НМП** – обобщенная задача математического программирования, на случай нечеткости всех или некоторых элементов, например целевая функция, и/или ограничения.

**Задачи ПР** – задача, решение при решении, которой выбирается одно или множество эффективных решений из возможных вариантов решения. Задача многокритериальной оптимизации при наличии противоречивых критериев.

**Задачи принятия решений в условиях определенности** – характеризуются однозначной связью между вариантами решения и, возникающих при выборе конкретного варианта решения и исходом

**Задачи принятия решений в условиях риска** – характеризуются тем, что каждое принимаемое решение **** связано c множеством *m* возможных исходов **** c условными вероятностями **** т. е. не имеют однозначной связи между вариантами решения и возможными исходами.

**Задачи ПР в нечеткой среде** – характеризуются тем, что все, некоторые или хотя бы один, например критерии, ограничения, предпочтения или др. элементов задачи описывается нечетко.

**Идеальная точка** – точка, где находится идеальное решение.

**Идентификация** – процесс определения структуры модели при структурной идентификации или неизвестных параметров модели при параметрической идентификации.

**Интерфейс** – программа или устройство, обеспечивающее удобную связь с системой или объектом. Программный интерфейс пользователя информационных систем, обеспечивает удобный диалог между ЛПР и системой при решении задачи.

**Катализатор** – используются в каталитических процессах для ускорения протекания химического процесса.

**Комбинированные модели** – модели, построенные с помощью гибридных методов синтеза моделей с использованием исходной информации различного, например статистического, нечеткого или др. характера.

**Критерии** – показатели, позволяющие оценить качество работы объекта, например, объем, качество производимой продукции, которых необходимо оптимизировать.

**Лингвистическая модель** – модели, разрабатываемые на основе логических правил условного вывода теорий нечетких множеств, в которых входные и выходные параметры объекта описываются лингвистическими переменными.

**Лингвистические переменные** – характеризуется со значениями, которые принимают значения из термов терм-множества, т.е. являются нечеткими в виде слов, слово сочетаний.

**Логическое правило условного вывода** – Правило теорий нечетких множеств, которое используется при построении лингвистически моделей, имеющие структуру: 

**Математическая модель** – система математических выражений, уравнений, зависимостей и ограничений, отражающие особенностей процессов, протекающих в моделируемом объекте моделирования, позволяющая на основе заданного алгоритма прогнозировать поведение объекта, определить значения выходных параметров моделируемого объекта при изменении значений его входных, режимных параметров.

**Математическое моделирование** – процесс исследования объекта с помощью математических моделей для определения его оптимального режима работы.

**Метод главного критерия** – метод сведения многокритериальной задачи к однокритериальной на основе выбора и оптимизации главного критерия и учета остальных критериев как ограничения предварительно введя их в состав ограничения с указанием граничных значений.

**Множество уровня *α*** *–* является четким подмножеством универсум с элементами, имеющие степени принадлежности  используется для замены нечеткой задачи с эквивалентными четкими задачами на  срезах.

**Нефтепереработка** – отрасль производства, которая занимается подготовкой и переработкой нефти на нефтеперерабатывающих предприятиях для производства нефтепродуктов.

**Нечеткие модели** – модели, разрабатываемые на основе методов экспертных оценок и теории нечетких множеств в условиях четких входных, режимных параметров объекта, а его выходные параметры оцениваются нечетко.

**Нечеткое множество (fuzzy set)** – множество, обозначаемое обычно как , является нечетким подмножеством универсального множества *U*, описывается , где  – оценивает степень принадлежности элемента  к нечеткому множеству .

**Нефть** – сырье для нефтепереработки состоит в основном из углерода (79.5–87.5%) и водорода (11.0–14.5%).

**Нечеткое отношение R** – нечеткое подмножество декартова произведения  характеризуемое функцией принадлежности , где значение этой функции  является некоторой субъективной мерой выполнения отношения .

**Нечеткое ограничение** – ограничение, заданное нечетко, например: более, менее, около и др.

**Нормализация** – процесс приведения параметров к единым единицам измерения или безразмерному масштабу.

**Объемная скорость подачи сырья гидроочистки** – отношение объема сырья, которое подается в реактор гидроочистки в час к объему катализатора, измеряется в час-1.

**Оптимальное решение** – такое решение, в котором критерии принимают наилучшие (минимальные, максимальные) значения, которые удовлетворяют соотношению:, где **f** – оптимальное значение интегрального критерия; *opt* – оператор оптимизации, который определяет используемый принцип оптимальности.

**Оптимальный режим работы** – такой режим работы управляемого объекта, значения входных, режимных параметров, который обеспечивает оптимальные значения критериев при выполнениях всех ограничений.

**Оптимизация** – процесс поиски и нахождение наилучших значений критериев.

**Парето множество** – множество эффективных решений, где улучшение одного критерия возможно только за счет ухудшения других критериев.

**Принятия решений** – процесс выбора наилучшего или компромиссного решений из множества альтернатив, возможных вариантов решений с учетом заданных критериев.

**Пакет математических моделей** – взаимосвязанные математические модели, объединенные в единый пакет, который позволяет системно моделировать ХТС.

**Параметрическая идентификация** – задача определения параметров, например, коэффициентов регрессии структурно идентифицированных математических моделей.

**Принцип Парето оптимальности** – принцип, в соответствие которому ЛПР может выбрать наилучшие решение из множество эффективных решений, количество которых 5±7.

**Принцип абсолютной или относительной уступки** – позволяет свести многокритериальную задачу к однокритериальной суммируя (при абсолютной уступке) или путем умножения критериев или суммированием их логарифмов (при относительной уступке), с учетом весовых коэффициентов критериев. Может быть формализовано следующим образом:  Здесь  – такие критерии, для которых , т.е. мажорируемые критерии; – минорируемые критерии, для которых . , – приращение критериев, его абсолютное значение; : – означает “такой, для которого”.

В формализованном виде принцип относительной уступки записывается в следующем виде:



где ;  – изменение мажорируемых и минорируемых критериев (относительное); , – максимальные значения соответствующих критериев.

**Принцип идельной точки** – принцип оптимальности, позволяющий найти решения путем минимизации расстояние (метрики) от текущего решения до идеального решения.

**Принцип максиминна** – принцип, обеспечивающий гарантированный результат, по этому принципу из минимумов выбирается максимумы, можно выразить таким образом:



Таким образом, согласно этому принципу из области компромиссных решений выбирается вариант решения с минимальными значениями частных критериев, затем и среди выбранных решений определяется вариант решения, который имеет максимальное значение.

**Процесс гидроочистки прямогонного бензина** – является каталитическим процессом, который протекает в среде водородосодержащего газа и в присутствии катализатора, предназначен для разложения и удаления из прямогонного бензина серы и других органических вредных соединений.

**Реакторы Р-1** – реактор гидроочистки. Основной агрегат блока гидроочистки, где вырабатывается гидроочищенная продукция, например гидрогенизат.

**Риформинг** – технологический процесс для повышения качества бензина, путем повышения их октанового числа превращая нафтенов и парафинов в ароматические углеводороды.

**Ряд приоритета** – упорядоченное множеством индексов объекты, например, локальные критерии, ограничения и т.д. Причем объекты с индексами слева, как правило, доминируют над объектами, имеющие индексы справа, например  важнее, чем , где , – количество объектов.

**Статистические модели** – математические модели, разработанные на основе экспериментально-статистических вероятностных методов с использованием исходной статистической информации.

**Структурная идентификация** – Задача определения структуры математических моделей.

**Терм-множество** – множество терминов, описывающие значения лингвистических переменных.

**Термические процессы** – процессы глубокой переработки нефти, нефтепродуктов под высокой температурой.

**Термокаталитические процессы** – процессы, протекающие при высоких температурах в присутствии катализаторов, используется для повышения качества нефтепродуктов, сырья нефтехимического производства (каталитический крекинг, риформинг, гидроочистка и др.

**Технологическая установка** – взаимосвязанный комплекс технологических агрегатов, которые предназначены для переработки сырья и производства одного или нескольких видов продукций.

**Фаззификация** – процедура описания нечеткости на основе функции принадлежности.

**Физико-химические пр**оцессы – процессы, протекающие в ХТС, характеризующиеся изменением состава и структуры молекул, позволяют образовать качественно новых соединений.

**Функция принадлежности**  – функция, используемая для вычисления степени принадлежности элемента к нечеткому множеству *A*, принимает значение в [0,1].

**Эксперт** – специалист, имеющее необходимое образование и большой опыт по решению проблем своей предметной области.

**Экспертные методы** – методы, ориентированные для опроса экспертов и обработки полученной экспертной информации об исследуемой проблеме, объекте.

**ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

|  |  |
| --- | --- |
| Атырауский НПЗ | – Атырауский нефтеперерабатывающий завод, первый нефтеперерабатывающий завод Казахстана, перерабатывающий местное сырье |
| ВСГ | – водородсодержащий газ, используемый в процессе гидроочистки |
| ИС ППР | – информационные системы поддержки принятия решений |
| К-1 | – колонна отпаривания блока гидроочистки |
| К-2, К-3 | – абсорберы блока гидроочистки |
| КИПиА | – контрольно-измерительные приборы и автоматика |
| ЛГ | – аббревиатура, Ленинград-Германия, технологическая установка для проведения риформинга, изготовлена в Ленинграде по Германской технологии |
| ЛМ | – лингвистическое моделирование |
| ЛПР | – лицо, принимающее решение, которое непосредственно принимает окончательное решение при управлении объектами и отвечает за последствия принимаемого решения, является экспертом в своей предметной области |
| НМ | – нечеткое моделирование |
| НПЗ | – нефтеперерабатывающий завод, где с помощью различных технологических установок, ХТС производят из нефти нефтепродукты |
| НЭО | – нечеткая экспертная оценка, при этом оценка показателей, объектов проводятся нечетко |
| П-101 | – печь гидроочистки, для подогрева сырья |
| С-1, С-2 | – сепараторы блока гидроочистки |
| ТНМ | – теория нечетких множеств, являющаяся математическим аппаратом формализации и обработки нечеткой информации |
| УВ | – углеводороды, сырья, которые в основном состоит из углерода и водорода, бывают в различном состояние |
| ХТС | – химико-технологическая система – совокупность аппаратов, связанных между собой потоками и функционирующих как единое целое в которой протекают различные процессы |
| ЭЛОУ-АТ, АВТ | – электрообеспечивающая установка, атмосферная, атмосферная-вакуумная трубчатая, установки первичной переработки нефти |

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы исследований**. При переработке нефти, в составе которых имеются серо-, кислород- и азотосодержащие соединения негативно  
влияющие на дальнейшие стадии переработки, важную роль играют технологические процессы гидроочистки нефтепродуктов. Нефтепродукты, например, прямогонный бензин, дизтоплива, газойлы и другие вырабатываются на установках первичной переработки нефти: ЭЛОУ-АТ, АВТ. Установка каталитического риформинга, относящаяся к технологической установке вторичной, глубокой переработке нефти предназначена для очистки прямогонного бензина от вредных примесей (в блоке гидроочистки) и повышения качества и стабилизации автомобильных бензинов (в блоках риформинга и стабилизации).

В нефтеперерабатывающих заводах процессы гидроочистки относятся одному из важных и распространенных процессов. Соответственно к процессам управления агрегатами гидроочистки выделяется особое внимание. Такие задачи на практике часто эффективно и оперативно решаются на основе методов принятия решения, которые позволяют поиск и определения оптимальных параметров процесса гидроочистки. А оптимальные параметры, в свою очередь, обеспечивают эффективные режимы работы агрегатов, в которых протекают процессы гидроочистки, при котором получаются максимальные объемы целевых продуктов и улучшаются их качество.

Проблемам принятия решений при управлении технологическими процессами и объектами посвящено большое количество исследовательских работ. Но эти проблемы, т.е. принятия решений на основе математических моделей в условиях дефицита и нечеткости исходной информации решены еще не полностью. С целью эффективного решения таких задач принятия решений требуется применить системный подход, позволяющий построить взаимосвязанную систему моделей технологических объектов, на основе которого можно принимать решения по управлению технологическими объектами, функционирующие в нечеткой среде. Известно, что такие методы принятия решений позволяют учитывать опыт, знания и интуиции производственного персонала, т.е. специалиста-эксперта, а его опыт и знания формализуется в нечеткой, вербальной форме (в виде суждения, заключения, т.е. с помощью слов и предложений). Наиболее эффективным аппаратом формализации и использование такой нечеткой информации является методы теорий нечетких множеств. При формализации и решений таких задач в нечеткой среде необходимо максимально использовать собранную и доступную нечеткую информацию, т.е. приходиться применить эвристический подход.

Принятия эффективного решения в процессе управления режимами работы технологических систем на производстве может быть осуществлено на основе взаимосвязанных, т.е. пакета моделей элементов системы. Математические модели элементов системы должны быть разработаны с учетом природы, особенностей и состояния объектов и протекающих в нем процессов. А в условиях дефицита исходной информации, что часто бывают на производстве, при разработке моделей необходимо использовать и нечеткую информацию, в виде опыта и знаний лица, принимающего решения (ЛПР), экспертов. В этой связи, тема исследования данной диссертационной работы, посвященной к разработке системы моделей блока гидроочистки установки каталитического риформинга и созданию эффективного метода принятия решений по управлению процессом гидроочистки на основе эвристики является актуальной задачей теории моделирования и принятия решений, а также важной задачей нефтеперерабатывающего производства.

Цель исследовательской работы. *Целью данной исследовательской работы является*: разработать систему моделей и эвристических методов принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов (на примере технологических агрегатов блока гидроочистки установки каталитического риформинга), с учетом дефицита и нечеткости исходной информации.

**Задачи исследования.** Для достиженияпоставленной цели ставятся и решаются следующие основные *задачи исследования*:

– создания концепции построения пакета моделей для системного моделирования ХТС;

– разработать модели основных агрегатов блока гидроочистки установки риформинга ЛГ на основе подходов построения моделей в условиях неопределенности и нечеткости исходной информации;

– сформулировать математические постановки задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки на основе математических моделей в нечеткой среде и разработать эвристических методов их решения, выбор наиболее эффективного метода;

– применить результатов исследования для решения производственных задач, создать структуру и функциональных блоков системы поддержки принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов блока гидроочистки.

**Объект исследования.** Объектом исследований в настоящей диссертации являются технологические объекты блока гидроочистки установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ.

**Предмет исслелдования.** Предметом исследования в данной диссертации является методология системного анализа, современные формальные и неформальные методы решения сложных производственных задач в условиях дефицита и нечеткости исходной информации.

**Методы исследований.** В диссертационной работе применяется методы системного анализа; методы математического моделирования, оптимизации и принятия решений в т.ч. в нечеткой среде; методы экспертных оценок и теорий нечетких множеств для сбора, формализации и использование нечеткой информации; средства программирования; проверка результатов экспериментальными методами.

**Основные научные результаты и положения, выносимые на защиту:**

1. *Концепция построения пакета моделей* для системного моделирования ХТС на примере блока гидроочистки, позволяющие на основе системного анализа выбрать и построить эффективный тип модели каждого элемента системы, объединить их в единый пакет для системного моделирования ХТС в целом.

2. *Математические модели основных агрегатов блока гидроочистки* установки риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ, построенные на основе нечетких или лингвистических подходов в зависимости от нечеткости входных и выходных параметров объекта, в т.ч. доступной и собранной информации различного характера.

3. Новые *математические постановки задач принятия решений* по управлению режимами работы блока гидроочистки на основе модификации и комбинации различных принципов оптимальности и разработанные *эвристические методы их решения*, ориентированные на привлечение ЛПР.

4. Архитектура и функциональные блоки системы поддержки принятия решений по управлению режимами работы агрегатов блока гидроочистки в нечеткой среде, включающая в состав разработанных моделей и методов.

**Научная новизна результатов исследования.** Научная новизна результатовработы заключается в следующем:

* новизна предложенной концепции построения пакета моделей заключается в использовании методологии системного анализа в построении эффективных моделей элементов системы с учетом возможности их объединения в пакет взаимосвязанных моделей, позволяющего системно моделировать ХТС;
* разработанные методы построения моделей технологических агрегатов в отличие от известных подходов при нечеткости исходной информации, использует системный подход и позволяет на основе доступной информации различного характера и степени нечеткости разработать нечетких, лингвистических или комбинированных моделей;
* новизна сформулированных математических постановок задач и предложенных методов их решения в том, что задачи ставятся и решается в нечеткой среде на основе модификации и комбинации различных принципов оптимальности.
* преимущества предложенной архитектуры системы поддержки принятия решений по управлению режимами работы агрегатов блока гидроочистки в нечеткой среде наличие интеллектуальной части за счет разработанных моделей с учетом интеллекта экспертов и эвристических методов, использующих творческой способности и интеллекта ЛПР.

**Связь темы диссертационной работы с другими исследовательскими работами.** Диссертация выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ кафедры Системного анализа и управления ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. Работа является частью научного проекта «Интеллектуализированная система поддержки принятия решений для управления режимами работы установки каталитического риформинга», финансируемый КН МОН РК №АР08855680 (2020-2022).

**Практическая значимость диссертационного исследования.** Предложенная концепцияпостроения пакета моделей для системного моделирования ХТС и разработанные методы построения математических моделей в нечеткой среде могут быть использованы для разработки эффективных моделей и системного моделирования ХТС нефтеперераба-тывающего, химического, металлургического и других отраслей производства.

Разработанные модели и методы принятия решений в нечеткой среде использованы при построении моделей основных агрегатов блока гидроочистки и при управлении режимами их работы с помощью построенных математических моделей.

Сформулированные математические постановки задач принятия решений в нечеткой среде и разработанные их эвристические методы позволяют определить и выбрать оптимальные режимы работы технологических объектов нефтеперерабатывающих и других производств.

**Внедрение результатов диссертационнго исследования. Результаты д**иссертационного исследования на практике приняты к внедрению:

– на блоке гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ для решения задачи принятия решений по управлению режимами работы реактора риформинга (Приложение А).

**Личный вклад автора диссертации.** Личный вклад автора диссертации заключается:

– в формулировке цели и постановке задач исследования, в обосновании и выборе направления исследования;

– в разработке методов решения задач исследования;

– в формулировке выводов и обосновании, защищаемых научных положений;

– в создании концепции построения пакета моделей для системного моделирования ХТС и разработке методов построения математических моделей технологических объектов в нечеткой среде;

* в разработке математических моделей основных агрегатов блока гидроочистки;

– в разработке эвристических методов решения задач принятия решений в нечеткой среде на основе модификации различных компромиссных схем для нечеткости;

– в создании архитектуры и функциональных блоков системы поддержки принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки;

**Апробация основных результатов диссертационного исследования.** Основные результаты полученные в ходе выполнения диссертационной работы апробированы в виде докладов на международной научной конференции «Way Science International Scientific and Practical Internet Conference «Development of Education Science and Business: Results 2020» (Dnipro, 2020); обсуждались на научных семинарах кафедр «Системный анализ и управление» ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, «Информационные системы» АУНГ им. С. Утебаева.

**Научные публикации по результатам исследования.** Основные результаты и положения диссертационной работы опубликованы в 4 научных трудах, в т.ч. в журналах рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан – 4 научные статьи:

1. Айқын емес шектеулер жағдайында өндірістік жоспарды оңтайландыру // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – 2020. – №1(48) – C. 44–53.

2.Задача минимизации в условиях дрейфа минимума критерия и симплексные методы ее решения // Вестник КазНИТУ. – 2020. – №2(138). – С. 721-727.

3. Разработка комплекса математических моделей колонн и печи блока гидроочистки на основе исходной информации различного характера // Вестник КазНИТУ. – 2020. – №4(140). – С. 261-269.

4. Задача принятия решений по управлению процессом гидроочистки установки каталитического риформинга в нечеткой среде и разработка метода ее решения // Вестник НИА РК. – 2021. – №4(82). – С. 158-167.

В журналах, входящие в базу Scopus опублиукована – 1 статья:

1. Hydrotreating unit models based on statistical and fuzzy information // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, №4. – P. 242-258.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в материалах следующих международных научно-практических конференции:

1. Оптимизация процессов гидрроочистки и каталитического риформинга риформинга бензина // Way Science International Scientific and Practical Internet Conference «Development of Education and Business: Results 2020» (Dnipro, 2020. – P. 197-200).

2. 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, 2021. – 19-23 апреля).

Кроме того 1 статья опубликована в научном журнале АУНГ:

1. Исследование проблем оптимизации процессов риформинга при переработке нефти и подходы к их решению на основе математических методов и информационных систем // Вестник АУНГ. – 2019. – №4(52). – С. 295-305.

**Структура и объем диссертационного исследования.** Структура диссертационной работы включает введение, основную часть из 4-х разделов, список использованных источников информации из 157 наименования, а также 8 приложений. Общий объем диссертационной работы 137 страниц, в том числе содержит 13 рисунков и 11 таблиц.

1 АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ГИДРООЧИСТКИ И ПОДХОДОВ К ИХ РЕШЕНИЮ

1.1 Технологические объекты нефтепереработки и гидроочистки в нефтеперерабатывающих заводах, основные характеристики и вопросы повышения их эффективности

На практике технологические процессы нефтепереработки, в т.ч. процесс гидроочистки протекают в специально сконструированных технологических объектах, например, реакторы, печи, колонны, теплообменники, которые взаимосвязаны между собой. Комплекс нефтеперерабатывающего производства, состоящего из таких и других взаимосвязанных технологических агрегатов, на производстве называется технологическом блоком, которые могут объединяться в технологическую установку [1, 2]. Технологический процесс гидроочистки, как и другие процессы нефтепереработки, протекает в технологических блоках и установках нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ).

Сырая нефть, подаваемая к переработке, в своем составе содержит определенное количество соединений серы, азота и кислорода, которые отрицательно влияют на последующие стадии переработки, вызывает коррозию аппаратуры, отравляют катализаторы и ухудшает качество и выход целевых продуктов. Технологические процессы гидроочистки предназначены для снижения перечисленных негативных влияний серо-, кислород- и азотосодержащих вредных соединений на процессы нефтепереработки [3-5].

В нефтеперерабатывающей отрасли сегодня гидрогенизационные процессы, в т.ч. процессы гидроочистки, относятся к наиболее важным среди вторичных процессов переработки нефти. Такое положение продиктовано следующими основными обстоятельствами:

– непрерывным увеличением в мировом балансе нефтепереработки доли высокосернистых и сернистых нефти. Например, в Казахстане в связи с началом добычи и переработки, высокосернистых нефти месторождений Тенгиз и морских месторождений на Северном Каспии с огромным запасом нефти баланс переработки высокосернистых нефти резко увеличивается;

– ужесточением требования нормативов и международных стандартов, направленных на охрану окружающей природной среды;

– ужесточением требования по обеспечению более высокого качество товарных нефтепродуктов;

– развитием тенденции к применению высокоселективных, высокоактивных катализаторов для проведения каталитических процессов нефтепереработки. А это в свою очередь требует наличия предварительного  
гидрооблагораживания нефти и нефтепродуктов для удаления и снижения каталитических ядов, каким относятся сернистые соединения и другие соединения, которые удаляются процессом гидроочистки;

– требованием к дальнейшему повышению глубины переработки нефти и увеличения выхода целевого нефтепродукта. Это вызвано с ограниченным запасом нефти на Земле.

Процессы гидроочистки и объекты, в которых они протекают, исследованы во многих научно-технических работах, посвященных к исследованию и решению проблем химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей [6-11]. В ряде работах рассматриваются вопрос об утилизации серы, которая получается при переработке нефти с целью производства серной кислоты [7, с. 15-18; 8, р. 69-84]. По данным 2015 года более 157 млн. тонн серы было произведено с помощью установок гидроочистки [11, с. 27-30].

Так как в настоящее время интенсивно возрастает, роль технологических процессов гидроочистки в нефтепереработке возникает необходимость  
разработки математических моделей технологических объектов, в которых протекают процессы гидроочистки, методов принятия решений по управлению режимами их работы реализуемых в видепрограммных комплексов.

В исследовательских работах [3, р. 83-86; 12-17] на основе существующих  
представлений о технологическом процессе гидроочистки созданы методы расчета выхода продукции в зависимости от состава сырья и от режимных параметров, например температуры, давления и других технологических параметров. А также исследованы основные свойства и эффективность различных видов катализатора в различных условиях [18, 19]. Кроме того, в этих и в других работах [20-22] исследованы алгоритмы расчета активности катализатора, используемых в процессах гидроочистки, а также прогнозирования срока службы этих катализаторов. Также известны работы, в которых рассматриваются вопросы создания программ, реализующие алгоритмов расчета и оптимизации, позволяющие определить и выбрать оптимальные режимы работы реактора гидроочистки [23]. На практике, в производственных условиях реальные технологические объекты, в которых протекают процессы гидроочистки, часто характеризуются неопределенностью из-за дефицита и нечеткости исходной информации, необходимые для разработки математических моделей и оптимизации их режимов работы. Как показывают результаты литературного обзора методы моделирования, оптимизации и принятия решений по выбору оптимальных режимов работы технологических объектов гидроочистки в этих условиях, т.е. в нечеткой среде, в последние время начали активно исследоваться [24-28], но еще недостаточно. Еще много нерешенных или не до конца решенных вопросов:

– как разработать систему взаимосвязанных технологических объектов в условиях дефицита и нечеткости исходной информации;

– еще в четко сформулированном виде отсутствуют методы синтеза нечетких и лингвистических моделей на основе нечеткого и лингвистического значения параметров и переменных объекта;

– не сформулированы эффективные методы принятия решений в нечеткой среде без предварительного преобразования нечеткой задачи к системе четких задач, что приводит к потере значительной части исходной нечеткой информации, т.е. знания, опыт и интеллект ЛПР, экспертов не полностью используется.

В этой связи возникает необходимость в проведении исследования, направленных для решения перечисленных задач. На основе вышеизложенных результатов литературного обзора можно сделать выводы об особой актуальности темы исследований данной диссертации, направленной на исследование и решение проблем разработки моделей и эвристических методов принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки реформинга с учетом нечеткости некоторой части исходной информации. Актуальность темы диссертации также обосновывается востребованностью процесса гидроочистки в нефтепереработке, выпуске качественных моторных топлив и необходимостью поиска новых эффективных методов управления режимами работы технологических объектов нефтепереработки.

Исследование и решение проблем оптимизации и управления режимами работы технологических объектов нефтепереработки, в т.ч. блоком гидроочистки установки каталитического риформинга с учетом многокритериальности и нечеткости исходной информации на основе моделей в настоящее время являются очень актуальными. В этой связи активно ведутся исследования, направленные на их решение. Можно отметить, что большой вклад в решении вопросов оптимизации технологии нефтепереработки внесли известные ученые: Fridlonder R.H., основоположник научного направления кибернетики химико-технологических процессов Кафаров В.В., а также Алиев Р.Р., Колесников И.В., Сериков Т.П. и другие [29-34]. Профессором Оразбаевым Б.Б. и его учениками предложены методы разработки моделей, оптимизации и принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов нефтепереработки в нечеткой среде [16, р. 122-124; 25, с. 261-268; 34, с. 138-147; 35-39].

Для оптимизации параметров процесса гидроочистки и управления режимами работы блока гидроочистки необходимо разработать математические модели основных агрегатов, в которых протекает процессы гидроочистки. При построении моделей необходимо учитывать природу и состояния процесса гидроочистки, тип и другие особенности объектов блока гидроочистки. В этой связи рассмотрим классификации и особенности технологических процессов и агрегатов нефтепереработки, и гидроочистки [40-42].

Если в ходе проведения процессов состав перерабатываемого сырья не меняется, то такие процессы относятся к *физическим* *процессам*. К таким процессам можно отнести процессы перегонки нефти и фракционирования газа, очистки, процессов экстракции, а также процессов теплообмена при гидроочистке.

При проведении *физико-химических процессов* переработки нефти и химической технологии происходит изменение состава сырья переработки, меняется, строения молекул и образуются качественно новые соединения.

В качестве *термических процессов* в нефтепереработке можно рассмотреть процессов пиролиза и термического крекинга нефтяных и газовых фракций, а также процессов окисление нефтяных фракций, процессов коксования, прокалки и других.

В данной диссертации исследуются в основном *термокаталитические процессы*, которые широко применяются в нефтепереработке для улучшения качества нефтепродуктов после первичной переработки и позволяют превращать нефти, нефтепродуктов в полезные целевые продукты. В этих процессах происходит облагораживание сырья с целью получения из нефти различных ценных продуктов.

К термокаталитическим процессам относятся процессы каталитического крекинга, каталитического риформинга, процессы гидроочистки, гидрокрекинга и другие, которые протекают в присутствии различных катализаторов, а также другие процессы. С помощью термокаталитических процессов осуществляют крекинг и риформинг нефти и ее фракции в присутствии различных катализаторов. При каталитическом крекинге крупные углеводородные соединения разлагаются на более мелкие углеводородные молекулы. В этом процессе используется умеренные температуры и давления в присутствии катализаторов. А при каталитическом риформинге происходит превращение низкооктановой нафты, получаемой при перегонке нефти (жидкие углеводородные смеси) в высокооктановые компоненты бензина, т.е. продукты риформинга [29, р. 21-32; 41, с. 28-29; 42, с. 44-57; 43-45]. В настоящее время в развитых нефтяных странах мира термокаталитические процессы позволяют получать более пятой части национального дохода. В нефтеперерабатывающих заводах более 70% нефти перерабатывается с использованием каталитических процессов, где важную роль играет гидроочистка.

Как известно все описанные процессы нефтепереработки протекают в технологических агрегатах, которые выбираются расчетным путем и соединяются по определенной схеме. Такие соединенные технологические агрегаты создают технологические установки и его блоки.

К технологическим установкам для проведения термокаталитических процессов, как уже отмечено, можно отнести установку каталитического риформинга которые являются основными технологическими установками почти всех НПЗ мира в т.ч. и Казахстанских [2, с. 137-148; 3, р. 83-86; 14, р.580-596; 41, с. 28-29; 42, с. 75-87; 44, с. 72-83].

Так как в данной диссертационной работе объектом исследования является блок гидроочистки установки каталитического риформинга следует отметить, что данная установка предназначена для производства высокооктанового компонента качественного моторного топлива, т. е. авто- и авиабензинов, и водородсодержащего газа (ВСГ).

Разработка математических моделей сложного технологического комплекса, каким является, блок гидроочистки является достаточно трудоемкой работой и требует выполнения большого объема исследовательских работ и применение системного подхода [46]. Поэтому процесс разработки математических моделей основных агрегатов блока гидроочистки необходимо провести по различным уровням сложности. При этом тип строящиеся модели определяются в зависимости от цели моделирования, назначение моделей, а также в зависимости от характера доступной исходной информации, информативности данных, опыта и знания разработчика модели.

При разработке математических моделей сложных технологических объектов нефтепереработки вначале необходимо определить тип процесса, отнести процесс к соответствующему классу и следует провести исследования выявлением закономерностей протекания технологического процесса. Затем для исследуемого процесса нефтепереработки необходимо провести различные теплотехнические, кинетические и другие расчеты, а также необходимые экспериментальные исследования. В процессе таких исследований следует определить влияние входных параметров объекта на его выходные параметры, а также связи между внутренними и внешними переменными технологического процесса. После этого при возможности необходимо развивать теоретические представления об исследуемом объекте и процессе. Потом на основе результатов экспериментальных и теоретических исследований разрабатываются математические модели технологических объектов и процессов, протекающих в них [12, с. 67-74; 15, с. 43-47; 30, с. 216-228; 47].

На последнем этапе разработки моделей, используя данных пилотной или промышленной установки, учитывая тип исследуемого процесса, а также используя дополнительную нечеткую информацию от специалистов-экспертов, ЛПР в виде их знания, опыта и интуиции, уточняют разрабатываемые модели и проводят работу по обеспечению адекватности модели к реальному объекту, который исследуется. Так как в процессе экспериментального, промышленного исследования ожидается значительный расход сырья, катализатора, времени, финансовых затрат, следует применить методы математического планирования экспериментов с целью оптимизации экспериментов и минимизации расходов [48, 49]. Такой подход позволяет уменьшить материальные, энергетические и другие расходы, не снижая ценности собранной информации о состояние и работе исследуемой технологической установки.

Во всех трех нефтеперерабатывающих заводах Республики Казахстан (Атырауском, Шымкентском НПЗ и Павлодарском нефтехимическом заводе - НХЗ) функционируют комплексы каталитического крекинга и риформинга с процессами гидроочистки.

Павлодарский НХЗ перерабатывает нефти по топливному варианту и осуществляет переработку на технологических установках первичной и глубокой переработки нефти, таких как ЭЛОУ-АВТ, каталитического крекинга и риформинга, замедленного коксования, производства серы, нефтебитума и другие. В заводе с целью очистки нефтепродуктов используются процессы гидроочистки нафты, дизельного топлива, керосина, вакуумного газойля, прямогонного бензина. Павлодарский НХЗ имеет проектную мощность 6 миллион тонн нефти в год.

На Шымкентском НПЗ в результате модернизации и реконструкции, реализованной в рамках государственной программы индустриального-инновационного развития, в 2018 г., качество производимых топлив повысилось до стандартов К-5, решены проблемы обеспечения экологической безопасности производства, мощность доведена также до 6 миллион тонн нефти в год. Данная модернизация Шымкентского НПЗ позволила внедрить в производство передовых технологий автоматизации, цифровизации. Кроме того, в результате модернизации Шынкентского НПЗ усовершенствованы производственные процессы и расширен ассортимент производимой продукции.

Атырауский НПЗ является самым первым нефтеперерабатывающим заводом Казахстана, построенный в годы войны и перерабатывающий нефти местных месторождений. Проектная мощность Атырауского НПЗ - 5,5 тонны в год, глубина переработки после модернизации достигнута до 87%.

В 1969-2006 годы на Атырауском НПЗ построены и введены в эксплуатацию:

– установка первичной переработки ЭЛОУ-АВТ-3;

– установка каталитического риформинга ЛГ-35-11/300 с блоком гидроочистки бензина,

– установки замедленного коксования и прокалки кокса;

– установка по производству технического азота;

– установка гидроочистки и изомеризации бензина;

– установка гидроочистки и депарафинизации дизтоплива;

– установки очистки и производства водорода и производства серы.

Данный завод впервые переработал местной Тенгизской нефти, которая характеризуется значительным содержанием светлых фракций и высоким содержанием серы (метил-этилмеркаптанов). В настоящее время доля перерабатываемой в Атырауском НПЗ Тенгизской нефти более12%.

С 2009 по 2017 годы на Атырауском НПЗ проведены очередные модернизации, в результате которых построены и введены в эксплуатацию:

– комплекс производства ароматических углеводородов с установкой каталитического риформинга с блоком извлечения бензола (CCR);

– комплекс по производству ароматизированных углеводородов (PARAMAX):

2018 году в заводе построен комплекс глубокой переработки нефти (2018), включающий: установку каталитического крекинга R2R; установку гидроочистки газойля; установку селективной гидроочистки нафты; установки производства и очистки водорода; комбинированной установки производства серы и др. С конца 2018 Атырауский НПЗ начал производить впервые в Казахстане зимний сорт топлива Khazar с ПТФ − 32оС, а с 2019 года – авиатопливо Jet A1 и зимнее дизтопливо Khazar с ПТФ – 38оС.

В настоящее время в казахстанских НПЗ еще недостаточный уровень автоматизации, мало внедряются различные компьютерные системы оптимизации и поддержки принятия решений по эффективному управлению технологическими объектами и процессами переработки. В процессе модернизации в Шымкентском НПЗ внедрены автоматизированные системы управления некоторыми процессами. В Атырауском заводе совместно с учеными разработаны и внедрены автоматизированные рабочие места операторов, позволяющие поддерживать принятия решений по эффективному управлению режимами работы технологических установок первичной переработки нефти (ЭЛОУ АВТ), вторичной, глубокой переработки нефти (установки каталитического крекинга, установки замедленного коксования).

Также негативной характеристикой НПЗ республики является значительный расход энергии, что требует внедрение энергосберегающих технологий, и недостаточный уровень решения проблем защиты окружающей природной среды. Например, на Атырауском НПЗ есть определенные проблемы по удалению нефтяных отложений и шламов в мазутных резервуарах, по очистке серы.

В последние время проблемы охраны окружающей среды для нефтеперерабатывающих заводов стали весьма актуальными. Актуальность данного вопроса объясняется следующими положениями:

– объем производства нефтепереработки развивается быстрее, чем по сравнению с внедрением природоохранных мероприятий в НПЗ;

– увеличивается доля трудноутилизируемых отходов нефтепереработки;

– увеличивается доля сернистых и высокосернистых нефти и газового конденсата в нефтепереработке;

– некоторые технические решения по устранению утилизации отходов сложны и требует значительных капитальных затрат [50-53].

По статистике в НПЗ мира в каждый год возникают в среднем 1500 аварий, причем количество аварий и аварийных ситуации характеризуется тенденцией роста. Материальный ущерб от этих аварий составляет более 100 миллионов долларов в год. К основным видам опасностей территории нефтеперерабатывающих заводов относятся пожары, загазованность и взрывы. Причем по статистическим данным пожары на объектах НПЗ составляют более 58%, загазованность около 18%, взрывы более – 15% от общего количества аварий. Основной причиной загазованности производственной территории НПЗ является образование полей концентраций предельных углеводородов, которые превышают установленные предельно допустимые значения [54, 55].

Для эффективного и оперативного решения проблем загазованности территории НПЗ в процессе прогнозирования рассеяния взрывоопасных, вредных веществ необходимо применить методов математического моделирования. К вопросам применения методов математического моделирования и компьютерной технологии посвящены множества исследовательских работ [56-59]. Но в связи со спецификой нефтеперерабатывающего производства и применяемых в технологических процессах веществ, а также из-за метеоусловий и рельефа местности для расчета полей аварийной загазованности территории завода можно применить только некоторые модели. Разработка пригодных для этого моделей усложняется из-за проблем дефицита, отсутствия и нечеткости исходной информации. В этой связи для конкретного опасного завода придется проанализировать и разработать математические модели, которые учитывают специфику технологии переработки, веществ и возможной аварии, а также метеоусловия территории и нечеткость исходной информации. На основе таких моделей можно вычислить параметров зон загазованности, оценить их опасность для окружающей среды.

В соответствии с действующим нормативом, производственная территория открытых технологических установок НПЗ должны оснащаться автоматическим газоанализаторами-сигнализаторами [60]. К основным недостаткам известных систем противоаварийной защиты, оснащенных такими газоанализаторами, относятся:

– отдельные газоанализаторы являются малоканальными, что требует значительное количество вторичных приборов;

– малая информативность;

– прогнозировать опасности аварийной загазованности невозможно;

– самодиагностика и контроль исправности срабатывания системы защиты отсутствует;

– фиксация времени, даты и место аварийных режимов, определения их причин отсутствует.

Выше рассмотренных недостатков систем защит можно максимально ликвидировать в процессе проектирования и внедрения на технологических объектах НПЗ автоматизированных комплексов взрыво–пожаро и аварийной защиты (АК ВПАЗ). Функциональная схема АК ВПАЗ для блока гидроочистки установки каталитического риформинга, предлагаемой в данной диссертации будет рассмотрена в разделе 4.

Различные системы аварийной защиты выпускаются зарубежными фирмами. Например: системы защиты «Cafety Review», фирмы ; «Safer», фирмы [61, 62]. Но эти системы не имеют возможность прогнозировать опасности аварийной загазованности, а также не может управлять средствами защиты.

В настоящее время создания, эксплуатация высокоинтенсивных технологических процессов по нефтепереработке и технологических установок большой единичной мощности привели к возникновению принципиально новых требований к созданию нефтеперерабатывающих производств и к размещению их объектов, которые заключаются в том, что необходимо:

– обеспечить высокую степень надежности их работы, чтобы избежать аварийных ситуаций и выбросов вредных веществ в природную среду;

– организовать и обеспечить эффективную работу объектов на основе методов моделирования и оптимизации режимов работы технологических объектов по экономико-экологическим критериям [63];

– оптимальное распределение нагрузок по аппаратам технологической установки, чтобы обеспечить максимальную регенерацию энергетических потоков, оптимально использовать материальные ресурсы для полной утилизации всех вредных выбросов и веществ в окружающую природную среду.

Таким образом, главной целью нефтеперерабатывающих заводов РК являются:

– дальнейшее увеличение глубины переработки нефти;

– внедрение новых, экологически безопасных технологии;

– повышение уровня автоматизации, оптимизация и эффективное управление режимами работы на основе математических методов и информационных технологий.

В настоящее время к проблемам интенсификации нефтепереработки, в т.ч. процессов гидроочистки нефтепродуктов, и повышения их эффективности по экономико-экологическим критериям с применением современных математических методов уделяется особое внимание. Однако в исследовательских работах в основном рассматриваются производственные, технологические и экономико-экологические аспекты отдельных технологических процессов, не рассматриваются вопросы модернизации отдельных объектов, проблемы утилизации определенных вредных выбросов. С целью эффективного решения проблем повышения эффективности технологических систем следует применять комплексный, системный подход ко всему производственному циклу нефтеперерабатывающих заводов. Такой системный подход к повышению эффективности объектов нефтепереработки должен включать:

– рациональное хранение и переработку нефти и нефтепродуктов;

– увеличению глубины переработки нефти;

– увеличению производство вторичных нефтепродуктов из отходов основного нефтеперерабатывающего производства.

Необходимо рассмотреть нефтеперерабатывающие производства в качестве единой системы, включающей следующие подсистемы:

– подготовка нефти к переработке и ее очистка;

– первичная и глубокая переработка нефти;

– хранение и реализация нефтепродуктов.

Эффективность всех перечисленных выше подсистем и систему нефтепереработки следует оценить на основе экономических, экологических, технологических и других критериев. Кроме того, при оценке и обеспечения эффективности технологических объектов необходимо применить достижения научных, в т.ч. математических методов и возможности компьютерной технологии. В этой связи, разрабатываемые в предлагаемой диссертационной работе математические модели и методы принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки каталитического риформинга в нефтепереработке, является весьма актуальными и практическии важными.

Таким образом, эффективный метод переработки нефти и гидроочистки необходимо выбрать с учетом нижеприведенных критериев экономико-экологического характера:

– минимизация себестоимости производимых нефтепродуктов;

– минимизация используемой площадки для размещения объектов технологической установки;

– использование доступных, недорогих, но эффективных реагентов;

– непосредственное использование производимых нефтепродуктов или удобства их дальнейшей переработки;

– полная автоматизация производственных, технологических процессов в технологических установках переработки и очистки, а также обеспечение гибкости к возможным колебаниям режимов их работы;

–минимизация содержание сернистых соединений в выбрасываемых газах из технологической установки, обеспечение максимального рассеивания их в атмосфере;

– обеспечение оптимального режима работы технологических объектов с использованием методов математического моделирования, оптимизации и принятия эффективного решения.

**1.2 Исследование научно-технических основ технологии и процесса гидроочистки бензиновых фракций, влияние основных параметров процесса на количество и качество получаемой продукции**

Одним из важных областей применения процесса гидроочистки является улучшения качества бензина каталитического риформинга от сернистых и других вредных соединений. Важность этого процесса в том, что сернистые соединения, имеющиеся в составе бензина, в процессе сгорания образуют  и . Эти окислы серы вместе с конденсирующимися парами воды приводят к образованию сернистой и серной кислоты, которые вызывают коррозию металла двигателя.

Технологический процесс гидроочистки установки каталитического риформинга предназначено для производства гидроочищенных фракций бензина, которые является сырьем блока риформинга установки.

Научные основы процесса гидроочистки прямогонного бензина заключается в проведении реакции гидрогенолиза, а также частичной деструкцией молекул в присутствии водородсодержащего газа (ВСГ). В результате этого органические соединения серы, кислорода, азота, металлов, которые содержаться в прямогонном бензине, превращаются в сероводород, воду, аммиак и соответствующие углеводороды.

При гидроочистке бензина на практике реализуется 2 направления:

– гидроочистка нафты, т.е. прямогонных бензиновых фракций;

– селективная гидроочистка, т.е. процесс гидрооблагораживание бензинов вторичной, глубокой переработки, например, бензинов, получаемых с установок замедленного коксования, каталитического крекинга и др.

В случае отсутствия второго направления, возможен вариант смешивания бензинов коксования, крекинга в необходимых пропорциях с прямогонным бензином с установки первичной переработки нефти (ЭЛОУ-АВТ) [64].

Технологические установки для проведения гидрогенизационных процессов переработки нефти и нефтепродуктов состоит из следующих блоков:

– реакторный блок, в котором протекает процесс гидроочистки сырья;

– блок сепарации газопродуктовой смеси, в котором выделяется ВСГ и производится очистка его от сероводорода;

– компрессорный блок;

– блок стабилизации продукции, т.е. гидрогенизата.

Реакторные блоки могут иметь много общего по аппаратурному оформлению, хотя различаются по размерам и мощности, по технологическим режимам работы. А схемы остальных блоков часто различаются. Блок предварительной гидроочистки прямогонного бензина установки каталитического риформинга, исследуемый в данной диссертации, может иметь различные варианты подачи ВСГ на поток:

– циркуляционная схема подача ВСГ;

– схема подача ВСГ без циркуляции.

В других типах установок гидроочистки используются циркуляционная схема подачи водородсодержащего газа.

Используемые на установках для проведения гидрогенизационных процессов имеют следующие схемы стабилизации продукции (гидрогенизатов):

– с отпаркой паром воды при пониженном давлении;

– с подогревом ВСГ при высоких значениях давления;

– с подогревом нижней части стабилизационной колонны с помощью горячей струи, проходящей через печь гидроочистки или рибойлер.

Процесс гидроочистки прямогонного бензина с соответствующими фракциями протекает на блоке гидроочистки установки каталитического риформинга ЛГ-35/11/300 или на секциях гидроочистки комбинированных установок ЛГ-35/11/1000.

Рассмотрим основные требования к сырью и продукции процессов гидроочистки бензиновых фракций. Прямогонные бензиновые фракций, которые используются в качестве сырья процесса гидроочистки, получаемые в результате первичной переработки малосернистых, сернистых и высокосернистых нефтей на установках первичной переработки нефти. По требования стандарта ГОСТ-2177-82, сырье блока гидроочистки должно иметь конец кипени (КК) не выше 180°С [65]. Кроме того, содержание влаги подаваемые на гидроочистки бензиновых фракций должно быть не более 0,02-0,03% (масс) Такое требование к влажности сырья гидроочистки связано с тем, что повышенное содержание влаги негативно влияет на прочность катализатора, а также приводит к усилению интенсивности коррозии и к нарушению нормального режима работы стабилизационной колонны.

Так как механические примеси снижают эффективность работы катализатора, в сырье гидроочистки по требованию ГОСТ–6370–80 содержание механических примесей в бензиновых фракциях должны отсутствовать. Для того, чтобы избежать поликонденсации непредельных соединений, имеющихся в составе сырья, из-за контакта сырья с воздухом, снабжение блока гидроочистки необходимо организовывать по схеме прямого питания. Это связано тем, что контакт сырья гидроочистки с воздухом позволяет к образованию отложений в агрегатах блока гидроочистки.

К целевой продукции блока гидроочистки относится гидрогенизат, т.е. стабильная бензиновая фракция. В свою очередь гидрогенизат является сырьем блока риформинга установки каталитического риформинга.

Основные требования к продукции процесса гидроочистки, т.е к гидрогензату:

– содержание непредельных углеводородов в составе гидрогенизата по требованию стандарта ГОСТ 2070-82 должо быть не более 1,0%;

– содержание серы в составе гидрогенизата согласно стандарту ГОСТ 13380-81 должно быть не более 0,00005%;

– по требованию ГОСТ 6370-83 водорастворимые кислоты и щелочи в составе гидрогенизата должно отсутствовать.

Гидроочистка бензина позволяет повышать термическую стабильность, снизить коррозионную агрессивность моторных топлив, а также в результате гидроочистки минимизируется образование осадка при хранении бензина, улучшается его цвет и запах.

Таким образом, основным процессом гидроочистки является реакции гидрогенизации. В результате реакции гидрогенизации органические соединения серы, азота и кислорода, имеющиеся в составе нефтепродуктов будут превращены в  углеводороды, ,  и , т.е. в сервоводород, азот и воду.

Так как ,  и  относятся к ядам катализаторов процессов гидроочистки и риформинга, реакции разрушения этих органических соединений являются полезными реакциями процесса гидроочистки. Кроме того, при проведении гидроочистки параллельно с этими реакциями разрушения вредных соединений протекают другие важные реакции с участием углеводородов таких как:

– реакции изомеризации, заключающиеся в миграции двойных, тройных связей, а также приводящие к сужению и расширению циклов, перемещению функциональных групп;

– реакции гидрирования непредельных УВ, т.е. присоединения по кратным связям молекул органических соединений;

– реакции частичного дегидрирования насыщенных алициклических УВ, т.е. нафтенов;

– реакции дегидроциклизации парафиновых УВ и др.

В процессе гидроочистки непредельные УВ подвергаются к гидрированию и превращаются в соответствующие парафиновые УВ. По сравнению с другими углеводородами непредельные УВ при высоких значениях температуры быстрее откладываются в катализаторах реакторов и змеевиках печей гидроочистки и риформинга в виде кокса [5]. Поэтому содержание непредельных УВ в сырье должно быть не более 2% мас. По требованию соответствующих стандартов остаточное содержание непредельных УВ в составе продукции процесса гидроочистки, т.е. гидрогенизата должно быть менее 0,5% мас. При гидроочистке бензиновых фракций в содержание сырья, как правило, содержатся определенное количество органических соединений, которые имеют в своем составе обычно хлор (галогены) и свинец, мышьяк, медь и другие металлы. Если большое количество галогенов поступает на катализаторы гидроочистки и риформинга, то значительно усиливается кислотная функция катализатора. Это могут развивать реакций крекинга, который ускоряет закоксовывание катализатора. В случае попадания перечисленных металлических примесей на катализаторы, они могут накапливаться на них и привести к снижению или потери активности катализатора. Поэтому в процессе гидроочистки с целью предотвращения негативных воздействий галогенов и металлических соединений на катализаторы они также разрушаются. При этом хлористый водород удаляется с помощью отпарной колонны блока гидроочистки, а металлы отлагаются на катализаторах.

На практике хлор и металлические примеси в значительном объеме содержатся в составе бензинов вторичных процессов (бензины коксования, крекинга и др.). При гидроочистке прямогонного бензина их содержание в сырье и продукции незначительно и можно их не контролировать.

Проведение при значениях температуры 300-400°С и парциального давления  реакции гидрогенолиза серосодержащих, кислород и азотосодержащих соединений позволяет почти 100%-ному удалению серы, кислорода и азота. При этом при гидроочистке сера, кислород и азот удаляется в виде ,  и .

Следует отметить, что рассмотренные реакции гидрирования, которые протекают в процессах гидроочистки, относятся к экзотермическим. Так как в прямогонном бензине содержание удаляемых примесей небольшое, в процессе гидроочистки не наблюдается особое повышением температуры продукции выделяемое в виде газопродуктовой смеси.

Приведем основные результаты исследования химизма и механизма протекания процесса гидроочистки.

В процессе гидроочистки нефтепродуктов, вредные сернистые соединения, имеющиеся в их составе, подвергаются следующим химическим реакциям:

1. Меркаптаны, содержащиеся в нефтепродуктах, которые являются сераорганическим соединением, подвергаются гидрированию до сероводорода и соответствующего углеводорода (УВ):



2. Сернистые соединения, являющимися сульфидами, подвергаются гидрированию на основе стадии образования меркаптанов:





3. Сульфиды, имеющие в молекулах 2 связанных атома серы, т.е. дисульфиды, также на основе стадии образования меркаптанов подвергаются гидрированию до  и соответствующих УВ:



4. Тиофены, являющиеся многофункциональными антиоксидантами в составе нефтепродуктов подвергаются к реакции гидрирования в результате которых образуются соответствующие алифатические УВ:





5. Тиофены, являющиеся ароматическим 5-членным гетероциклом с одним атомом серы в цикле, а также позволяет получить алифатические УВ:



При протекании процессов гидроочистки происходит значительное разрушение металлорганических соединений, а выделенные металлы отлагаются на катализаторе.

*Приведем основные результаты исследования влияния основных параметров процесса гидроочистки на количество и качество получаемой продукции.*

К основным параметрам, которые характеризуют и влияют на процесс гидроочистки нефтепродуктов, в т.ч. бензиновых фракций, относятся:

– температура процесса;

– давление;

– объемная скорость подачи нефтепродуктов, т. е. сырья гидроочистки;

– кратность циркуляции водородосодержащего газа, т.е. содержание водорода в циркулирующем газе;

– каталитические свойства катализаторов, используемых в процессе гидроочистки.

Кроме того, результаты процесса гидроочистки также зависят от состава гидроочищаемого сырья [66].

Рассмотрим детали влияния перечисленных параметров на процесс гидроочистки.

1. *Температура процесса гидроочистки* влияет на глубину очистки бензиновых фракций от сернистых соединений и от других вредных примесей. Повышение температуры процесса гидроочистки позитивно влияет на увеличение интенсивности протекания реакций гидроочистки, позволяет усилить гидрирования непредельных углеводородов. Однако повышение температуры также негативно влияет на процесс гидроочистки ускоряя реакций гидрокрекинга углеводородов и коксообразования, которые приводят к снижению выхода жидких нефтепродуктов и увеличению отложение кокса на катализаторе, что в свою очередь, сокращает межрегенерационного периода работы катализатора. В этой связи определение оптимального значения температуры процесса является одной из актуальных задач оптимизации процесса гидроочистки.

Подбор и определение оптимального значения температуры процесса гидроочистки производится в зависимости от состава нефтепродуктов. Сырье гидроочистки, т. е. нефтепродукты с низкой термической устойчивостью и являющееся тяжелым необходимо подвергать очистке при низких значениях температуры. Более оптимальные значения температуры при гидроочистке бензиновых фракций обычно находятся в диапазоне 300-360°С.

Для подбора более оптимального значения температуры процесса гидроочистки можно рекомендовать. В начальном этапе рабочего цикла устанавливать минимальную температуру, которая обеспечивает необходимую глубину очистки фракции бензина. Далее, если снижение активности катализатора не приводит к достижению заданной глубины очистки, то следует повысить значения температуры. Повышение значения температуры процесса гидроочистки несвоевременно приводит к ускорению процесса закоксовывания катализатора, а глубина гидроочистки особо не увеличивается.

2. *Давление системы*. При повышении значения давления системы увеличивается глубина гидроочистки, а также возрастает межрегенерационный период катализатора увеличивается срока его службы. А возрастание межрегенерационного периода и срока службы катализатора приводит к замедлению протекания реакций коксообразования. Также повышение значения давления приводит к повышению концентрации реагентов в единице объема, что увеличивает число эффективных столкновений молекул, т.е. процесс ускоряется.

Повышение значения общего давления процесса гидроочистки приводит к росту парциального давления водорода, которое увеличивает глубины гидроочистки. Оптимального значения давления, в зависимости от режима работы блока гидроочистки, следует определить в диапазоне 20-40 кг/см2.

3. *Объемная скорость подачи сырья гидроочистки*. Под объемной скоростью понимается отношение объема сырья, которое подается в реактор гидроочистки в час к объему катализатора. Единицей измерения объемной скорости является .

Увеличение объемной скорости подачи бензиновых фракций приводит к уменьшению времени их пребывания в реакторе гидроочистки. Это означает, что высокая объемная скорость уменьшает время контакта сырья с катализатором, соответственно снижает глубину гидроочистки бензиновых фракций.

Если увеличить время контакта сырья с катализатором гидроочистки, т.е. уменьшить объемную скорость подачи сырья, то глубина гидроочистки возрастает. Но в то же время уменьшение объемной скорости приводит к снижению производительности блока гидроочистки.

Подбор более оптимальных значений объемной скорости подачи сырья на практике осуществляется в зависимости от химического состава и фракции гидроочищаемого бензина в диапазоне 2,0-7,0 час-1.

Если в качестве сырья гидроочистки используется легкие нефтепродукты, являющиеся более термостойкими, то снижению глубины гидроочистки при высоких значения объемных скоростях можно компенсировать путем повышения значения температур процесса [67].

4. *Кратность циркуляции ВСГ*. Прямогонный бензин из установок первичной переработки нефти подвергается к процессу гидроочистки с использованием водорода с давлением менее 20 Мпа. При этом количество используемого водорода должно выражаться молярным соотношением водорода и прямогонного бензина на входе в реактор гидроочистки. Если молярное соотношение больше, чем , то глубина гидроочистки увеличивается незначительно. Это связано тем, что при этом время контакта паров сырья и катализатора гидроочистки снижается из-за значительных объемов газа, который проходит через реактор.

Если молярное соотношение  будет ниже, чем , то может ухудшаться степень гидроочистки бензиновых фракций.

Величина кратности циркуляции водородосодержащего газа выражается соотношением количества подаваемого водородосодержащего газа, который циркулирует с единицей измерения  к количеству сырья с единицей измерения .

В процессе гидроочистки бензиновых фракций желаемая глубина гидроочистки обычно обеспечивается в случае подачи водородосодержащего газа на 1 м3 бензина. При этом концентрация водорода должна не превышать 65% объема. В блоке гидроочистки процесс подпитки системы водородом реализуется путем подачи свежего водородосодержащего газа с блока каталитического риформинга. При этом подача свежего ВСГ с блока риформинга должна быть более 0,17% мас. на бензиновые фракции в расчете на чистый .

5. *Влияние свойства катализаторов на процесс гидроочистки*. Рассмотрим свойства часто используемых катализаторов в процессах гидроочистки. На практике для проведения процессов гидроочистки часто используются АлюмоКобальтМолибденовые – АКМ, АлюмоНикельМолиб-деновые – АНМ, выпускаемые в оксидной форме [5, с. 3-39]. Эти катализаторы содержат 9-18% триоксида молибдена и 2-5% оксидов кобальта или никеля.

АлюмоКобальтМолибденовый катализатор характеризуется очень высокой избирательностью и реакции насыщения ароматических колец, т.е разрыва связей углеродов  в использовании АКМ почти не протекают. Данному катализатору свойственна высокая активность при протекании реакций разрыва связей углерод-сера  и он имеет хорошую термическую стойкость, обеспечивающая длительный срок службы катализатора. Кроме того, в качестве важного преимущества АКМ катализатора можно отметить его стойкость к возможным каталитическим ядам в виде сернистых и других соединений. АКМ катализатор также характеризуется достаточной активностью в протеканиях реакций насыщения непредельных соединений, при разрыве связей , . АКМ катализатор можно использовать при гидроочистке почти всех нефтяных фракций.

АНМ, т.е. АлюмоНикельМолибденовый катализатор является менее активным при проведении реакций насыщения непредельных соединений, но имеет высокую активность, больше до 50% по сравнению с АКМ при реакциях насыщения ароматических УВ. В гидрирование азотистых соединений активность АНМ на 10-18% выше, чем активность АКМ катализатора. Но АНМ катализатор характеризуется быстрой потерей первоначальной высокой активности.

Приведем результаты исследования *влияние активности катализатора на процесс гидроочистки*. Высокая активность катализатора обеспечивает более высокую объемную скорость подачи сырья, которая позволяет получить заданную глубину очистки нефтепродуктов от вредных примесей.

На практике индекс активности свежего катализатора должна быть 95% и выше. В случае не достижение активности катализатора требуемой величины, необходимо активировать катализатор водородом. При этом активизация катализатора протекает при температуре более 300°С в течение нескольких часов.

В процессе гидроочистки через определенное время активность катализатора снижается из-за отложения кокса на поверхности катализатора. Установлено, что снижение давления в системе, повышение температуры процесса гидроочистки, уменьшение циркуляции водородосодержащего газа приводит к резкому снижению активности катализатора. Это объясняется тем, что снижение давления, повышение температуры, уменьшение циркуляции ВСГ приводит к интенсивному коксообразованию.

Удалить УВ и легкого кокса с поверхности катализатора, т.е. регенерировать катализатор можно осуществить путем гидрирования коксовых отложений циркулируя  при температуре 400°С.

Если обеспечить повышения активности катализатора путем изменения технологических параметров в допустимых пределах не удается, то следует проводить окислительную регенерацию катализатора в присутствии инертного газа с кислородом, что позволяет удалить серы и кокса с поверхности катализатора. При этом регенерация катализаторов проводится на основе следующих реакций:



В результате приведенных реакций выделяется большое количество тепла, которое приводит к повышению температуры на слоях катализатора гидроочистки.

Для проведения регенерации катализаторов необходимо выдерживать значения давления газа в интервале  на входе реактора гидроочистки, скорость изменения температуры должна быть 30°С.

Опишем основы активации катализаторов, используемых в процессе гидроочистки. Металлы, имеющиеся в составе катализатора, находятся в оксидовых формах, поэтому на практике обычно катализаторы гидроочистки загружается в неактивной форме. Это требует необходимость активации катализаторов с помощью операции сульфидирования. Причем операции сульфидирования должны быть проведены до начала использования катализаторов.

В процессе операции сульфидирования неактивная форма оксидов металлов катализатора превращается в активную форму. Для этого оксиды металлов катализатора подвергаются к реакции взаимодействия с сероводородом :



В присутствии  сульфидирующего элемента , т.е. диметилдисульфида, подавамого на реактор гидроочистки, образуется . При этом образование сероводорода протекает по реакции:



Для того, чтобы оксиды металлов не восстановились несульфидированного катализатора необходимо нагревать при наличии  не выше, чем 200°С. Процесс нагревания катализатора должен осуществляться без подачи в сырье гидрогенизата диметилдисульфида или при этом содержание сероводорода в газе рецикла должно быть менее чем 0,1%. Процесс сульфидирования должен протекать при значениях температуры в диапазоне 200-350°С.

Неполное или недостаточное сульфидирование приведет как к снижению каталитической активности, так и продолжительности цикла.

При разложении сульфидирующего агента выделяется значительное количество теплоты, т.е. реакция сульфидирования и абсорбции сероводорода относится экзотермическим. Для сдерживания повышения температуры, процесса сульфидирования следует реализовать в режиме рециркуляции сырья гидроочистки и обеспечить максимальный расход газа рецикла и рабочего давления.

1.3 Методы математического моделирования и принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов нефтепереработки по вектору критериев

Развитие науки и техники привели к усложнению технологических объектов нефтепереработки и других отраслей. В настоящее время технологические объекты нефтепереработки, как правило, являются сложной системой, состоящих из множества взаимосвязанных агрегатов и компонентов и характеризуются множеством критериев экономико-экологического характера. В этой связи методы принятия эффективного решения по управлению технологическими объектами блока гидроочистки на основе математического моделирования, исследуемые и разрабатываемые в данной диссертации, относятся к эффективным и перспективным методам решения проблем технологических объектов нефтеперерабатывающего производства.

При разработке математических моделей и моделирования технологических объектов нефтеперерабатывающего производства, в первую очередь следует определить цель моделирования. Это связано с тем, что полностью смоделировать реальный объект – сложную технологическую систему нефтепереработки, систему-оригинал невозможно. Поэтому необходимо создать математическую модель (систему-модель) для решения поставленной проблемы в соответствие с целью. Цель моделирования определяется в зависимости от решаемых задач моделирования, например, для прогнозирования, оптимизации, управления режимами работы объекта. В зависимости от решаемых задач с помощью моделей разрабатываются модели с различной сложностью, полноты и точностью и определяются, из каких элементов будет создана модель [68].

Множество взаимосвязанных элементов модели характеризует структуру моделируемой системы. Процесс математического описания технологической системы позволяет на языке математики отображать отдельных функций, то есть поведения моделируемой системы.

При математическом описании производственной системы рассматриваются отдельные функции, т.е. алгоритмы поведения системы. При использовании функционального подхода к созданию математического описания оцениваются функции, выполняемые системой. При этом под функцией подразумевается свойство, которое обеспечивает достижения цели.

Если имеется некоторый эталон сравнения, то можно определить количественные и качественные характеристики исследуемой системы. Количественная характеристика системы выражается числом, которое определяет отношения между эталоном и данной характеристикой. Для оценки качественных характеристик используют методы экспертных оценок [69-73] и теории нечетких множеств [74-78].

На практике в реальных условиях обычно эксперты затрудняются оценить ситуацию, влияния параметров в количественном виде, иногда это им сложно даже по шкале. В этих условиях следует организовать и провести экспертизу с помощью качественной оценки, т.е. на естественном языке на основе нечеткой информации. В настоящее время процедура экспертной оценки в нечеткой среде в литературе ещё слабо исследовано и нет формализованных методов проведения нечеткой экспертной оценки. Подход к данному пробелу, предложенный автором данной диссертации, предлагается в следующем разделе диссертации.

По определению модель является материальной или идеальной копией реального исследуемого объекта, которая позволяет отражать существенные стороны исходного объекта и обеспечивать необходимый уровень его познания. Модели бывают разными, например, физические, математические, гносеологические и т.д. В диссертации исследуются и разрабатываются математические модели, позволяющие моделировать исследуемые объекты и процессы на языке математики, с помощью их математического описания.

# В диссертационной работе объектом исследования выбран блок гидроочистки установки каталитического риформинга типа ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ. На основе результатов исследования будут разработаны математические модели объекта исследования с учетом нечеткости некоторой части исходной информации. С помощью созданных моделей решаются задачи принятия решений по вектору критериев по эффективному управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга.

# При решении задач исследования будут формализованы и получены новые математические постановки задачи принятия решений для выбора оптимального режима работы объекта исследования и предложены эвристические методы их решения, эффективно работающие в нечеткой среде.

Метод математического моделирования позволяет существенно сократить сроки проектирования, создания и освоения новых сложных процессов и объектов, а также позволяет оптимизировать и эффективно управлять их работой. На основе математических моделей могут быть успешно решены разные задачи нефтепереработки, например прогнозирования, определения и выбор типа процесса и технологии нефтепереработки, задача оптимального размещения агрегатов технологической системы, задачи принятия решений и управления режимами работы технологических объектов.

С целью ведения технологического процесса в оптимальном режиме в системе технологических объектов нефтепереработки следует идентифицировать взаимосвязи между входными и выходными параметрами объектов в виде математических выражений, уравнений, т.е. необходимо разработать математические модели взаимосвязанных объектов технологической системы. Как известно разработка математических моделей невозможно без соответствующих методов, средств и математического аппарата.

Математическую модель можно определить, как систему математических описаний, которая отражают особенности моделируемых процессов, объектов. Эта система позволяет прогнозировать поведение объекта при изменении входных, режимных параметров и управляющих воздействий. Таким образом, математическое описание является совокупностью зависимостей между входными и выходными параметрами объекта, объединяющей их в единую систему соотношений. В состав этих соотношений могут быть включены:

– различные уравнения и выражения, например, отражающие общие фундаментальные законы природы, такие как законы сохранения массы и энергии;

– уравнения, которые описывают «элементарные» процессы, такие как: процессы взаимодействия, химико-физические превращения и т.д.

В состав математического описания также могут быть включены эмпирические, полуэмпирические формулы, которые описывают зависимости между разными параметрами объекта. Такие формулы, как правило, описывают зависимости, сложными или неизвестными теоретическими формами.

Математические модели могут быть эффективно применены при решении задач анализа, прогнозирования, оптимизации, принятия решений и управлении сложными системами [79]. На практике по разным причинам непосредственное исследование объекта или процесса может быть невозможным, при высоких температурах, в усложненных условиях, макро, микрообъекты, при создании новых объектов и процессов. В этих случаях математическое моделирование, т.е. исследование объекта с помощью математической модели может быть использовано для разработки теории объекта и процесса. Таким образом, метод математического моделирования, анализ моделей может обеспечить развитие теории. Например, в настоящее время, уровень теоретических знаний еще не обеспечивает создания строгой теории парообразования с помощью, которой можно определить аналитические выражения, позволяющие вычислить коэффициентов теплоотдачи в процессе кипении [80, 81]. В этих случаях моделирование позволяет заменить вычисления измерениями, что приводит к упрощению задачи.

Применение методов математического моделирования особенно целесообразно, в случае разработки или исследования дорогостоящих промышленных объектов, типа технологических установок нефтепереработки, при исследовании их и определении рациональных режимов их работы в нечекой среде на основе методов теорий нечетких множеств [82]. На практике использование математических моделей при решении различных задач технологических объектов позволяет получить значительный экономический эффект. При этом моделирование позволяет проводить исследования процессов, которые протекают в технологических объектах значительно меньшими затратами по сравнению затратами на натурные исследования на реальных технологических объектах, на лабораторных стендах, на физических моделях. Математические модели также могут эффективно применены при решении задач оптимизации, задач принятия решений, при выработке управляющих воздействий для оптимального ведения технологического процесса [83].

Методы математического моделирования также эффективно применяются при сопоставлении множество вариантов по заданным критериям для выбора наилучшего варианта. В исследовательских трудах [30, с. 127-132; 33, с. 117-125; 35, р. 138-142; 79, с. 120-127; 84-93] приведены результаты решения различных производственных задач нефтеперерабатывающего, химического и других производства с помощью математических моделей.

Еще одним перспективным направлением применения математических моделей обратные к моделированию задачи принятия решений. В этих задачах задаются желаемые (оптимальные) значения оптимизируемых критериев и с помощью специальных алгоритмов на основе моделей, если это возможно, определяются значения входных, режимных параметров, которые обеспечивают эти заданные оптимальные значения критериев с учетом требований наложенных ограничений. Если заданные значения, не достигаемые при наложенных ограничениях, то определяются с нарушением каких ограничений и насколько можно достичь заданных значений критериев. Дальше, но с участием лица, принимающего решения с учетом его предпочтений и допустимых отклонений технологии принимается окончательное решение [84, с. 117-129; 85, с. 106-114; 86, с. 204-213; 87, с. 174-186; 88, с. 210-222; 89, с. 240-254; 90, с. 85-94; 91, р. 21-26; 92, с. 66-68; 93, с. 84-95; 94-98].

Известны ряд работ, в которых исследованы и описаны методы многокритериальной оптимизации [99-103] и методы принятия решений при противоречивых критериях в нечеткой среде [104-109]. В данной диссертационной работе исследуются проблемы и методы решения, рассмотренных выше прямых и обратных задач технологических объектов нефтеперерабатывающего производства, решаемые с помощью их математических моделей.

Так как технологические установки и блоки нефтеперерабатывающего производства состоят из множества взаимосвязанных агрегатов, необходимо на основе системного подхода создать пакет связанных математических моделей этих технологических агрегатов, позволяющий системно моделировать работу установки. Пакет таких моделей позволяет прогнозировать влияния параметров каждого агрегата на протекающие процессы, на количество и качество промежуточных, конечных продуктов и на качества работы блока, установки.

С целью математического описания влияния технологических параметров на режимы и качества работы исследуемого объекта используется исходная информация различного характера, например:

– теоретическая информация о характере технологического процесса, который протекает в объекте исследования [88, с. 53-56];

– экспериментально-статистические данные, которые характеризуют работу исследуемого объекта [110-112];

– экспертная информация, в т.ч. нечеткая информация в виде знания, опыта и интуиции ЛПР, экспертов, нечетко описывающие состояния объекта [72, с. 30-37; 113-115].

При этом в зависимости от наличия, доступности рассмотренных видов разрабатываются различные виды математических моделей исследуемых объектов, например, детерминированные, статистические, нечеткие и комбинированные. В процессе разработки пакета моделей для системного моделирования, состоящей из различных типов моделей следует учитывать возможности стыковки различных видов моделей в одну систему.

В зависимости от вида доступной исходной информации математические модели разрабатываются на основе следующих методов [73, с. 35-37]:

– аналитические методы, используемые при разработке детерминированных моделей на основе теоретической информации;

– экспериментально-статистические методы, которые используются при разработке статистических моделей на основе экспериментально-статистической информации;

– методы синтеза нечетких, лингвистических моделей на основе нечеткой информации, представляющей собой знания, опыт и интуицию экспертов, разрабатываемые на основе методов экспертной оценки и теорий нечетких множеств;

– гибридные методы, используемые информацию различного типа и их комбинацию. Основанный на использовании методов теории нечетких множеств, и комбинированный подход [116].

С целью создания эффективного моделирования и принятия решений по управлению технологическими объектами нефтепереработки в условиях неопределенности и дефицита исходной информации необходимо использовать доступную информацию различного характера и в т.ч. нечеткую информацию. Такой подход к моделированию и принятию решения позволяет значительно снизить проблем неопределенности. Как уже отмечено выше, для формализации и использования нечеткую информацию, которая представляет собой опыт, знания и суждения экспертов, ЛПР об исследуемом объекте, можно применить методов теории нечетких множеств. Математический аппарат методов теорий нечетких множеств описан во многих работах, например [75, р. 338-352; 76, с. 14-17; 77, р. 3-16; 104, с. 25-27; 117-118].

Использование методов теории нечетких множеств позволяет разрабатывать более эффективные модели и методов решения задач принятия решений по управлению технологическими объектами в условиях нечеткости исходной информации, в случаях, когда традиционные методы неэффективны или неприменимы. Причем нечеткие подходы позволяют построить более адекватные модели и эффективные методы принятия решений так как при этом учитываются глубокие причинно-следственные связи между различными параметрами исследуемых объектов и процессов.

При практическом применении методов теорий нечетких множеств, кроме перечисленных преимуществ, могут быть и некоторые недостатки, например:

– сложность получения и формализации первичной нечеткой информации от специалистов-экспертов, ЛПР и длительность этого процесса;

– необходимость дополнительной проверки достоверности исходной нечеткой информации;

– трудность выбора решающих правил, которые представляются в виде условных правил нечеткого выбора для синтеза алгоритмов принятия решений.

Кроме того, могут быть определенные затруднения при построениях функций принадлежностей и при содержательной интерпретации их. Смысла понятия «Функция принадлежности» следует интерпретировать с учетом реальной основы этой функции. Проблемы интерпретации понятия функций принадлежности в различных ситуациях исследованы в трудах [119-121]. В этих работах выделены вероятностные и лингвистические варианты интерпретации функции принадлежностей.

На практике, как правило, качество и результаты работы технологических объектов производства оцениваются вектором критериев различного характера, причем все или некоторые из них могут быть нечеткими. Эти критерии используются для принятия решений при выборе оптимального режима работы управляемого объекта [122]. Таким образом, задачи оптимизации параметров технологического объекта являются многокритериальными. Задачи оптимизации технологических параметров и выбора оптимального режима работы объекта сводятся к задачам поиска таких значений режимных параметров, которые обеспечивают оптимальные значения критериев в условиях соблюдения всех требований ограничений. В производстве к критериям оценки качества объекта относятся производительность, объем и качества целевых продуктов, прибыль, экологическая безопасность и другие, технико-экономические и экологические показатели, которых необходимо улучшать.

Приведем результаты исследования основ процесса принятия решений, т.е. многокритериальной оптимизации при наличии противоречивых критериев, используемых при выборе оптимального режима работы технологических объектов нефтеперерабатывающего производства [123-127]. Принятия решений представляет собой процесс сравнения и оценки множества альтернатив, являющиеся вариантами решения и выбор оптимального из альтернатив на основе заданных критериев. Каждый вариант решений оценивается множеством критериев, оценивающий его эффективность, которая определяется при реализации выбранного варианта решения. Таким образом, задачи принятия решений возникают при наличии нескольких альтернатив, т.е. вариантов действии, позволяющие обеспечить достижения желаемого результата. При решении этих задач требуется определить и выбрать такого варианта решения, который является наилучшим в определенном смысле по заданным критериям. На практике процесс решения реальных задач принятия решений сводится к построению модели выбора оптимальной в определенном смысле альтернативы и выбор такого решения, который учитывает предпочтения ЛПР и удовлетворяет его.

Для формализации задачу принятия решений, которая в данной работе рассматривается как задача выбора наилучшего режима СПН нефтепровода из множества допустимых решений (альтернатив), введем следующие обозначения:

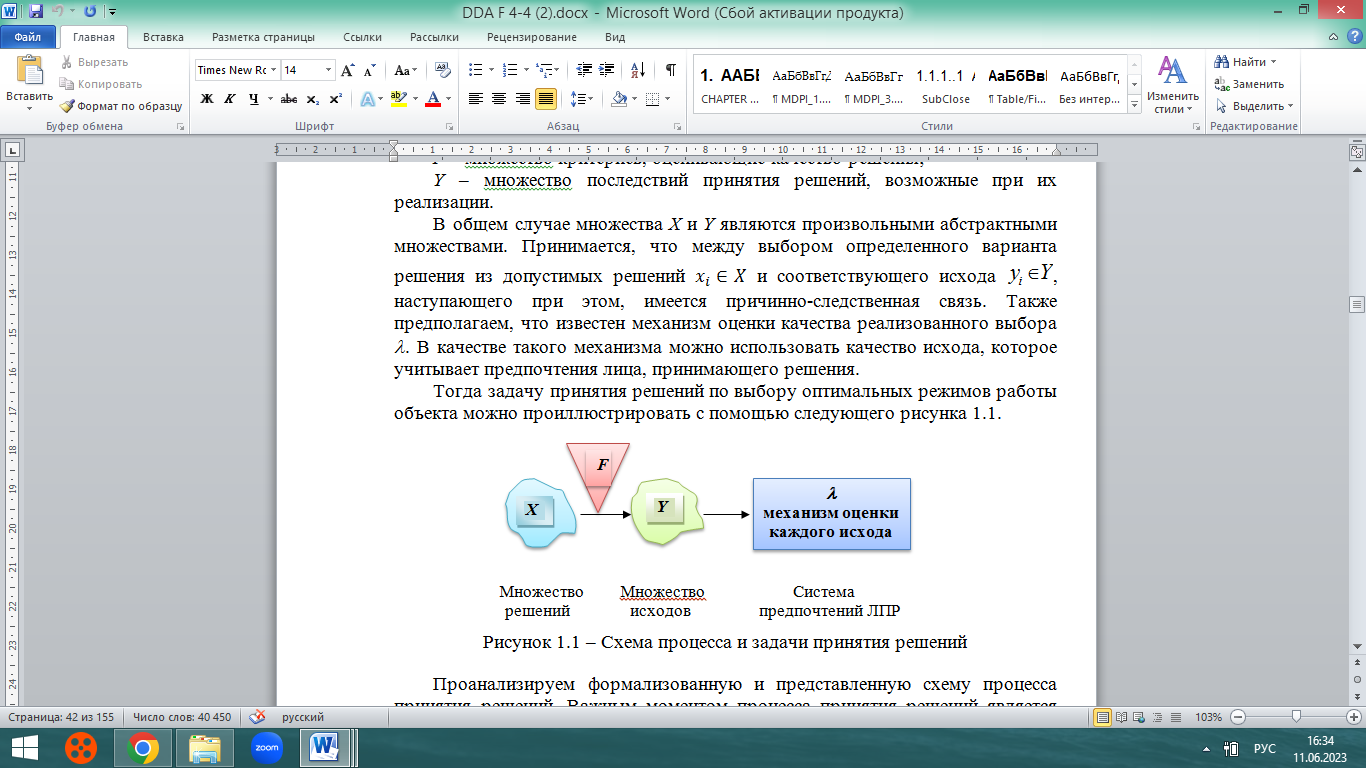
*– Х* – множество допустимых решений, т.е. возможные режимы работы объекта исследования;

*– F* – множество критериев, оценивающие качество решения;

*– Y* – множество последствий принятия решений, возможные при их реализации.

В общем случае множества *Х* и *Y* являются произвольными абстрактными множествами. Принимается, что между выбором определенного варианта решения из допустимых решений  и соответствующего исхода , наступающего при этом, имеется причинно-следственная связь. Также предполагаем, что известен механизм оценки качества реализованного выбора . В качестве такого механизма можно использовать качество исхода, которое учитывает предпочтения лица, принимающего решения.

Тогда задачу принятия решений по выбору оптимальных режимов работы объекта можно проиллюстрировать с помощью следующего рисунка 1.1.



а б в г

а – множество решений; б – множество критериев; в – множество исходов; г – система предпочтений лпр

Рисунок 1.1 – Схема процесса и задачи принятия решений

Проанализируем формализованную и представленную схему процесса принятия решений. Важным моментом процесса принятия решений является определение характера связи возможных решений *Х* с исходами *Y*, которые наступает при выборе определенного решения по заданным критериям *F*. Как видно из приведенной схемы процесса и задачи принятия решений данная связь между *Х* и *Y* может быть детерминированной, т.е. определенной. Тогда будет существовать однозначное отображение:

 (1.3)

Это означает, что реализуется функция:

 (1.4)

Если выбор решения *х* позволяет определить некоторую плотность распределения вероятностей на *Y*, то связь между *x* и *y* (1.4) может иметь вероятностный характер. Ясно, что в этих условиях выбор конкретной альтернативы  не будет гарантировать наступления определенного исхода . В таких ситуациях рассмотренная задача будет назваться задачей принятия решений в условиях риска.

Процесс принятия решений при управлении реальными технологическими объектами в условиях неопределенности характеризуется следующими особенностями [128]:

– необходимостью привлечения человека-оператора, ЛПР, его знания, опыт и интуиции, которые позволяют выбрать наилучшее решение в условиях неопределенности и нечеткости;

– необходимостью применения информационных систем поддержки принятия решений (ИС ППР) на основе современных компьютеров.

В таких ИС ППР информация, получаемая от ЛПР, позволяет выбрать наилучшее решение на основе его опыта, интуиции и предпочтения, имеющие важные значения при выборе решения в условиях неопределенности.

В процессе принятия решений текущее состояние объекта переводится в желамое состояние. Для реализации такого перевода должны быть созданы условия, которые будут обеспечивать необходимый перевод. В процессе принятия решений при управлении режимами работы технологических объектов стремятся к достижению оптимального значения вектора критериев, для чего выполняется целенаправленное изменение состояния управлямого объекта в желаемую область. При этом состояние объекта зависит от сложившейся ситуаций на производстве.

На основе вышеизложенного можно сделать заключение, что качество принятия решений оценивается величиной увязки между фактическим и желаемым состояниями объекта, которую следует минимизировать. Соответственно успешность принятия решений зависит от степени информированности ЛПР о состоянии объекта, от наличия условия, обеспечивающий необходимый перевод и от цели функционирования объекта. Конкретизация проблем принятия решений заключается в определении ресурсов, средств и параметров объекта, которые следует изменять с целью достижения желаемого состояния объекта. Исходя из этого в общем виде задачу принятия решений можно записать в следующем виде:



где – заданные условия;

– множество возможных состояний объекта;

– множество возможных операторов, обеспечивающие переход объекта из одного состояния в другое;

– желаемое состояние объекта.

В соответствии с данной записью решение задачи принятия решений сводится к выбору последовательности операторов  с целью перевода объекта из текущего состояния в желаемое состояние.

На практике в зависимости от сложности объектов можно применить следующих основных методов:

– метод целостного выбора. В этом методе ЛПР оперирует непосредственно с альтернативами, используемый для простых (несложных) объектов:

– метод критериально-экспертного выбора. В этом методе с помощью ЛПР формируется множество критериев и ограничений, ЛПР определяет правило выбора, а критерии оцениваются на основе моделирования, либо на основе взаимодействия с системой. В этом методе все или часть альтернатив оценивается на основе методов экспертной оценки.

Многомерность, качественные различия критериев, возможная неопределенность модели производственных систем в сочетании с нечеткостью служат серьезным препятствиями при получении оценки качества объекта, и вызывает необходимость рассмотрения более общих подходов к понятию оптимальности, т.е. развития и разработки новых методов в теории принятия решений для многокритериальных нечетких задач. Интенсивному развитию этой теории способствовало широкое и эффективное применение компьютерной технологии, позволяющая проводить анализ и обработку больших массивов данных.

Так как принятия решений осуществляется по вектору критериев, среди которых имеются противоречивые критерии, выбор наилучшего решения осуществляется на основе компромиссной схемы, учитывающей взаимные уступки между оценками различных критериев [107, с. 55-57]. Таким образом, задачи принятия решений возникают в условиях, когда требуется выбрать наилучшее решение лучшее по вектору критериев, которые еще являются противоречивыми. Например, при решении задач принятия решений по управлению технологическим объектом требуется выбрать решение, которое максимизирует выход целевых продуктов с наилучшими показателями качества, при ограниченных затратах, минимизировать производственные издержки и затраты, а также вредные выбросы, т.е. улучшать экологическое состояние производства. Решение, одновременно являющееся оптимальным по всем этим противоречивым критериям, обычно не бывает. Поэтому необходимо выбрать разумное компромиссное решение. На практике при решении таких принятия решений ЛПР, как правило, знает какие из показателей производства, т.е. критерии являются более важными в сложившейся ситуации. Поэтому решение задач многокритериального выбора должно основываться на информацию о предпочтениях ЛПР.

Задачи многокритериального выбора эффективных режимов работы технологических объектов характеризуются следующими особенностями:

– задача принятия решений по выбору эффективного режима работы объекта относится уникальной задаче, так как отсутствует статистические данные, которые позволяют обосновать соотношения между различными локальными критериями;

– при решении задачи принятия решения нет информации, которая позволяет объективно оценить последствия выбора той или другой альтернативы. Так как необходимо принимать решения в этих условиях неопределенности и дефицита необходимой информации, недостаток информации придется восполнить. Восполнение информации можно осуществлять на основе знания, опыта и интуиции людей, ЛПР, экспертов, которые обычно выражаются нечетко.

Проблемы многокритериального выбора в нечеткой среде активно исследуются учеными и специалистами. В качестве более известных разработок в этом направлении можно отметить труды Семенова С.С., Воронова Е.М., Полтавского А.В. и др., Черноруцкого И.Г. и др. [129]. К основной проблеме при применении предложенных методов и алгоритмов решения многокритериальных задач выбора и принятия решений в нечеткой среде относится вопросы свертывание (в основном линейное) множества критериев к интегрированному критерию и определения нечетких отношений предпочтений. В качестве других недостатков разработанных подходов, которые затрудняют их применения для решения задач управления технологическими объектами, можно выделить:

– понятие «нечеткости» в основном применяется для отношения предпочтения, т.е. когда речь идет о превосходства одного решения над другим) решением;

– вычисление нечеткого отношения предпочтения пытается произвести без учета предпочтения, т.е. мнения ЛПР;

– недостаточный уровень решение вопросов диалога, обмена информацией между человеком и компьютером в процессе формализации и решении задач принятия решений, т.е. еще низкий уровень интеллектуализации интерфейса пользователя и математического обеспечения человеко-машинных систем, предназначенных для решения таких задач.

Также существуют проблемы, связанные со слабо структурированностью и не структурированностью задач принятия решений в наличии вектора противоречивых и еще нечетких критериях.

Задачи принятия решений в зависимости от известности – исходного множества альтернатив и  – используемого при оптимизации принципа оптимальности, классифицируются на следующие виды: общая задача принятия решений; задача выбора и общая задача оптимизации.

При этом если и Ω,  являются неизвестными, то имеет место общая задача принятия решений; если Ω известно, а неизвестно, то – задача выбора. В случае, когда Ω и являются известными, задача называется общей задачей оптимизации.

В зависимости от того, как соотносятся между собой ситуации, альтернативы и исходы принимаемых решений задачи принятия решений разделяются на следующие виды:

– *Детерминированные задачи принятия решений*. Такие задачи имеют однозначно определенные связи между решениями  и исходом этого решения . В задачах предполагается известными являются исходное множество альтернатив , однозначно определенные исходы  в виде свойств варианта решения , описываемые вектором критериев . Детерминированную задачу принятия решений можно сформулировать в виде задачи выбора, т.е. как задачу векторной оптимизации:

,  (1.5)

В приведенной постановке задача (1.5) является не корректной, так как отражает лишь стремление обеспечить максимальных значений локальных критериев, а понятие оптимальности не уточнено. Поэтому в данной задаче (1.5) необходимо уточнять, как оптимизируется вектор критериев, т.е. понятие оптимальности. Причем понятие оптимальности должно быть:

– во-первых, близким к представлению об оптимальности лица, принимающего решения;

– во-вторых, понятие оптимальности должно быть достаточно формализуемым, что обеспечивает работу с ним алгоритмически, а не интуитивно.

*Задачи принятия решений при риске*. Такие задачи, называемые также с*тохастическими задачами принятия решений,* не имеют однозначную связь между вариантами решений (альтернативами) и исходом. Задачи принятия решений при риске возникают в том случае, если каждое принимаемое решение имеют связь с множеством исходов с возможными результатами  с известными условными вероятностями . В случае , задачи принятия решений при риске совпадает с рассмотренной выше детерминированной задачей принятия решений.

Задачи принятия решений при риске могут быть решены с применением методов теории стохастического программирования и массового обслуживания, а также других вероятностных методов. Допустим, определены функции полезности исхода  выбранного решения  и условные вероятности –  которые характеризуют переход объекта в состояние  в случае использование стратегии . Тогда значению полезности каждого выбранного решения  можно определить по формуле:



В таком случае наилучшее решение выбирается по правилу, которое обеспечивает достижение максимального значения ожидаемой полезности, по выражению:



*Задачи принятия решений в нечеткой среде* возникают в случаях, когда все элементы задачи принятия решений (критерии, альтернативы, ограничения, предпочтения) или хотя бы один из них описывается нечетко. В предлагаемой диссертационной работе исследуются именно такие нечеткие задачи принятия решений.

Для решения задач принятия решений в нечеткой среде можно применить следующие подходы:

1. Подход, основанный на преобразование исходной нечеткой задачи к набору эквивалентных четких задач на основе множества уровня *α*.
2. Нечеткий подход, основанный на сохранение и использование исходную нечеткую информацию в виде их функции принадлежности, в т.ч. предпочтения ЛПР в процессе выбора.

**1.4 Проблемы, возникающие при решении задач исследования и подходы к их решению**

Задачи оптимизации режимов работы технологических объектов нефтепереработки, т.е. выбор оптимального режима их работы являются многокритериальными. При этом к основным критериям выбора и принятия решения по управлению объектами относятся:

– повышение производительности производства;

– улучшение качественных показателей производимых продуктов;

– снижение себестоимости продуктов;

– экономия материалов и ресурсов;

– улучшение экологического состояния производства, охрана окружающей среды и здоровья персонала и т.д.

Как известно, некоторые из этих критериев являются противоречивыми, например, повышение производительности и улучшение экологии производства и др. Эти критерий имеют экономические, например, прибыль, себестоимость, издержки производства, производственные, например, планы, график ремонта агрегатов, технологические, например, регламент работы, режимные параметры и экологические, например, экологичность производства охраны окружающей среды характеры. На производстве, в зависимости от сложившейся ситуации, спроса на рынке и других факторов, перечисленные критерии имеют разные важности, которые могут меняться при изменении факторов. В этих условиях задачи принятия решений по выбору оптимального режима работы технологических объектов решается методами векторной оптимизации на основе различных компромиссных схем, позволяющие определить область эффективных решений (множество Парето) [130]. Затем принятия решений по выбору окончательного решения обычно производится ЛПР на основе его опыта, интуиции и предпочтения, а также в зависимости сложившейся ситуации на производстве и рынке. Для оперативного и эффективного решения задач принятия решений создаются итеративные системы поддержки принятия решений, объединяющие методов теории принятия решений, эвристику человека и возможности компьютерной техники.

На основе проведенных исследований процедуру формализации и решения задачи принятия решений по выбору эффективного режима работы технологической системы, состоящей из множества взаимосвязанных элементов, т.е. агрегатов (как блок гидроочистки) на основе моделей можно представить в виде следующих последовательностей:

1. Исследование свойств и режимов работы технологической системы и ее элементов, а также связи между ними.

2. Определение и выбор локальных критериев принятия решений (оптимизации), которые оценивают качества режимов работы технологической системы и ее элементов.

3. Выбор режимных, управляющих параметров, влияющих на процесс и, изменяя которых можно оптимизировать выбранных на пункте 2 критериев.

4. Формализация и математическая постановка задач принятия решений для определения выбора эффективного режима работы агрегатов технологической системы.

5. Построение пакета взаимосвязанных математических моделей технологических объектов системы, которые описывают влияние выбранных на пункте 3 режимных, управляющих параметров на критерии оптимизации:

5.1. Сбор и обработка доступной исходной информации: теоретических сведений; экспериментально-статистических данных; экспертную и нечеткую информацию.

5.2. На основе информации, полученной на предыдущем пункте, определить типы моделей, которые могут быть разработаны для каждого элемента технологической системы.

5.3. Проведение системного анализа и экспертной оценки на основе выбранных критериев оценки для выбора наиболее эффективного типа модели для каждого элемента технологической системы.

5.4. Построение выбранного на предыдущем пункте типа модели отдельных агрегатов технологической системы и объединение их в единый пакет взаимосвязанных моделей.

6. При необходимости провести корректировку задачи принятия решений, сформулированной в пункте 4.

7. Для решения задачи принятия решений произвести выбор, модификацию алгоритма ее решения или разработка нового алгоритма;

8. Программная реализация разработанных моделей и алгоритмов решения задачи принятия решений, на основе которой создается система поддержки принятия решений.

В приведенной процедуре формализации и решения задачи принятия решений по выбору эффективного режима работы технологической системы пункты 5.1-5.4, этапа 5 – построения пакета взаимосвязанных математических моделей технологических объектов, отражают сущность предлагаемой в разделе 2 данной диссертации метода построения пакета математических моделей взаимосвязанных агрегатов технологической системы.

В общем виде приведем формальную постановку задачи принятия решений по оптимизацию режимов работы агрегатов технологической системы. Допустим, построены математические модели взаимосвязанных агрегатов технологической системы, т.е. известен оператор, который приводит в соответствие векторам режимных параметров , используемых для оптимизации и управления процессом, вектор выходных параметров объекта , описывающие критерии:

 (1.6)

В зависимости от цели моделирования и характера доступной информации модели вида (1.6) строятся с помощью различных методов, описанных выше в параграфе 1.3. При разработке моделей различных агрегатов необходимо учесть возможности объединения разрабатываемых моделей в единый пакет моделей.

Тогда в общем виде локальных критериев, т.е. критериев оптимизации можно записать как:

 (1.7)

Критерии (1.7) объединяются в векторную функцию векторных аргументов .  выражает заинтересованность человека-оператора ЛПР в том или ином режиме работы управляемого объекта, который может меняться в зависимости от сложившейся ситуации на производстве.

С целью решения проблем многокритериальности на производстве при управлении технологическими системами, вырабатывающие несколько продуктов, задача многокритериальной оптимизации может быть поставлена как однокритериальная задача. Для этого оптимизация производится по одному критерию (например, максимизация самого важного продукта) обеспечивая значения остальных критериев на заданных уровнях, т.е. учитывая их как ограничения.

Если значения аргументов  заданы, то векторная функция  будет принимать определенные значения. На практике часто возникает задача по выбору таких , которые определяют область эффективных решений, т.е. Парето-множество. Как известно, в области эффективных решений при улучшении любого из вектора критериев  ухудшаются другие критерии  где  множество индексов.

По модели (1.6) заметно, что вектор  определяется в зависимости от вектора  Поэтому можем принимать, что целевые функции, т.е. критерии, как функции, зависящие только от режимных параметров, используемые для оптимизации и управления . Таким образом, задачу принятия решений при выборе эффективного режима работы технологического объекта можем ставить как задачу многокритериальной оптимизации режимов работы объекта со следующей формализацией.

Определить вектор режимных параметров , который обеспечивает наилучшего приближения к оптимальным значениям локальных критериев . При этом, все наложенные ограничения должны быть соблюдены.

Методы решения задач принятия решений и многокритериального выбора с учетом предпочтений ЛПР изложены во многих работах, например, [131-133]. Центральное место в проблемах решения задач многокритериального выбора и принятия решений занимает проблема задания принципа оптимальности. В задачах принятия решений по выбору оптимального решения используются различные компромиссные схемы, принципов оптимальности (главного критерия, равенства, Парето оптимальности, абсолютной и относительной уступки, идеальной точки, лексикографический принцип и др.) [134]. Каждый из этих принципов оптимальности приводит к получению различных решений, что предъявляет серьезные требования к их выбору принципа. Выбранный принцип оптимальности должен, объяснить в каком смысле выбираемое решение, является оптимальным, лучше, чем другие решения.

По результатам анализа можно выделить следующих основных проблем, возникающие при решении задач принятия решений и многокритериального выбора режимов работы технологических объектов:

– проблемы определения области компромисса. В задачах принятия решений и многокритериального выбора некоторые критерии являются противоречивыми. Поэтому область допустимых решений  разделяется на 2 непересекающиеся части: область согласия  и область компромиссов . При этом в области  критерии не являются противоречивыми, а в области  между критериями имеются противоречия, и данная область совпадает с множеством Парето, т.е. эффективных решений, где улучшение значения одного критерия приводит к ухудшению качества решения по другим критериям. В этом случае компромиссного, т. е. оптимального с точки зрения ЛПР решения следует искать только в области компромиссов, т. е. , потому что в области  решение можно улучшить сразу по нескольким критериям, не ухудшая качества решения по остальным критериям. Таким образом, первым, иногда окончательным, этапом решения задачи принятия решений является нахождение множества эффективных решений путем сужения области возможных решений [135];

– проблемы, связанные с выбором схемы компромисса. Выбранная схема компромисса должна обеспечить свертку локальных критериев в один интегрированный критерий. Определение и выбор эффективных режимов работы объекта в области  возможен только с помощью некоторой схемы компромисса. Количество возможных схем компромисса достаточно много, поэтому выбор конкретной, наиболее подходящей и эффективной схемы часто является сложной задачей, которую придется решать с учетом предпочтения ЛПР. В процессе выбора схемы компромисса должен раскрываться смысл оператора *opt*, т.е. оператора оптимизации в следующем выражение:

 (1.8)

В выражении (1.8) введены следующие обозначения:

A и  альтернатива и соответствующее альтернативе А значение вектора критериев;

 – некоторая скалярная функция от вектора критериев  т.е. функция свертки локальных критериев.

Таким образом, как видно, чтобы свести многокритериальную задачу к эквивалентной к ней скалярной, т.е. однокритериальной задаче необходимо выбрать наиболее подходящий принцип оптимальности;

– проблемы нормализации критериев возникают тогда, когда локальные критерии измеряются различными единицами измерения. В этом случае необходимо нормализовать критериев. Суть процесса нормализации заключается в приведение критериев к одинаковым единицам измерения или приведение их к безразмерному масштабу. В настоящее время известно разные схемы нормализации, наиболее известным из них является способ нормализации критериев путем преобразования их так, чтобы их значения находились в интервале [0, 1] [136];

– проблемы учета приоритета локальных критериев. Для учета приоритетов локальных критериев в основном используются методы свертывания, основанные на задания весовых коэффициентов важности этих критериев , где  – вес критерия . Нормализации и учет приоритетов локальных критериев позволяет заменить исходную задачу векторной оценки  альтернативы заменить следующей задачей:

 (1.9)

В полученной задаче (1.9)   нормированные значения локальных критериев.

Для решения рассмотренных и других проблем, которые могут возникнуть в процессе решения задач принятия решений и многокритериального выбора и создании систем управления промышленными объектами, характеризующиеся многокритериальностью и нечеткостью приходиться применить различные эвристические процедуры и методы. В эвристических методах, являющиеся совокупностью приемов решения задач, основанных на использовании творческого мышления человека, основная роль принадлежит ЛПР, специалистам-экспертам, учитываются и используются их предпочтения, знания, опыт и интуиции.

В данной диссертации будет предложен нечеткий подход к решению многокритериальных нечетких задач. В отличие от известных подходов к решению нечетких задач путем преобразования нечетких задач к четким, предложенный подход будет позволять сформулировать и решать исходную нечеткую многокритериальную задачу без преобразования ее к системе четких задач, а сохраняя и максимально используя нечеткость, а проблемы многокритериальности решается путем модификации различных компромиссных схем принятия решений для работы в нечеткой среде.

Таким образом, рассмотрим общую идею к формализации и решению многокритериальных нечетких задач принятия решений по выбору оптимального режима работы технологических объектов нефтеперерабатывающего производства по вектору эколого-экономических критериев в нечеткой среде. Для этого введем следующие обозначения:

 – локальные критерии, оценивающие экономические и экологические показатели производства, используемые при выборе оптимального режима работы исследуемого объекта (в данной работе блок гидроочистки установки каталитического риформинга). Как уже отмечено выше каждый из этих локальных критериев зависит режимных параметров, влияющие на процесс , которые являются компонентами вектора  Кроме того каждый из локальных критериев могут характеризоваться своими весовыми коэффициентами процесс , используемых для определения их относительной важности. Зависимость локальных критериев от вектора режимных параметров может быть определена с помощью математических моделей исследуемого объекта.

Тогда в общем виде задачу принятия решений для многокритериального выбора оптимального режима работы объекта в нечеткой среде можно сформулировать как задачу нечеткого математического программирования (НМП) в следующем виде:

Допустим  – нормализованный вектор критериев, т.е. который оценивает режим работы объекта на основе экономических и экологических критериев. Также предполагается, что функции принадлежности , оценивающие степени выполнения ограничений каждого нечеткого ограничения  известны или могут быть построены с помощью ЛПР, экспертов.

В этих условиях нечеткую задачу принятия решений по многокритериальному выбору в общем виде можно записать в виде следующей задачи НМП:

****  (1.10)

 (1.11)

Используя различные схемы компромиссов при принятии решении, принципов оптимальности можно сформулировать различные постановки многокритериальных задач НМП и разработать методы их решения. Математические постановки конкретных многокритериальных задач НМП в зависимости от производственной ситуации и доступной информации и предложенные методы их решения будут изложены в разделе 3 данной диссертационной работы.

**Выводы по разделу 1**

1. Проанализировано современное состояние проблем математического моделирования и оптимизации технологических объектов блока гидроочистки нефтеперерабатывающего производства и подходы к их решению. На основе результатов исследования характеристики и работы технологических объектов нефтепереработки, в т. ч. гидроочистки в нефтеперерабатывающих заводах, обосновано необходимость разработки их математических моделей, на основе которых принимаются решения по эффективному управлению режимами их работы. Для повышения эффективности и оперативности процесса принятия решений целесообразно разрабатываемых моделей и алгоритмов принятия решений реализовать в виде пакета программ, т.е. создать компьютерную систему поддержки принятия решений.

2. Исследованы научно-технические основы технологии и процесса гидроочистки бензиновых фракций, описан химизм и механизм протекания процесса гидроочистки в блоке гидроочистки установки каталитического риформинга. Установлено, что к основным параметрам, влияющие на количество и качество гидрогенизата, который является целевой продукцией процесса гидроочистки бензинов, относятся: температура процесса гидроочистки; давление системы; объемная скорость подачи сырья гидроочистки; кратность циркуляции ВСГ и свойства катализаторов.

3. Исследованы методы математического моделирования и принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов нефтепереработки по вектору критериев. В научных исследованиях вопросы разработки пакета математических моделей взаимосвязанных объектов технологической системы еще недостаточно решены. Для построения моделей таких технологических систем целесообразно использовать доступную информацию различного характера, например, теоретические сведения, экспериментально-статистические данные, экспертную и нечеткую информацию. В таком подходе к разработке моделей, в зависимости от доступной и используемой информации могут быть построен пакет моделей объектов, объединяющих статистических, нечетких и других видов моделей.

4. Исследованы проблемы, которые могут возникнуть при решении задач принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов и рассмотрены подходы к их решению. Задачи принятия решений при выборе эффективных режимов работы объектов являются многокритериальными и часто характеризуются нечеткостью. Для решения таких задач целесообразно создать систему поддержки принятия решений, которая на основе математических моделей объектов и алгоритмов принятия решений в диалоговом режиме (ЛПР-компьютер) позволяет оперативно принимать эффективные решения. При этом в процессе принятия решения учитывается предпочтения ЛПР, которые в зависимости от производственной ситуации и исходной информации могут выбрать различные алгоритмы решения задачи, в т.ч. эвристических алгоритмов решения задач принятия решений.

5. Сформулирована общая постановка задачи принятия решений в нечеткой среде по выбору эффективных режимов работы технологических объектов по комплексу экономико-экологических критериев в виде задачи нечеткого математического программирования. Проанализированы основные проблемы, возникающие при решении задачи исследования и описаны подходы к их решению.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ БЛОКА ГИДРООЧИСТКИ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

2.1 Изучение и описание объекта исследования – блока гидроочистки установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ

В данном параграфе приведем описание блока гидроочистки установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ, изучаемый в качестве объекта исследования для которого в дальнейшем разрабатываются математические модели и методы принятия решений по управлению режимами его работы.

Блок гидроочистки является одним из основных блоков установки каталитического риформинга ЛГ, изготовленный по технологии Германии в Ленинграде. Известно, что каталитический риформинг бензинов относится к важнейшему процессу современного нефтеперерабатывающего и нефтехимического производства. Данный процесс предназначен для одновременного производства:

– качественного автомобильного бензина с высоким октановым числом;

– ароматических углеводородов, являющихся основным сырьем нефтехимического синтеза;

– ВСГ, т.е. технического водорода, который используется во всех гидрогенизационных процессах нефтепереработки.

В настоящее время установки каталитического риформинга ЛГ различной модели и производительностью успешно эксплуатируются практически на всех нефтеперерабатывающих заводах мира, в т.ч. и в казахстанских НПЗ. На Атырауском НПЗ установка риформинга модели ЛГ-35-11/300-95, имеющая производительность по сырью 300,0 тыс.т/г с начала 70 годов прошлого века. Целевой продукцией, данной установки является, высокооктановый бензин с октановым числом до 95 пунктов, определяемый по исследовательскому методу, а также сжиженный бытовой газ.

В установке ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ используются катализаторы UOP-S-12T (в блоке гидроочистки) и UOP-R-56 (блок риформинга. Установка состоит из блоков: блок гидроочистки; блок риформинга, т.е. платформинга гидроочищенного в предыдущем блоке бензина и блок деэтанизации и стабилизации катализата. На Атырауском НПЗ блок очистки циркулирующего и углеводородсодержащего газов, который также входит в состав установки ЛГ-35-11/300-95, находится на консервации.

Приведем описание технологической схемы блока гидроочистки установки каталитического риформинга Атырауского (НПЗ), которая выделена из общей схемы установки риформинга и приведена на рисунке 2.1, а также рассмотрим протекающего в нем процесса гидроочистки.

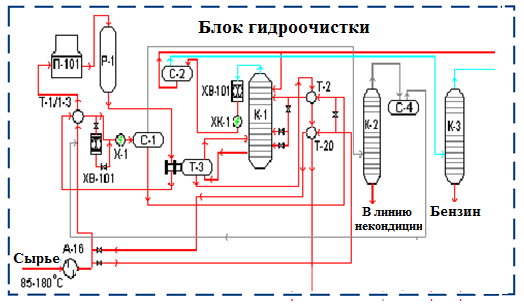
****

Рисунок 2.1 − Технологическая схема блока гидроочистки установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ

Сырьем блока гидроочистки установки каталитического риформинга ЛГ Атырауского НПЗ является прямогонный бензин получемый на установке первичной переработки нефти ЭЛОУ АВТ-3 ЭТ. Процесс гидроочистки протекает в среде водородосодержащего газа и относится к каталитическим процессам, предназначенного для очистки и удаления из сырья, т.е. из состава прямогонного бензина органических соединений серы, кислорода и азота, которые являются ядом для катализатора.

Прямогонный бензин в качестве сырья из резервуаров насосом А16 для смешивания подается вместе с водородосодержащим газом. Полученная смесь сырья и ВСГ подается на последовательно соединенные теплообменникам Т-1/1-3. В данных теплообменниках за счет противотока газированного сырья из реактора гидроочиски Р-1 и рибойлера Т-3 подогревается до необходимой, т.е. 210°С температуры и после этого подается на печь гидроочитстки П-101. Из печи гидроочистки П-101 подогретая смесь сырья и ВСГ с температурой 300-343°С подается в реактор Р-1. В этом реакторе гидроочистки с использованием катализатора S-12 протекает реакция гидроочистки сырья, т.е. прямогонный бензин предварительно гидроочищается от вредных сернистых, азото и кислородо содержащих соединений, являющимися ядами для катализатора. Гидроочищенный прямогонный бензин называется гидрогенизатом. Тепло смеси нестабильного гидрогенизата, циркулирующего газа с выхода реактора и тепло реакции газов с температурой 340-420°C применяется при подогреве смеси сырья и газа сначала в теплообменике Т-3 колонны отпаривания К-1, потом в темплообменниках Т-1/1-3.

Продукция, т.е. гидрогенизат в газообразном состоянии после охлаждения до температуры 35°C в холодильниках ХВ-101 и Х-1, поступает в сепаратор С-1. В данном сепараторе ВСГ отделяется от жидкости и для очистки от H2 т.е. водорода подается в абсорбер К-2. Газ с выхода данного абсорбера проходя и через сепаратор С-4 разделяется на следующие 2 потока:

1) циркулирующий газ, после сжатия в компрессорах обратно подается в систему гидроочистки сырья;

2) избыточный ВСГ с выхода блока, жидкая фаза сепаратора С-1 проходит через теплообменник Т-2, где подогревается до температуры 150°C и подается на 7, 9 и 23 тарелки отпарной колонны К-1. С данной отпарной колонны, которая имеет 30 тарелок, при температуре до 270оС и давлении до 15 атм с гидрогенизата отпаривается серный водород и вода. Кроме того с верха колонны К-1 отводятся легкие углеводороды.

После отпарной колонны К-1 общий состав сернистых соединений в гидрогенизате по требованиям ГОСТ 13380-81 не должен превышать 0,0005% масс. Газы в состояние пары с верха отпароной колонны К-1 выходят с температурой 135°C, проходят через ходолильники-конденсаторы ХВ-101 и ХК-1, затем с температурой 35-40°C подается в сепаратор С-2. С данного сепаратора жидкая фаза возвращается в отпарную колонну К-1. Вода, которая освобождена в сепараторе С-2 выбрасывается в заводскую канализацию. Улеводородный газ с сепаратора С-2 для очистки от сероводорода подается в абсорбер К-3. Углеводородный газ с верха абсорбера К-3 поступает в фракционирующий абсорбер К-6 или топливный сеть завода.

Таким образом, в процессе гидроочистки происходит химическое преобразование вещества под воздействием водородного газа с высоким давлением и высокой температуры [18, с. 16-18]. В процессе гидроочистки в составе нефтепродуктов, топлив снижается сернистые соединения, происходит насыщение дополнительных ненасыщенных углеводородов, уменьшение состава смолы, кислородсодержащиеся соединения, а также гидрокрекинг молекул углеводородов.

Ведение и совершенствование процессов гидроочистки в нефтеперерабатывающем производстве с применением методов математического моделирования и оптимизации позволяет [25, с. 261-268, 32 с. 8-9]:

* прогнозирование и оптимизации результатов процесса гидроочистки при различных условиях, определение и выбор оптимальных режимов работы блока гидроочистки;
* улучшение качественных показаталей продукции гидроочистки.

В данной диссертации первое направление совершенствования процессов гидророчистки, на примере блока гидроочистки установки каталитического риформинга Атырауского НПЗ. Известны исследовательские работы по методам математического моделирования и оптимизации технологических объектов и процессов нефтепереработки, в т.ч. процесса гидроочистки, например, [15, с. 43; 137]. Однако, на практике часто могут возникнуть производственные ситуации, связанные с дефицитом и нечеткостью исходной информации, задачи моделирования и оптимизации режимов их работы, постановка и решения которых с помощью традиционных методов не обеспечивает адекватных решений. К таким объектам можно отнести блок гидроочистки установки ЛГ Атырауского НПЗ, основные агрегаты которых функционируют в условиях неопределенности, связанной со случайностью и с нечеткостью исходной информации.

Далее приводятся результаты исследования по разработке системы математических моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки каталитического риформинга Атырауского НПЗ на основе доступной информации различного характера, которая используются при оптимизации параметров процесса и управлении режимами работы блока гидроочистки.

**2.2 Концепция построения пакета моделей для системного моделирования ХТС на примере блока гидроочистки**

По результатам обзора работ, посвященных к методам построения математических моделей сложных технологических объектов можно отметить, что в них недостаточно рассмотрены вопросы решения проблем системного моделирования технологической системы, которая состоит из взаимосвязанных технологических агрегатов в условиях неопределенности и нечеткости исходной информации. Блок гидроочистки, состоящий из взаимосвязанных печи, реактора, колонн и других технологических агрегатов относятся именно к таким системам.

Если неопределенность вызвана из-за случайности значения измеряемой информации, то можно решить эти проблемы с помощью вероятностных методов моделирования или методов имитационного моделирования [138, 139]. Но использование таких методов неоправданно и недопустимо в случае неопределенности, связанные с нечеткостью исходной информации, часто имеющиеся место на многих производствах. Причинами недопустимости использование в этих случаях проблем неопределенности вероятностными методами являются недостаточность или отсутствия количественной, статистической информации, невыполнение основных аксиом теории вероятности, таких как статистическая устойчивость исследуемого объекта, возможность повторения экспериментов в одинаковых условиях. В этой связи в настоящие время более актуальными стали вопросы решения проблем неопределенности вызванной нечеткостью исходной информации, например, на основе методов теорий нечетких множеств [140] или вербального анализа [141, 142].

На практике иногда доступной исходной информацией об исследуемом производственном объекте является только нечеткая информация в виде предложения, суждения, умозаключение специалистов-экспертов предметной области. Таким образом, источником нечеткой информации является человек, ЛПР, эксперт, а такая информация представляет собой выраженная на естественном языке их знания, опыт и интуиция.

Если эти источники информации являются компетентными по своим предметным областям, а это предполагается, то формализация и использование нечеткой информации на основе методов теорий нечетких множеств позволяет разработать нечеткие модели объекта, учитывающие сложные не формализуемые связи между различными параметрами и переменных производственного объекта. При этом построенные модели могут часто являться более содержательными по сравнению с моделями, разрабатываемые традиционными математическими методами. Кроме того, такие нечеткие модели более адекватно описывают реальные производственные объекты и задачи в нечеткой среде и являются менее расходными.

Как видно из рисунка 2.1 блок гидроочистки является сложной химико-технологической системой (ХТС), которая состоит из различных взаимосвязанных между собой технологических агрегатов. Основными элементами, т.е. технологическими агрегатами данной ХТС являются реактор гидроочистки Р-1, печь гидроочистки П-101, отпарная колонна К-1 и абсорберы К-2, К-3. А также в данном блоке для подогрева потока и сепарации используются различные теплообменники и сепараторы. К этим агрегатам блока гидроочистки одновременно воздействует различные режимные параметры, которые влияют на протекание процесса гидроочистки, на количество и качество продукции. Поэтому с целью оптимизации и управления режимами работы этих агрегатов и процессом гидроочистки следует построить пакет связанных математических моделей основных агрегатов блока, учитывающие влияния входных, режимных параметров на каждый агрегат, на промежуточную и конечную продукцию блока. Для создания такого пакета моделей необходимо применить системный подход [25, с. 261-268; 34, с. 138-147; 83, с. 45-47; 143].

Рассмотрим суть предлагаемой концепции построения пакета моделей для системного моделирования ХТС на примере блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ.

В значимости от характера доступной исходной информации модели отдельных элементов ХТС могут быть построены на основе различных методов построения моделей, которые рассмотрены в разделе 1. Таким образом, возможно, будут построены различные, например, детерминированные, статистические, нечеткие или комбинированные модели отдельных агрегатов ХТС. Для создания пакета моделей, объединяющего этих моделей в единую систему и позволяющего системное моделирование и оптимизацию режимов работы ХТС необходимо проанализировать преимущества и недостатки каждого типа разрабатываемой модели, выработать критерии выбора их для создания пакета моделей с учетом затрат на разработку моделей, их адекватности и т.д. Кроме того, требуется определить принципы объединения моделей агрегатов в единый пакет.

Нами проанализированы различные возможные типы моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95, которые могут быть построены. В результате проведенных исследований особенности процесса и агрегатов блока гидроочистки [13, с. 16-18; 25, с. 261-268; 44, с. 132-137; 144] системного анализа, экспериментальных данных и экспертных оценок, а также изучения методов моделирования таких и аналогичных объектов нами произведена оценка типов моделей, которые могут быть построены для основных агрегатов блока гидроочистки и выбраны критерий их выбора. Результаты проведенного системного анализа и экспертной оценки по выбору типа модели агрегатов блока гидроочистки представлены в таблице 2.1. При экспертной оценке для ранжирования типов моделей применена балльная система.

С целью сравнения и оценки типов моделей, которые могут быть построены для отдельных агрегатов ХТС гидроочистки, выбраны:

− наличие или доступность информации, которая необходима для разработки модели;

− трудоемкость построения модели;

− адекватность разрабатываемой модели;

− возможность эффективного применения разрабатываемой модели при принятия решений по управлению режимами работы объекта управления;

− возможность объединения разрабатываемой модели в единый пакет моделей.

В таблица 2.1 приведены результаты анализа и экспертной оценки типов моделей, которые могут быть построены для основных агрегатов блока гидроочистки установки ЛГ Атырауского НПЗ. Так как критерий оценены по балльной системе путем суммирования их получаем интегрированный критерий для выбора более подходящего и эффективного типа модели для каждого агрегата, для которых строятся модели. Затем в зависимости от значения интегрированных критериев выбирается конкретный тип разрабатываемой модели, который является наиболее подходящим и эффективным.

Как видно из результатов экспертной оценки по выбранным критериям для реактора гидроочистки Р-1, отпарной колонны К-1 и абсорберов К-2, К-3 рекомендуется выбрать комбинированный тип модели, состоящий из различных моделей, построенные на основе информации различного характера, например, статистической и нечеткой (для оценки качества продукции). Это можно объяснить тем, что эти агрегаты являются достаточно сложными, в которых протекают различные реакции и процессы, по которым нет необходимой теоретической информации для построения детерминированных моделей реактора. В то же время наличие статистической и нечеткой информации, характеризующие качественных показателей продукции этих агрегатов недостаточно, а сбор недостающей части затруднено и экономически нецелесообразен.

Параметры, характеризующие температурный режим печи П-101 и теплообменников, значения температуры, давления и др. измеряются, т.е. статистические данные, описывающие состояние и работы необходимые для построения статистических моделей этих агрегатов имеется или доступны.

Таблица 2.1 − Результаты анализа и экспертной оценки типов моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Основные агрегаты  блока гидроочистки | Критерий | Типы моделей | | | |
| детермированные | статисти  чесские | нечеткие | комбини  ронные |
| Реактор гидроочистки  Р-1 | Наличие, доступность необходимой для построения модели информации | 2 | 4 | 3 | 5 |
| Трудоемкость построения модели | 2 | 4 | 4 | 2 |
| Адекватность разрабатываемой модели | 4 | 3 | 4 | 4 |
| Возможность применения по назначению | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Возможность объединения в единый пакет | 4 | 4 | 3 | 4 |
| *Интегрированный критерий для реактора* | *14* | *18* | *18* | *20* |
| Печь  гидроочистки  П-101 | Наличие, доступность необходимой для построения модели информации | 3 | 5 | 3 | 5 |
| Трудоемкость построения модели | 2 | 4 | 4 | 3 |
| Адекватность разрабатываемой модели; | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Возможность применения по назначению | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Возможность объединения в единый пакет | 4 | 4 | 4 | 4 |
| *Интегрированный критерий для печи* | *18* | *21* | *19* | *20* |
| Колонны  К-1, К-2, К-3 | Наличие, доступность необходимой для построения модели информации | 3 | 5 | 4 | 5 |
| Трудоемкость построения модели | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Адекватность разрабатываемой модели | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Возможность применения по назначению | 4 | 4 | 4 | 5 |
| Возможность объединения в единый пакет | 4 | 4 | 4 | 4 |
| *Интегрированный критерий для колонн* | *19* | *20* | *20* | *22* |
| Тепло-  обменники | Наличие, доступность необходимой для построения модели информации | 3 | 5 | 4 | 5 |
| Трудоемкость построения модели | 3 | 5 | 4 | 3 |
| Адекватность разрабатываемой модели | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Возможность применения по назначению | 4 | 4 | 5 | 5 |
| Возможность объединения в единый пакет | 4 | 4 | 4 | 4 |
| *Интегрированный критерий для теплообменников* | *19* | *22* | *21* | *21* |
| Сепараторы | Наличие, доступность необходимой для построения модели информации | 4 | 4 | 3 | 5 |
| Трудоемкость построения модели | 4 | 5 | 4 | 3 |
| Адекватность разрабатываемой модели | 5 | 3 | 4 | 5 |
| Возможность применения по назначению | 4 | 4 | 5 | 4 |
| Возможность объединения в единый пакет | 5 | 5 | 4 | 4 |
| *Интегрированный критерий для сепараторов* | *22* | *21* | *20* | *21* |
| Примечание – Для оценки моделей использована балльная шкала (1-5), где 1-самая низкая оценка; 5-самая высокая оценка. Оценки могут быть нечеткими, нечеткими числами | | | | | |

Теоретическая информация по процессам сепарации для построения детерминированных моделей для сепараторов можно сказать, в необходимом объеме доступна [145, 146]. Поэтому, как подтверждает результаты экспертной оценки, для этих агрегатов можно рекомендовать разработку детерминированных моделей, которые являются универсальными.

Комбинированные модели для сложных объектов, характеризующиеся неопределённостью из-за дефицита исходной информации для математического описания их работы обычно строятся путем комбинации доступной информации различного характера, например, нечеткой, статистической, позволяющая определить связь между различными входными и выходными параметрами. Для построения таких моделей используются совместно экспериментально-статистические методы, методы экспертных оценок и теорий нечетких множеств. Такие модели в условиях правильной формализации и использовании нечеткой информации, представляющий собой опыт, знания и интуиции ЛПР, экспертов являются адекватными и их можно эффективно использовать при оптимизации процесса гидроочистки в составе системы поддержки принятия решений. В качестве недостатков метода построения комбинированных моделей можно отметить, что данный подход требует немалые расходы для организации проведения экспериментов, экспертной оценки, формализации собранной нечеткой информации.

Известен подход декомпозиции, используемый для разработки моделей технологических объектов, входящие в состав технологического комплекса [147]. В этом подходе модели отдельных агрегатов комплекса строятся в отдельности, но не учитывается вопрос объединения разработанных моделей в единый пакет моделей. Такой подход, позволяющий разработать моделей отдельных элементов ХТС, но не учитывающие объединения полученных моделей в единый пакет моделей, не обеспечивает получения конечного желаемого результата, связанной с системным моделированием работы ХТС. Эффективное моделирование и оптимизация режимов работы отдельных технологических агрегатов ХТС невозможно, так как эффективность работы отдельного агрегата определяется с работами других агрегатов, которые связанны и действуют на данных агрегат. Поэтому для системного моделирования ХТС и решения проблем их оптимизации, каким относится блок гидроочистки установки каталитического риформинга и другие технологические установки нефтепереработки, требуется создать пакет моделей ХТС, объединяющий модели отдельных элементов системы и учитывающие взаимосвязи между агрегатами. В такой концепции моделирования выходы, т.е. результаты моделирования одного агрегата могут быть исходными данными, т.е. входами моделей других агрегатов, которые связаны с данным агрегатом объектов ХТС, а выходы этих моделей являются исходными для других моделей.

Созданный пакет взаимосвязанных моделей разработанного на основе описанной концепции позволяет системно моделировать ХТС, т.е. комплекс взаимосвязанных технологических агрегатов и определить оптимальные режимы работы отдельных агрегатов и ХТС в целом. Системное моделирование ХТС, например блока гидроочистки позволяет определить «узкие места» блока, решение проблем этих «узких мест» ХТС позволяет увеличить мощность и производительность технологической системы.

По предлагаемой концепции объединение отдельных моделей технологических агрегатов блока гидроочистки в пакет производится в соответствии с ходом процесса гидроочистки. Выходы одной модели, например результаты моделирования печи гидроочистки П-101 являются входными данными для модели другого агрегата, например, реактора Р-1. Результаты моделирования Р-1 используются в качестве исходных данных для моделей сепаратора С-1 и теплообменников Т-3. При этом результаты моделирования Т-3 поступает в качестве данных для модели печи П-101, а результаты расчета сепаратора С-1 являются данными для моделирования колонн К-1 и К-2. В свою очередь результаты моделирования колонны К-1 используются для моделирования сепаратора С-2 и для моделирования печи блока риформинга установки ЛГ-35-11/300-95. Выходы с модели С-2 используются обратно как вход для модели колонны К-1, а часть выходы модели С-2 поступает для модели абсорбера К-3. Результаты моделирования колонны К-2 вместе выходами модели колонны К-1 используются для моделирования блока риформинга, в частности печи риформинга П-101. В этой связи при выборе типов модели, разрабатываемого для каждого агрегата ХТС необходимо учесть возможность и удобства их объединения в пакет моделей, т.е. возможность использования результатов моделирования одного агрегата для моделирования других с ним связанных агрегатов.

По результатам проведенных исследований работы взаимосвязанных агрегатов блока гидроочистки установки каталитического риформинга и в соответствии с протеканием процесса гидроочистки создана схема объединения разрабатываемых моделей в единый пакет, которая приведена на рисунке 2.2.

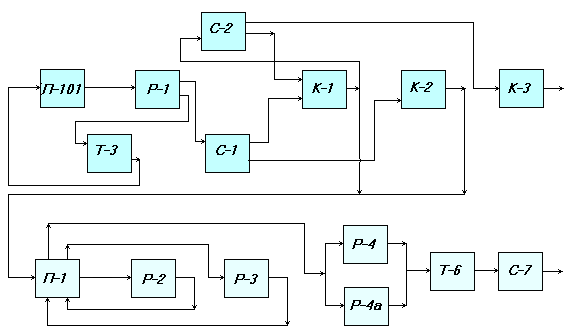


Рисунок 2.2 – Схема объединения моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ в едный пакет моделей

В предлагаемой схеме объединения моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки (рисунок 2.2) обозначения программ, реализующие моделей соответствующих агрегатов блока гидроочистки, для удобства соответствуют с обозначениями арегатов блока гидроочистки, приведенных выше в технологической схеме (рисунок 2.1). Используя такой пакет моделей, программно реализованного на компьютере можно системно моделировать работы блока гидроочистки при различных режимах по результатам выбирается эффективный режим работы блока, который обеспечивает экономически эффект и экологическую безопасность производства.

Так как эффективные режимы работы агрегатов, влияющие на процесс гидроочистки в общем случае априорно не могут быть определены. Поэтому значительным преимуществом обладает процедура оптимизации выбора эффективного режима работы агрегатов блока гидроочистки с помощью компьютерных систем поддержки принятия решений в диалоговом режиме. Для системного моделирования ХТС в диалоговом режиме необходимо использовать достаточно простых математических моделей основных агрегатов. Это связано с тем, что затраты машинного времени на моделирования должны быть минимальными, так как алгоритмы оптимизации будут многократно обращаться к моделям, для расчета, также время отклика системы управления для выдачи рекомендаций по управлению должно быть малым. Поэтому при разработке моделей агрегатов блока гидроочистки рекомендуется применить предлагаемую концепцию построения моделей агрегатов, согласно которой сначала по результатам анализа и оценки возможных моделей каждого агрегата на основе предложенных критериев строятся выбранные типы моделей. Затем построенные модели для описания работы блока гидроочистки в целом объединяются в единый пакет моделей по предлагаемой схеме.

**2.3 Подходы и методы построения моделей технологических объектов в условиях неопределенности и нечеткости исходной информации**

В данном параграфе комплекс технологических агрегатов блока гидроочистки рассмотрен как объект моделирования и оптимизации, характеризующиеся неопределенностью из-за нечеткости некоторой части исходной информации. Предлагается методы построения математических моделей ХТС, каким является бок гидроочистки, в нечеткой среде.

Технологический комплекс блока гидроочистки и задачи моделирования и оптимизации режимов его работы относятся к сложным задачам. Сложность ХТС гидроочистки проявляется в большом числе и многообразии параметров, которые определяют течение процесса гидроочистки, в значительном количестве взаимосвязей между внутренними параметрами, в неформализуемом действии человека-оператора, ЛПР, играющий важную роль в процессе принятия решений по управлению объектом. При решении задач разработки математических моделей и алгоритмов оптимизации режимов работы блока также возникают сложности, связанные с дефицитом и нечеткостью исходной информации, многокритериальностью задач оптимизации, которые могут быть противоречивыми (например, между экономическими и экологическими критериями) и характеризоваться нечеткостью.

Многокритериальность объекта и задачи, как известно, значительно затрудняют процесс построения математических моделей ХТС и оптимизации их параметров. На практике в процессе разработки моделей сложных объектов, работающие долгие годы как установка ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ, функционирующая с 1971 года, из-за устаревания, ненадежности и нехватки современных средств измерения необходимых данных, собранные данные для разработки моделей агрегатов окажется в значительной степени неполной, характеризуются неопределенностью. Организация и проведение активных экспериментов для сбора недостающей части необходимых данных, даже в условиях возможности их проведения, оказывается нецелесообразным с экономической точки зрения, так как требуют значительные расходы и ресурсы, которые не окупаются. Для таких объектов основным источником информации, дополняющая недостающей части необходимой исходной информации, часто является человек-оператор, ЛПР, технолог и другие специалисты и исследователи, которые могут быть экспертами. Однако эти эксперты в основном могут дать нечеткое описание работы объекта, взаимосвязей между его параметрами и описание решаемой проблемы, что вызывает проблему неопределенности, которая связана с нечеткостью некоторой части исходной информации.

В данной диссертации на основе системного анализа предложена концепция моделирования и принятия решений по управлению режимами работы ХТС в нечеткой среде. Далее описываются подходы и предлагаются методы разработки математических моделей технологических объектов в нечеткой среде и эвристические методы решения задач принятия решений при наличии проблем многокритериальности и нечеткости исходной информации.

На практике известны методы решения рассмотренных задач сложных объектов в условиях неопределенности, связанные со случайностью, вероятностью измеряемой информации, которые основываются на методы теорий вероятностей и математической статистики [68, с. 102-105; 88, с. 120-122; 93, с. 45-47; 148]. Однако, при решении производственных задач в условиях неопределенности часто основные аксиомы теории вероятностей (статистическая устойчивость объекта, возможность проведения экспериментов многократно при не изменяемых параметров и т.д.) не выполняются, т.е. использование вероятностных методов, основанных на эти аксиомы неправомерны. Даже в условиях, когда объекты или процессы можно описать вероятностными законами, сложность измерения количественной информации, дороговизна или невозможность сбора достоверной статистической информации часто толкают на использование иных способов описания реальных производственных объектов и процессов, на разработку и применения нестатистических, а нечетких методов их моделирования. Одним из известных и эффективных направлений для применения нечеткого подхода являются методы теорий нечетких множеств [36, с. 15-18; 76, с. 17; 77, р. 3-16; 82, с. 55-57; 83 с. 120-122], основанные на формализацию и использование нечеткой информаций о функционировании и состояние объекта в виде суждения, высказывания и умозаключения ЛПР, экспертов предметной области на естественном языке. Отметим, что проблему неопределенности, вызванную из-за нечеткости исходной информации, когда вероятностные методы не применимы, можно решить с помощью математического аппарата, позволяющего описать нечетко определенных объектов на основе теорий нечетких множеств.

По результатам проведенных исследований выделяем следующие подходы к разработке моделей объектов в нечеткой среде, основанные на математический аппарат теорий нечетких множеств:

1. Подход, который основан на построении статистических моделей, имеющие нечеткие коэффициенты, который разрабатывает нечеткие модели с помощью модифицированных методов регрессионного анализа. Нечеткие модели, построенные с помощью такого подхода, в настоящее время успешно применяются для моделирования и управления некоторыми технологическими объектами нефтеперерабатывающего и других производств [39, р. 299-1-299-13; 78, с. 112-125, 149].

Допустим на основе наблюдения над работой объекта или проведенных экспериментов получено *L* значения входных, режимных параметров объекта  , , , влияющие на процесс, а соответствующие к этим параметрам нечеткие выходные параметры , , , , так как не измеряются, считаем получены на основе экспертной оценки. Таким образом, имеет место ситуация, когда входные параметры объекта являются четкими и измеряемыми, а выходные его параметры являются нечеткими и оцениваются (измеряются) экспертами.

При разработке математических моделей объекта в этом случае придется решать следующие задачи структурной и параметрической идентификации:

а) при решении задачи структурной идентификации определяется вид функции, идентифицирующий структуру модели:

, (2.1)

которая, аппроксимирует функцию .

При структурной идентификации важное, значение имеет качественный анализ работы объекта с помощью экспертов и ЛПР. В результате такого анализа определяются основные параметры, которые влияют на работу объекта, на процесс протекающего в нем, устанавливаются их взаимосвязи и выбирается наиболее эффективный метод идентификации структуры модели;

б) при решении задачи параметрической идентификации структурно идентифицированной модели оцениваются параметры модели (2.1), а именно значений нечетких параметров , которые являются коэффициентами регрессии. Для оценки значений этих коэффициентов можно использовать в качестве критерия минимизацию увязки между нечеткими значениями выходных параметров объекта  определяемых по модели (2.1) и их выборочных нечетких значений, оцениваемых экспертами :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2) |

При параметрической идентификации главным вопросом является выбор эффективного метода оценки неизвестных параметров, который обеспечивает необходимый уровень адекватности, модели.

В описанном, первом подходе к разработке моделей объектов в нечеткой среде построенные нечеткие математические модели в общем случае имеют вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.3) |

В (2.3) - значения нечетких выходных параметров объекта, которые как правило, являются объемом целевой продукции и их качественными показателями и используются в качестве локальных критериев при оптимизации;  - величины входных, режимных параметров, которые являются количественно измеряемыми и используются в качестве управляющих воздействий;  - идентифицируемые нечеткие параметры, т.е. коэффициенты регрессии.

Используя множества уровня α из теорий нечетких множеств нечетких уравнений множественной регрессии (2.3), можно свести к набору обычных уравнений множественных регрессии на точках *α* срез в функции принадлежностей нечетких параметров. Затем для параметрической идентификации можно применить известных методов параметрической идентификации, например, метода наименьших квадратов.

2. Подход, который основан на применения логических правил условного вывода теорий нечетких множеств. Такой подход применим, когда и входные, режимные, и выходные параметры объекта характеризуются нечеткостью и характеризуются как лингвистические переменные. Данный подход позволяет построить лингвистических моделей, имеющих общую структуру:

 (2.4)

где  входные%

 – выходные параметры лингвистического типа. Причем как правило  являются технико-экономическим и экологическим показатели объекта, выбираемые как критерии. - нечеткие подмножества, которые характеризуют  и .

Данный подход к разработке моделей применимы в случаях, когда и входные, и выходные параметры объекта, являются нечеткими, т.е могут быть значениями лингвистических переменных. В качестве преимущества второго подхода к разработке моделей можно отметить, возможность построения сложных количественно трудноописываемых объектов, для которых сбор статистической информации очень затруднен, экономически нецелесообразен или невозможен, а нечеткая информация от человека-оператора доступен. При этом используемая информация для построения модели с результатом получается в результате экспертного опроса специалистов-экспертов (операторов, технологов объекта, ЛПР), которые оперируют обычно информацией качественного, т.е. нечеткого характера (выраженная на естественном языке слова, суждения, высказывания). Такая содержательная информация, в условиях компетентности специалистов-экспертов (во многих производствах они имеются), позволяет учитывать в построенных моделях всю гамму сложных, неформализуемых внутренних связей между различными параметрами объекта.

Основные достоинства описанных подходов к разработке моделей сложных, количественно трудноописываемых технологических объектов в том, что они дают возможность построить эффективные модели сложных объектов, характеризующихся неопределенностью, когда применение традиционные методов разработки неэффективно или невозможно; разрабатываемые модели с использованием данных подходов более содержательны, в них учитываются неформализуемые внутренние связи входных-выходных параметров объекта. Но при разработке моделей на основе этих подходов могут возникнуть определенные затруднения, связанные со спецификой применения нечеткой информации, такие как проведения экспертной оценки, построения функции принадлежности нечетких параметров, выбор структуры условных правил логического вывода и т.д. Для решения этих задач необходимо применить методов экспертной оценки и теорий нечетких множеств.

В процессе разработки моделей ХТС, состоящей из комплекса взаимосвязанных агрегатов, для разработки моделей доступной может быть исходная информация различного характера, например, теоретические сведения, статистические данные, экспертная, нечеткая информация, приходится для построения модели использовать комбинированную информацию. При этом разрабатываемые модели называются комбинированными, и они могут быть построены гибридным методом, основанные на комбинированном использования разных методов разработки моделей, например, аналитических методов, экспериментально-статистических методов, методов разработки нечетких моделей [150].

Далее рассмотрим предлагаемых методов разработки моделей технологических объектов в нечеткой среде на основе описанных подходов. По результатам анализа и обобщения описанных и других возможных подходов к моделированию сложных объектов в условиях неопределенности из-за нечеткости исходной информации разработаны конкретные методы построения моделей сложных технологических объектов в нечеткой среде. Разработанные методы построения моделей в нечеткой среде ориентированы для применения в различных условиях.

Сначала приведем и опишем основные пункты метода построения нечеткой модели в условиях четких входных, режимных параметров объекта и нечетких значениях его выходных параметров.

*Метод построения нечетких моделей (НМ):*

1. Определяются и выбираются необходимые для построения модели входные, режимные , влияющие на качество и режимы работы объекта, а также выходные  нечеткие параметры объекта, описывающие объем, качество продукции и других показателей производства, используемые в качестве критериев при оптимизации режимов работы объекта.

2. Организуется и проводится экспертный опрос по определению терм-множество *Т*(*Х, У*), описывающих нечетких параметров и состояния объекта.

3. Определяется структура нечетких уравнений, т.е. моделей . В данном пункте решается задача структурной идентификации.

4. Строятся функции принадлежностей нечетких параметров объекта и модели, т.е. для термов, определенных в пункте 2.

5. Идентифицируется, т.е. оцениваются значения нечетких коэффициентов  функций , т.е. решается задача параметрической идентификации.

6. Устанавливается адекватность модели путем проверки соответствия результатов моделирования с реальными данными при одинаковых значениях входных, режимных параметров  модели и объекта. Если в результате проверки модельные (расчетные) и реальные данные не совпадают с требуемой точностью, т.е. условие адекватности не выполняется, то выясняется причины и осуществляется возврат к соответствующему пункту для устранения причин и обеспечения адекватности модели.

Предложенный метод позволяет реализовать идею рассмотренного выше первого подхода к построению модели сложных объектов в условиях неопределенности и нечеткости исходной информации и позволяет разрабатывать нечеткие модели объекта при четких значениях входных и нечетких значениях выходных параметров ХТС.

Дадим некоторые пояснения к основным пунктам предложенного метода НМ.

В пункте 1 метода выбираются более информативные входные и режимные параметры, влияющие на режим работы объекта, на процесс и выходные параметры, описывающие объем и качественные показатели продукции. Диапазоны изменения нечетких параметров следует задать в виде интервалов, описываемыми далее термами:  Здесь – минимальное, а  – максимальное значение параметра.

При определении терм-множества в пункте 2 каждый интервал параметров описывается экспертами соответствующими нечеткими терминами. Допустим  – нечеткие выходные параметры, описывающие качество продукции объекта, тогда можно определить следующее терм-множество:



где Y– универсальное множество, .

Таким образом, выбранное терм-множество представляется как совокупность значений лингвистических переменных, которое описывает выходные нечеткие параметры.

В пункте 3 определяются структуры нечетких моделей в виде уравнений множественной регрессии с нечеткими коэффициентами, т.е. решается задача структурной идентификации. Для этого можно использовать результаты системного исследования объекта и идею метода последовательного включения регрессоров. При этом последовательное включение очередных регрессоров в модели продолжается до достижения необходимой адекватности разрабатываемой модели.

Пункт 4 метода заключается в построении функции принадлежности нечетких параметров, который является одним из важных моментов при применении методов теорий нечетких множеств для решения задач в нечеткой среде. Потому что фактически, функция принадлежности является ключевым носителем информации, от вида которой зависит оценка качества полученной модели в нечеткой среде. Известные методы построения функции принадлежности делятся на прямые и косвенные методы. В первых методах степень принадлежности назначается непосредственно человеком или используется набор стандартных графиков, причем для определения параметра привлекаются эксперты. Во вторых, т.е. косвенных методах построения функции принадлежности оценки, полученные от эксперта, обрабатываются в соответствии с определенным алгоритмом для снижения уровня субъективности экспертной информации. При решении производственных задач в нечеткой среде с целью идентификации структуры функции принадлежности на выбранного метода строится кривой степени принадлежности параметра к нечеткому множеству, в виде графика. Затем по полученному графику устанавливается функция, наилучшим образом аппроксимирующая кривую графика. Потом можно идентифицировать значения параметров данной функции принадлежности.

В пункте 5 решается задача идентификации параметров, т.е. нечетких коэффициентов регрессии полученной структуры модели. При этом для параметрической идентификации нечетких коэффициентов можно использовать модифицированный метод наименьших квадратов, адаптированный для работы в нечеткой среде на основе множества уровня *α*.

Таким образом, решение задачи структурной и параметрической идентификации, т. е. выполнения пунктов 3 и 5 производятся согласно этапам 1 и 2 описанного выше первого подходы к разработке моделей в нечеткой среде.

В заключительном пункте 6 данного метода построения нечетких моделей проверяется соответствия модели к объекту, т. е. адекватность модели. Критерием адекватности модели является минимальное значение разницы между  (значение выходного параметра объекта) и  (реальное значение того же параметра) при одинаковых входных, режимных параметров: , где – допустимое отклонение. При этом если , т.е. если не выполняется условие адекватности, то определяются их причины, с целью обеспечения адекватности модели возвращаются к соответствующему пункту для устранения этих причин. Блок-схема алгоритмизации метода НМ приведена в (Приложении Б).

Для реализации вышеописанного второго подхода к разработке моделей в нечеткой среде предлагается следующий метод построения лингвистических моделей на основе логических правил условного вывода.

*Метод построения лингвистических моделей (ЛМ)*

Пункты 1, 2 и 6 данного метода выполняются аналогично выполнению соответствующих пунктов метода НМ, но при этом необходимо учитывать, что входные, режимные параметров являются также нечеткими, т.е. .

1. Определяются и выбираются необходимые для построения модели входные  и выходные  параметры объекта, которые являются лингвистическими переменными (– универсальные множества, т.е. универсумы).

2. Организуется и проводится экспертный опрос по определению терм-множество *Т*(*Х,У*), описывающих лингвистические значения  и, которые характеризуют работу объекта, производимых продуктов и других показателей производства.

3. На основе результатов пункта 2 и с привлечением экспертов строятся функции принадлежности нечетких параметров – ,  ( – нечеткие подмножества ).

4. Формализуется нечеткие отображения , определяющие связь между параметрами  и создается база нечетких правил, на основе которых строятся лингвистические модели объекта.

5. Производится определение нечетких значений выходных параметров объекта и из нечеткого множества решений осуществляется выбор числовых значений решения.

6. Проверяется условия адекватности модели. Если условие адекватности не выполняется (т.е модельные (расчетные) и реальные данные не совпадают с требуемой точностью), то для устранения причин неадекватности и обеспечения адекватности модели вернуться к соответствующему пункту метода.

Дадим дополнительные пояснения к некоторым основным пунктам приведенного метода построения лингвистических моделей.

В пункте 4 лингвистические модели объекта строятся на основе базы правил, которая строится с применением методов экспертной оценки и теорий нечетких множеств. Для удобства базу правил обычно оформляется в виде таблицы, в которой с помощью терм-множеств (построенный в пункте 2) приводятся нечеткие значения входных, режимных параметров и соответствующие им нечеткие значения выходных параметров . На основе данной таблицы можно формализовать нечеткие отображения , позволяющие определить связь между лингвистическими значения параметров . Для формализация нечеткого отображения можно использовать метода логической оценки, в котором эксперты используя терм-множество *Т*(*Х,У*) описывает оцениваемые значения выходных параметров при всех возможных комбинации изменения входных параметров. Такое описание является основой базы правил, которая формализует лингвистических моделей, состоящей из набора вложенных логических правил вида (2.4):



Для терма *р* из терм-множеств нечеткое отображение определяется как декартовое произведение соответствующих универсальных множеств: . Для удобства проведения расчетов необходимо на основе функций принадлежностей нечеткого отображения  построить матрицы нечетких отношений – . В общем случае такая матрица для терма *р* имеет вид:



В пункте 5 метода для определения множества нечетких значений выходных параметров объекта можно использовать композиционного правила вывода:

,

где    − универсумы. На основе данного правила можно определить значения функции принадлежностей выходных параметров по формуле:



Допустим через  − обозначены оцененные экспертами нечеткие значения режимных параметров. Тогда искомое множество, к которому принадлежат текущие значения режимных параметров, определяется как , т.е. множество, в котором значения режимных параметров имеют максимального значения функции принадлежности.

Для определения числовых значений выходных параметров  из множества нечетких решений можно применить следующего выражения: . Таким образом числовые значения выходных параметров выбираются как аргумент максимального значения функции принадлежности выходных параметров.

Для построения функций принадлежностей нечетких параметров в пункте 4 можно применить подход, описанный выше в соответствующем пункте метода НМ. На основе практических опытов можно отметить, что функции принадлежности нечетких параметров объекта удобно аппроксимировать экспоненциальной зависимостью, т.е. функцией принадлежностью гауссово типа:

 (2.5)

В (2.5)  – функция принадлежности нечеткого параметра  множеству , которая характеризует значения выходных параметров; *р* – номер терма;  – параметр, определяемый при идентификации функции принадлежности, означающий уровень нечеткости;  – коэффициенты настройки формы графика функции принадлежности;  – нечеткая переменная, максимально соответствующая терму *р*: .

Применение описанного подхода к определению числового значения выходного параметра  оправдано, в случае острой формы функции принадлежности в районе максимального значения. Если график функции принадлежности более пологий, т.е. в районе максимального значения имеет множество близких по значениям точек, то в качестве числовых значений выходного параметра выбираются их среднее значение.

Блок-схема алгоритма реализации данного метода приведена в (Приложение Б).

**2.4 Экспертные оценки для разработки математического описания ХТС блока гидроочистки в нечеткой среде**

В процессе разработки математического описания сложных ХТС, каким является блок гидроочистки установки каталитического риформинга, который эксплуатируется в долгие годы и не полностью оснащены современными средствами измерения, часто возникают проблемы неопределенности, связанные дефицитом достоверной статистической информации и нечеткостью доступной информации. Причем по разным причинам организация и проведение активных экспериментов для сбора необходимой количественной информации может быть экономически нецелесообразным или невозможным. Для математического описания таких объектов приходиться использовать нечеткую информацию, представляющую собой суждения, умозаключения специалистов-экспертов, ЛПР, получаемую на основе методов экспертных оценок. К методам экспертных оценок относятся методы организации работы с экспертами и обработки полученных оценок, мнений экспертов, которые могут быть выражены в количественной и/или качественной, т.е. нечеткой форме для трудноформализуемых объектов и задач. Полученную экспертную информацию можно использовать для построения математического описания ХТС в условиях неопределенности, а также для принятия решений лицом, принимающим решения при управлении сложными объектами [151].

Известны множество методов экспертных оценок, из которых в зависимости от цели и ситуации выбирается наиболее подходящий. Для проведения экспертной оценки для получения информации, необходимую для построения математических моделей реактора риформинга и колонн блока гидроочистки нами выбраны за основу метод Дельфи, позволяющий исключить конформизм для экспертов, т.е. высказывать свое мнение независимо от авторитетов.

Ниже приведем основные результаты экспертных оценок, проведенных для сбора информацию, необходимую для построения математических моделей реактора и колонн блока гидроочистки установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ. При этом целью проведения экспертных оценок была определение и выбор значимых входные, режимных и выходных параметров исследуемых объектов на основе их степени важности.

В качестве экспертов выбраны старшие операторы, управляющие процессом гидроочистки, инженер-технолог установки, специалисты по КИПиА, обслуживающие блок гидроочистки, а также начальник установки.

На 1-м этапе экспертной оценки эксперты должны были ранжировать по балльной системе входных, режимных параметров объекта по степени влияния их на процесс на количество и качества продукции. А на 2-м этапе экспертной оценки должны были оценить влияние выбранных по рангу на 1-м этапе основных входных, режимных параметров на выходные параметры объекта, т.е. на количество и качественные показатели вырабатываемых на объекте целевых продуктов.

Для экспертной оценки были подготовлены для заполнения экспертам карты экспертного опроса, где даны некоторые пояснения в виде примечания. В анкетах указано, что при необходимости эксперты внесли корректировку в список оцениваемых параметров. Формы разработанных анкет для реактора и колонн блока гидроочистки приведены в (Приложении В).

Таблица 2.2 – Результаты экспертной оценки по определению важности входных, режимных параметров на качество работы реактора и колонн блока гидроочистки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Входные, режимные параметры | Степень (ранг) влияния на продукцию | |
| на количество | на качество |
| *для реактора гидроочистки Р-1* | | |
| объем сырья, т.е. прямогонного бензина | 1+ | 5+ |
| давление в реакторе Р-1 | 3- | 2+ |
| температура в реакторе Р-1 | 5+ | 1+ |
| объемная скорость подачи сырья | 4- | 2+ |
| циркулирующий ВСГ, – отношение водород/углеводороды | 4- | 2+ |
| *для колонн К-1, К-2 и К-3 блока гидроочистки* | | |
| объем сырья на входе колонн | 1+ | 5+ |
| температура на входе | 2+ | 2+ |
| давление в колоннах | 4- | 2+ |
| объем орошения колонны К-1 | 2+ | 3+ |
| Примечания:  1. Ранг, т.е. степень влияния параметров оценены по балльной шкале [1, 2, 3 4 и 5], причем ранг 1 – присвоен параметру, который оказывает самое сильное влияние на количество и качество продукции, ранг 2 – для параметра, который влияние чуть слабее чем параметр с рангом 1, и т.д., ранг 5 – присваивается параметру, который наименее влияет на количество и качество гидрогенизата.  2. При нечеткой оценке рангу 1 соответствует «очень сильно, рангу 2 – «сильно», рангу – 3 «среднее», рангу 4 – «слабое», а рангу 5 – «очень слабое» влияние; + – означает влияние положительное, т.е. увеличивает количество или улучшает качество, а - – наоборот отрицательное влияние | | |

В соответствии с таблицей 2.2, в результате обработки полученной экспертной информации после 5-го тура экспертизы достигнута согласованность мнений экспертов (значение коэффициента конкордации *W=*0,97).

На основе проведённых исследований и результатов экспертной оценки определено, что основными входными и режимными параметрами, влияющие на процесс гидроочистки, на качество работы реактора и колонн являются:

– объем сырья, т.е. прямогонного бензина с установки первичной переработки нефти;

–давление в реакторе Р-1;

–температура в реакторе Р-1;

–объемная скорость подачи сырья;

–циркулирующий ВСГ, отношение водород/углеводороды;

– объем сырья на входе колонн;

–температура на входе колонн;

–давление в колоннах;

–объем орошения колонны К-1.

Таким образом, по результатам экспертной оценки нами выбраны перечисленные входные, режимные параметры, наиболее влияющие на режимы работы оцениваемых объектов и на объем, качества получаемой продукции, которые используются для построения математических моделей реактора и колонн блока гидроочистки.

В процессе экспертной оценки возникли некоторые сложности с определением значимости влияния некоторых параметра на работу объекта и на производимый продукт, с оценкой степени превосходства одного параметра над другим. При этом, хотя эксперты затрудняются или не могут количественно оценить, но могут оценить нечетко, т. е. словесно используя термов сильно, слабо, более, менее и др.

Такая ситуация возникла при проведении 2-го этапа экспертной оценки, когда экспертам предложено оценить влияния входных, режимных параметров, которые выбраны на 1-м этапе, как они влияют на выходные параметры. При оценке на 2-м этапе эксперты по балльной системе оценили, какие входные, режимные параметры влияют на какие выходные параметры, однако не могли или затруднялись количественно оценить, как они влияют на выход и сравнительные веса их влияний. На практике каждого объекта приходиться оценивать по многим критериям, оценивающие качество его работы. В этой связи возникает вопрос о возможности сведения оценки по одному, интегрированному критерию? То есть необходима конкретная, узкая постановка задачи для экспертов, которая сформулировать трудно или невозможно. В качестве альтернативы интегрированного критерия, т.е. единственного обобщенного показателя можно рассмотреть математический аппарат многокритериальной оптимизации, позволяющий определить множества Парето, называемого иначе множеством эффективных решений. Но данный подход, как известно не позволяет определить единственного оптимального решения, для определения такого решения приходится снова привлечь экспертов, ЛПР.

Если с помощью экспертов удается упорядочить оцениваемые объекты, параметры процесса, то возможно глобально сравнить эти объекты или параметры. В этом случае подбирая коэффициентов при отдельных показателях можно обеспечить соответствие упорядочение на основе линейной функции глобальному упорядочению. Но проблема в том, что в таких случаях оценивания указанных коэффициентов с привлечением экспертов не следует. Однако некоторые отдельные составители методик экспертной оценки пытаются заставить экспертов оценить то, что они не в состоянии в некоторых случаях, например, определить веса каждого показателя качества, с которыми они должны учитываться интегрированном, обобщенном показателе.

Таким образом, эксперты, как правило, могут провести сравнение объектов в целом, но вычленить вес, т.е. вклад отдельных факторов в общую оценку не могут. При этом даже если эксперты отвечают на такие вопросы, то полученные ответы не является надежной, правильной информацией и далеко от реальности. Для решения этих проблем в данной диссертации предлагается методика проведения экспертизы на удобном экспертам языке, т.е. на профессиональном, естественном языке используя нечеткие оценки. Результатов такой нечеткой экспертной оценки следует формализовать и обработать на основе методов теорий нечетких множеств. Такая методика является перспективным и эффективным направлением методов экспертной оценки в нечеткой среде [152, 153].

При правильной организации и проведения оценки с привлечением компонентных и экспертов с помощью предлагаемого подхода к проведению экспертной оценки в нечеткой среде можно разработать модели, учитывающие все сложные, не формализуемые связи между различных параметров производственного объекта. Построенные модели на основе такого подхода являются более содержательными, по сравнению с моделями, построенные традиционными методами, и самое важное, позволяют более адекватно описать реальные объекты и задачи, характеризующиеся с нечеткостью исходной информации. Как уже отмечено для эффективной формализации нечеткую информацию, которая представляет собой опыт, знания, интуиции и суждения экспертов об оцениваемом объекте, используются методы теорий нечетких множеств.

В предлагаемой методике нечеткой экспертной оценки, которая позволяет организовать и провести экспертную оценку в нечеткой среде, эксперты оценивают влияния входных, режимных параметров объектов на его выходные параметры нечетко с помощью выбранного заранее терм-множеств. При оценке эксперты использую свои знания, опыт и интуицию. После обработки результатов нечеткой экспертной оценки математическим аппаратом теории нечетких множеств, они используется для разработки математических моделей исследуемого объекта.

В результате 1-го этапа проведенного с применением известного метода Дельфи нами определены и выбраны основные входные, режимные параметры агрегатов блока гидроочистки, влияющие на процесс и продукцию гидроочистки. Целевой продукцией блока гидроочистки установки ЛГ является гидрогенизат, т. е. гидроочищенный от вредных примесей бензин, который далее подается в блок риформинга для повышения октанового числа. Качество гидрогенизата определяется:

– содержанием непредельных углеводородов, которое по ГОСТ 2070–82 должно быть не более, чем 1,0%;

– содержанием серы, которое по ГОСТ 13380-81 не должно быть более, чем 0,00005%;

– содержанием водорастворимых кислот и щелочей по ГОСТ 6370-83 должно быть около 0.

Как видно требования к качественным показателям целевой продукции характеризуются с нечеткостью типа «более» «около» и др.

На 2-м этапе экспертной оценки для решения задачи построения модели основных агрегатов блока гидроочистки проведен экспертный опрос с целью определения степени влияния входных и режимных параметров блока гидроочистки на качество работы объектов, на количество и качество гидрогенизата.

В процессе 2-го этапа экспертной оценки, как уже выше сказано, у экспертов возникли затруднения, связанные с оценкой по балльной шкале степени влияния выбранных входных, режимных параметров на гидрогенизат и его качество и оценкой сравнительных весов их влияний. Проблема в основном связана с трудностями для экспертов количественной оценки значимости влияния каждого входного, режимного параметра на параметры целевой продукции, так как эксперты не мыслят числами, а образами словами, т.е. нечетко. Также оценить степени превосходства одного параметра над другими оказалось невозможным, например насколько -ый параметр лучше по значимости чем другие параметры? В этой связи требовать от экспертов, чтобы они дали количественные оценки, означает ставить их в тупиковую ситуацию. Эксперты могут сравнить различные альтернативы, параметры объекта словесно, давая им словесные оценки типа «приемлемый», «менее значимый по сравнению с…», «сильно или слабо влияет на …», могут упорядочить параметров по важности, однако они не могут оценить, во сколько раз один параметр лучше, чем другой параметр. Иначе говоря, ответы экспертов, оцененные в порядковой шкале, обычно являются ранжировками или результатами сравнений с другими объектами нечисловой формы. На практике такие ответы экспертов часто путем оцифровки представляют, как числа. При этом приписывают нечетким мнениям экспертов численные значения в виде баллов, затем обрабатывают их на основе методов прикладной статистики как данные обычных физических измерений. Но если оцифровка характеризуется произвольностью полученные результаты обработки оцифрованных данных, не соответствуют к действительности.

Для решения данной проблемы применен предлагаемый подход к нечеткой экспертной оценке, так как эксперты могут нечетко оценить влияния входных, режимных параметров на объем и качества гидрогенизата с помощью термов: «очень сильно»; «сильно», «среднее»; слабо», «очень слабо». Известные на практике методы экспертных оценок не могут обработать результаты такой нечеткой оценки.

Таким образом, для решения рассмотренных проблем предлагается методика организации и проведения нечеткой экспертной оценки, не использующая чисел.

По способу проведения оценки такую нечеткую экспертную оценку условно можно разделить на:

1) экспертная оценка, которая проводится на основе заранее составленных шкал, т.е. оценка качественных признаков;

2) экспертная оценка, для которой шкалы заранее не составляются.

1-тип тип нечеткой экспертной оценки использует для оценки значений признаков, которые имеют качественную вариацию. При этом все значения признаков заранее определяются с помощью стандартных термов или выражений принятого терм-множества. Например, для оценки признака «Влияние -го режимного параметра на объем и качество целевой продукции» могут быть выбраны следующие градации: «Показатель объема продукции сильно улучшается, а показатель качество продукции ухудшается; Объем продукции увеличивается, а качество не меняется; Объем производимой продукции не меняется, а ее качество улучшается» и т.д.

Тогда в этом типе нечеткой экспертной оценки оценивая влияния выбранного параметра на объем и качество целевой продукции, эксперт выбирает одну из заранее составленных градаций, т.е. выбирает оценки из набора заранее определенных значений.

Экспертные оценки в нечеткой среде 2-го типа, которые не имеют заранее выбранных шкал, применяются для генерации гипотез. Такие оценки представляются в виде гипотез, предложения, перечня оцениваемых показателей. Нечеткие экспертные оценки при определении перечня ожидаемых или взаимосвязанных событий используются для решения задач создания сценариев и задач прогнозирования, а также нечеткие экспертные оценки этого типа, которые характеризуются выдачей рекомендаций по выбору конкретную последовательность действий, применяются для решения задач управления технологическими объектами.

На практике сложные ХТС нефтепереработки, функционирующие долгие годы, из-за:

– износа, ненадежности, нехватки или отсутствия средств измерения некоторых показателей производства и параметров;

– присутствия человека, являющего активным элементом системы управления, действия которых не формализуемы, собранная информация о системе или некоторая ее часть характеризуется нечеткостью.

Для разработки моделей и оптимизации таких нечетких ХТС требуется разработать процедуру организации и проведения нечеткой экспертной оценки. На основе модификации метода Дельфи, на основе методов теорий нечетких множеств предлагаем следующую процедуру организации и проведения нечеткой экспертной оценки.

Создание процедур оценки данных и выбора решений при наличии нечетких факторов основывается на использования мнений экспертов и тео­рии нечетких множеств.

*Методика организации и проведения нечеткой экспертной оценки (НЭО)*.

Методика организации и проведения НЭО включает в себя следующих пунктов.

1. Произвести категоризацию оцениваемых объектов и/или параметров.
2. Определяется и выбирает термов и терм-множество (лингвистические переменные, которое адекватно описывают состояние объекта и значения параметров в различных условиях.
3. Выбирается более подходящие типы шкал, используемых при оценке объектов и параметров.
4. Составляются карты экспертного опроса и вопросы, определяется способ проведения оценки и проводятся индивидуальные оценки экспертами.
5. На основе анализа исследуемого объекта составляется полный план «мысленных» экспериментов. Составление плана «мысленных» экспериментов аналогично составлению плана экспериментов в методах математического планирования экспериментов. Только вместо количественных данных используются выбранные термы, описывающие их приближенные значения, т.е. значения лингвистических переменных или нечеткие числа.
6. По результатам анализа плана «мысленных» экспериментов эксперты, основываясь на свое знание, опыт и интуиции, отсекают практически нереализуемые и/или приводящие к аварийным ситуациям варианты плана. В случае отсекания таких вариантов плана эксперты должны дать обосновать и указать причины, почему они исключены.
7. По всем остальным вариантам плана эксперты на основе мысленно проведенного варианта экспериментов или на основе своего знания и опыта оценивают результаты реализации каждого эксперимента как они влияют на значения выходных параметров. При этом оценка проводится с использованием выбранных в пункте 2 терм-множества.
8. Если эксперты не уверены при оценке некоторых вариантов плана экспериментов, то эти варианты по возможности реализуются и по полученным результатам оцениваются или проводятся дополнительные экспертизы с привлечением дополнительных экспертов.
9. Проверяется согласованность мнений экспертов, субъективная совместимость признаков и их множества, которое соответствует интуитивному образу объекта. Для этого по известной методике вычисляется значение коэффициента конкордации и проверяется условие близости расчетного значения коэффициента к 1 и , где – табличное значение коэффициента конкордации для заданного уровня. Если данное условие выполняется, что означает оценки, мнения экспертов в основном совпадают, то переход к пункту 11 для обработки полученных результатов.
10. Если условие согласованности оценок экспертов не выполняется, т.е. , то эксперты ознакомятся с оценками других экспертов, участвующих в экспертизе, анализируя их, могут скорректировать свои предыдущие оценки, и повторяется следующий тур. В случае уверенности экспертов в своих оценках им дается возможность обосновать свое решение, и другие эксперты после анализа данного решения могут менять свои оценки. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнута требуемое значение коэффициента конкордации. Для продолжения следующего тура экспертизы переход осуществляется к пункту 7.
11. Обработка результатов экспертной оценки в виде нечеткой информации производится с применением методов теорий нечетких множеств.

При применении предложенной методики необходимо учесть:

– особенности задачи экспертизы, связанные с нечеткостью оценок;

– виды нечетких категорий и способа формирования терм-множеств:

– способа опроса экспертов и обработки полученных нечетких оценок.

На практике в основном используются следующие методы представления нечетких параметров:

– значением функции принадлежности

– значением на выбранной шкале, которое являются множеством фикси­рованных элементов ;

– в табличном виде, в которой в каждом столбце приводятся элемент нечеткого множества и степень его принадлежности к данному множеству;

– в виде аналитической функции.

Более удобными формами представления нечетких параметров являются: параметрическая форма в виде трапеции, треугольника или экспоненциальной кривой гауссово типа. Рассмотренные формы представления нечетких параметров более подходят для получения относительных мер нечеткости.

В приведенной ниже таблице 2.3 приведен фрагмент результатов нечеткой экспертной оценки влияния нечетких входных параметров блока гидроочистки на выходные параметры, нечетко оценивающие объем и качественных показателей целевого продукта - гидрогенизата.

Нечеткие множества, описывающие входные параметры реактора Р-1 и выбранное терм-множество для их представления, а также функции принадлежности каждого терма приведены (Приложение В). Терм-множества и функции остальных входных и выходных параметров построены аналогично.

Таблица 2.3 – Результаты нечеткой экспертной оценки влияния входных, режимных параметров блока гидроочистки на выходные параметры.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Входные, режимные параметры | | | | | | | | | | Выходные параметры | | | |
| *х1 –* объем загрузки сырья | *х2 –* давление в реакторах Р-1 | *х3 –* температура в реакторе Р-1 | *х4 –* объемная скорость подачи сырья | *х5 –* циркулирующий ВСГ | *х6 –* объем сырья на входе е колонн | *х7 –* температура на входе колонн | *х8 –* давление в колоннах | *х9 –* объем орошения колонны К-1 | *x10 –* температура в печи П-1 | *у*1– объем гидрогенизата с блока | *у*2 – содержанием непредельных  в гидрогенизате | *у*3 – содержанием серы в гидрогенизате | *у*4 – содержание водорастворимых кислот и щелочей в гидрогенизате |
| нн | нн | нн | нн | нн | нн | нн | нн | нн | нн | нс | с | нс | с |
| нн | нн | нн | нн | нн | н | н | н | н | н | с | с | с | нс |
| н | н | н | н | н | нн | нн | нн | нн | нн | вн | с | нс | с |
| Примечания:  1. нн –ниже нормы.  2. нс – ниже среднего; нормальный(ая, ое).  3. с – средний(ее).  4. вс – выше среднего.  5. вн – выше нормы | | | | | | | | | | | | | |

Можно отметить, что формальное представление нечетких параметров может быть на основе: непосредственного диалога исследователя с ЛПР, экспертом; диалога ЛПР–компьютер и другими способами. Рассмотренные и другие способы представления нечетких параметров применяются в зависимости от специфики решаемой задачи. Например, способ представления нечетких параметров на основе диалога ЛПР–компьютер более эффективно используются при решении коммуникативных задач, в которых возникают в организационных, экономических системах. Потому что в таких сложных системах ЛПР будет находиться во взаимоотношения с независимыми объектами, которые обладают собственные критерии и ограничения.

**2.5 Разработка моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки риформинга ЛГ**

В этом параграфе на основе полученных результатов исследования и предложенных концепции и методов построения математических моделей технологических объектов в нечеткой среде разрабатываем математических моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки ЛГ-3511/300-95 Атырауского НПЗ. Результаты исследования основных параметров блока на процесс гидроочистки, на количество и качества целевой продукции приведены в разделе 1 в параграфе 1.2.

Для разработки комплекса математических моделей основных агрегатов блока гидроочистки, определяющие зависимость выходных параметров от входных, режимных параметров используем доступную информацию различного характера на основепредложенной концепции построения пакета моделей для системного моделирования технологического комплекса (см. 2.2).

Для разработки *математических моделей реактора гидроочистки*, позволяющие определить объем и качества гидрогенизата с выхода реактора гидроочистки Р-1 используются экспериментально-статистические данные, характеризующиеся вероятностью, и экспертная информация, имеющая нечеткую природу. Для структурной идентификации моделей реактора Р-1 используется идея метода последовательного включения регрессоров, а идентификация параметров моделей производится на основе модифицированного метода наименьших квадратов. Таким образом, комбинированные модели реактора Р-1 блога гидроочистки разработатывются с применением статистических данных и нечеткой информации, обработанные методами математической статистики и теории нечетких множеств.

На основе обработки экспериментально-статистических данных и экспертной информации, а также с помощью метода построения нечетких моделей НМ, предложенного выше в 2.3 проведена структурная идентификация моделей, описывающие качества гидрогенизата, в виде следующих нечетких уравнений множественной регресии [154, 155]:

** (2.6)

где ** − ненасыщенные углеводороды в составе продукции, т.е. гидрогенизата (должно быть не более **1%);

** − сера в составе гидрогенизата (**0,00005%);

** − водорастворимые кислоты и щелочи в составе гидрогенизата (**%);

**сырье, в нашем случае прямогонный бензин (45–80 м3/час.);

** давление в реакторе (20–35 кг/см2);

**температура в реакторе (300-343оС);

**объемная скорость подачи сырья (0,5–5 час-1);

**циркулирующий водородсодержащие газы (ВСГ) – отношение водород/углеводороды (200–500 нм3);

*,*,, *i*= – идентифицируемые нечеткие коэффициенты коэффициенты, соответственно: своводный член; линейные воздействия; квадратные воздействия и взамное влияние. В скобках указаны допустимые нечеткие значения выходных параметров, а также интервалы изменения входных и режимных параметров.

Для идентификации неизвестных параметров (регресионных коэффициентов) модели (2.6): (*i*=, *j*=) и  (*i,k*=, *j*=) − функции принадлежности нечетких множеств, описывающие качества гидрогенизата разделены на следующие множества уровня *α*: *α=*0,5; 0,85; 1. Так как в нашем случае функция принадлежности имеют колокообразный вид, т.е. гауссово типа, получены значения нечетких паракметров на 5 точках *α=*0,5; 0,85 (левые); 1; 0,85; 0,5 (правые). Наблюдены значения входных, режимных  и выходных  параметров для каждого выбранного *α* уровня. Таким образом получены модели, описывающие качественные показатели гидрогенизата в виде множественной регрессии для каждого *α* уровня. Так как, полученные уравнения имеют вид регрессионных уравнений, задача идентификации их неизвестных коэффициентов  могут быть решены с применением известных методов параметрической идентификации, например с помощью метода наименьших квадратов. В диисертации для идентификации коэффициентов регрессии использован пакет приграмм REGRESS, который на основе модифицированных методов наименьших квадратов позволяет определить коэффициентов регрессии линейных и нелинейных регресиионных моделей с любым количеством входных параметров .

Таким образом, после параметрической идентификации математические модели, описывающие влияния входных, режимных параметров  на качество гидрогенизата, т.е. на содержания ненасыщенных углеводородов (**), серы (**) и водорастворимых кислот и щелочей (**) для каждого *α* уровня имеет вид:







Идентифицированные значения коэффициентов ** объединяются с помощью нижеприведенной формулы теорий нечетких множеств:

**или  где **

В полученных моделей регрессоры, которые не имеют влияния на **,** и ** или совсем слабо влияют обнулены, т.е. не приведены.

В результате проведенных исследований и обработки результатов данных определено, что для определения объема гидрогенизата с реактора Р-1 − на основе экспериментально-статистических данных можно построить статистическую модель, которая с помощью нелинейного регрессионного уравнения позволяет оценить значения  (м3/час) от входных и режимных параметров  После идентификации структуры и параметров этой модели, аналогично вышеописанному подходу математическая модель, позволяющие определить объем гидрогензата с выхода реактора Р-1 имеет вид:

**

**

**

**

График зависимости выхода гидрогенизата от температуры в реактора  при фиксированных значениях входа сырья и остальных режимных параметров: , , и  приведен на рисунке 2.3.

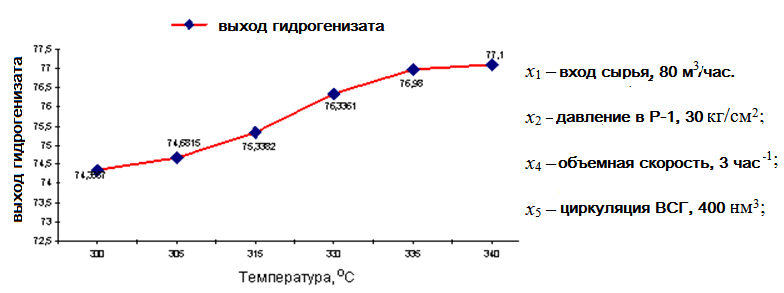


Рисунок 2.3 – График зависимости ** при постоянных , , и 

С целью определения оптимальной температуры процесса гидроочистки на основе предложенного выше методо ЛМ построена лингвистическая модель. Полученная лингвистическая модель реализует логическую зависимость:

«Если сырье *тяжелое*, то температура процесса *низкая*, иначе если сырье *лекое,* то температура процесса *высокая*»

На основе экспертной оценки и предложенной выше формулы (2.5) в виде экспоненциальной зависимости идентифицированы функции принадлежности, описывающие нечеткие параметры лингвистической модели:

– ** – *тяжелое* (термическая устойчивость низкая) сырье – прямогонный бензин;

– ** – *легкое* сырье;

– **– *низкая* температура;

– ** – *высокая* температура.

Таким образом, структура лингвистической модели, оценивающей оптимальной температуры в зависимосчти от качества сырья:

** ** ,

определена с помощью логических правил условного вывода:

**

В полученной лингвистической модели введены следующие обозначения: *ts, ls, nt, vt* – соответственно, «тяжелое сырье»; «легкое сырье»; «низкая температура» и «высокая температура»; *,* − соответственно, входные и выходные лингвистические переменные, которые описывают качество сырья и оптимальной температуры процесса гидроочистки; *, −* нечеткие подмножества, описывающие ** и *.* Реализация полученной лингистической модели рассматриввается в разделе 4 данной работы.

Приводим результаты разработки *математических моделей колонн* *К-1, К-2 и К-3*, которые также относятся к основным агрегатам блока гидроочистки.

Отпарная колонна К-1 блока гидроочистки предназначена для выделения пары воды и сероводорода из продукции, т.е. из гидрогенизата. Состав сернистых соединений в продукции не должно превышать 0,0005% мас. Колонна К-2 являющаясы абсорбером, предназначена для очистки из углеводородных газов водорода. А в абсорбере К-3 блока гидроочистки происходит очистка сероворода из углеводородных газов.

В результате исследования режимов работы колонн К-1, К-2, К-3 и анализа данных, а также с учетом дополнительной нечеткой информации полученной от экспертов для разработки моделей этих колонн принято решение использовать гибридный метод разработки моделей [153, р. 748-757].

На основе данных исследования работы колонн К-1, К-2 и К-3 и результатов экспертной оценки выделены следующие входные () и выходные () параметры, описывающие режимов их работы: **объем сырья на входе колонн;**температура на входе;** давление в колоннах; ** объем орошения колонны К-1; **объем гидрогенизата с выхода колонны К-1;**объем ВСГ с выхода колонны К-2;**объем углеводородседержащего газа с выхода колонны К-3; **состав сернистых соединений гидрогенизата, качество продукта К-1; **состав ВСГ, качество продукта колонны К-2; **состав углеводородседержащего газа, качества продукта колонны К-3.

Входные параметры колонн **, т.е. расходы сырья, температура на входе, давление в колоннах и объем орошения колонны К-1, и выходные параметры *,* описывающие объемы продуктов на выходе колонн являются измеряемыми параметрами. Это означает, что можно собрать статистических данных об этих параметрах.А показатели качества вырабатываемых в колоннах К-1, К-2 и К-3 продуктов: ** описываются нечетко. Поэтому эти нечеткие показатели качества оцениваются экспертами и формализуются методами теорий нечетких множеств.

Таким образом, структуры математических моделей отпарной колонны К-1, абсорберов К-2 и К-3 блока гидроочистки идентифицированы на основе метода последовательного включения регрессоров и его модификации в виде следующих нелинейных регрессионных и нечетких регрессионных уравнений:

** (2.7)

** (2.8)

Идентификация параметров, т.е. коэффициентов регресии * * регрессионных моделей (2.7) проведена на основе метода наименьших квадратов с использованием статистических данных объекта. Для идентификации нечетких параметров ** нечетких регрессионных моделей (2.8) на основе множества уровня *α* нечеткие уравнения преобразованы на набор четких уравнений, эквивалентные исходным нечетким уравнениям. Затем аналогично процедуру идентификации нечетких параметров модели (2.6) реактора Р-1, на основе метода наименьших квадратов по критерию минимизации рассогласования между модельными и реальными данными, идентифицированы нечеткие коэффициенты для различных уровней множества *α.*

Для определения объема целевой продукции колонны К-1, т.е. гидрогенизата после параметрической идентификации модели (2.6) при **1 получены следующие результаты:



Также с применением методов последовательного включения регрессоров и наименьших квадратов идентифицированы структуры (2.8) и параметры абсорберных колонн К-2 и К-3, т.е. определены объем ВСГ с абсорбера К-2 (**) и выход углеводородсодержащего газа с колонны К-3 (**):

;



.

Аналогично идентификации парамеитров нечетких моделей, оценивающие качества гидрогенизата  (2.6) идентифицируются нечеткие параметры моделей  (2.8), оценивающие качества продуктов с К-1, К-2 и К-3.

*Математические модели печи гидроочистки П-101* блока гидроочистки. Цилиндрическая печь гидроочистки П-101 предназначена для подогрева продукта гидроочистки, т.е. гадрогенизата до требуемой регламентом температуры. По результатам исследования и анализа выделены следующие основные параметры, которые влияют на работу печи П-101 и на процесс гидроочистки:

– расход,объем сырья на входе печи П-101, в интервале 60÷80 м3/час.;

*– *температура на входе печи П-101, в пределе 170÷190оС;

*– * давление в печи П-101, в интервале 40÷43 кг/см2.

В результате анализа собранных данных и исследования режимов работы печи гидроочистки для разработки ее модели выбран экспериментально-статистический метод. Оптимальный режим работы печи можно выбрать на основе математической модели, описывающей влияние входных переменных на выходные параметры, т.е. позволяющей получить информацию о тепловой работе печи. Математическое описание, которое является основой математической модели, должно определить параметров тепловой работы печи.

Основной недостаток используемых до настоящего времени методов расчета печей заключается в том, что в этих методах определяют только интегральные показатели процесса теплообмена, не определяют возможность прогрева труб печи. В последние время предложены методы моделирования, основанные на теоретические исследования, позволяющие определить локальные показатели теплообмена, например, зональный метод. В математическом плане смысл метода зонального расчета: замена описывающих процесс теплообмена интегрально-дифференциальных уравнений, с аппроксимирующей их ограниченной системой алгебраических уравнений. Путем решения полученных алгебраических уравнений определяются энергетические характеристики теплообмена, т.е. температура и потоки локальных зон. С этой целью печи исследования разделяются на ограниченное число площадных и объемных зон, имеющих одинаковые радиационные свойства. Данный подход при расчете печи может обеспечивать достаточную точность, для повышения точности необходимо увеличить число зон. Однако данный способ является достаточно сложным и сбор необходимой информации для его применения на практике также затруднен.

Для моделирования работы промышленных печей в диалоговом режиме и оперативного получения необходимой информации и результатов требуются несложные модели. По этой причине за основу алгоритма моделирования можно использовать аналитический метод Н.И. Белоконя, основанного на совместное решение уравнении теплопередачи и теплового баланса [153, р. 748-757].

Для расчета выходных параметров печи гидроочистки П-101 на основе статистических и экспериментальных данных идентифицированы регрессионные модели. При этом закон распределения случайных измерений  принимается близко к нормальному закону, т.е.  . Таким образом, структура модели, оценивающие выход печи гидроочистки: объема смеси сырья и газа и температуры выходного потока из печи, идентифицированы в виде следующих нелинейных регрессионных уравнений:

** (2.9)

В модели (2.9) приняты следующие обозначения: ** параметры модели, которые должны быть идентифицированы, для их оценки можно использовать известного метода наименьших квадратов; **− режимные параметры печи П-101, соответственно: объем сырья (**); температура на входе печи (**) и давление в печи П-101 (**).

Результаты идентификации регрессионных коэффициентов модели (2.9) с применением обработанных статистических данных и с помощью программы REGRESS:





В результате системного анализа и экспертных оценок определены, что для теплообменников и сепараторов блока гидроочистки соответственно наиболее эффективными являются разработка статистических и детерминированных моделей с применением соответствующих методов (таблицу 2.1).

Моделируя различные режимы работы основных агрегатов блока гидроочистки и анализа их результатов, можно подобрать эффективный режим его работы, который обеспечивает оптимальные значения входных параметров (критериев), например, максимизации объема гидрогенизата с наилучшими значениями качественных показателей.

Сравнения результатов моделирования и выбора эффективного режима работы блока гидроочистки на основе известных и построенных моделей и реальных экспериментальных данных с блока гидроочистки Атырауского НПЗ приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 − Результаты сравнения данных полученных с известными моделями, разработанными моделями и реальных, экспериментальных данных с блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Выходные и входные параметры | Известные модели\* | Разработанные модели, учиты вающие нечеткую информацию | Реальные, эксперимен тальные данные |
| Выход гидрогенизата с реактора R-1, м3/час | 76 | 77,5 | 77 |
| Ненасыщенные углеводороды в гидрогенизате, *,*  % | - | 0,97 | (0,98)Л |
| Сера в составе гидрогенизата,  , % ; | - | 0,00005 | (0,00005)Л |
| Водорастворимые кислоты и щелочи в составе гидрогенизата,  *,* %; | - |  | ()Л |
| Объем сырья на входе R-1, *,*м3 /час; | 83 | 80 | 80 |
| Давление в R-1, *,* кг/см2; | 30 | 30 | 30 |
| Температура в R-1, *,* оС | 345 | 340 | 340 |
| Объемная скорость, , час-1 | 3 | 3 | 3 |
| Циркуляция ВСГ, *,* нм3. | 420 | 400 | 400 |
| \* – Составлено по источнику [154, с 172-185]  Примечания:  1. (-) – означает, что соответствующие параметры не определяются данным методом.  2. ()Л  – означает, что эти данные определены с участием людей в лаборатории завода | | | |

Анализ полученных и приведенных в таблице 2.4 данных позволяет сделать вывод о преимуществе результатов моделирования с помощью разработанных моделей с учетом нечеткой информации по сравнению с известными детерминированными подходами, так как при этом результаты моделирования более точно совпадают с реальными (экспериментально-производственными) данными.

Кроме того, с помощью предложенного подхода определяются качественные показатели продукции, которые описываются нечетко (, , **), которые не могут быть определены традиционными методами моделирования.

**Выводы по разделу 2**

1. Приведено описание блока гидроочистки установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ, являющегося объектом исследования и управления в диссертационной работе.Установлено, что, так как основные агрегаты блок гидроочистки установки ЛГ Атырауского НПЗ функционируют в условиях неопределенности, связанной со случайностью и с нечеткостью исходной информации, при постановке и решении задачи моделирования и оптимизации режимов их работы, могут возникнуть проблемы, связанные с дефицитом и нечеткостью исходной информации. В этих условиях постановка и решения рассмотренных задач с помощью традиционных методов не обеспечивает адекватных решений. Поэтому предлагается в этих условиях применить нечеткие и комбинированные подходы.

2. Предложена концепция построения пакета моделей для системного моделирования ХТС на примере технологического комплекса блока гидроочистки. Концепция основана на системном подходе к решению задачи, использующий доступную исходную информацию различного характера и построению взаимосвязанных моделей отдельных агрегатов ХТС, объединенные в единый пакет. Суть концепции в том, что сначала по результатам анализа и оценки возможных моделей каждого агрегата на основе предложенных критериев строятся выбранные типы моделей. Затем построенные модели для описания работы блока гидроочистки в целом объединяются в единый пакет моделей в соответствии с протеканием процесса. Приведена схема объединения моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ в едный пакет моделей.

3. Описаны подходы и предложены методы построения моделей технологических объектов в условиях неопределенности и нечеткости исходной информации. Разработанные в работе методы разработки математических моделей технологических объектов, функционирующих в условиях нечеткости исходной информации, позволяют построить нечетких моделей при четких входных и нечетких выходных параметров объекта (метод НМ) и лингвистических моделей при нечетких значения входных и выходных параметров объекта (метод ЛМ). Метод построения нечетких моделей основан на использовании методов последовательного включения регрессоров (для структурной идентификации модели) и модифицированного метода наименьших квадратов с применением множества уровня *α* (для идентификации параметров модели)*.* Метод построения лингвистической модели основан на использование логических правил условного вывода и лингвистических переменных, которые описывают входных и выходных параметров объекта.

4.Исследованы подходы к решению проблем, возникающие при проведении экспертных оценок с целью сбора информацию, необходимую для разработки математического описания ХТС, какой является блок гидроочистки, характеризующийся нечеткостью некоторой части исходной информации. Приложена методика организации и проведения экспертной оценки в нечеткой среде.

5. На основе предложенной концепции и методов построения моделей ХТС в нечеткой среде разработаны модели основных агрегатов блока гидроочистки установки риформинга ЛГ: реактора риформинга Р-1, печи риформинга П-101 и колонн К-1, К-2, К-3. Для определения объема гидрогенизата т.е. целевой продукции с выхода реактора гидроочистки Р-1 с помощью методов последовательного включения регрессоров и наименьших квадратов на основе пакета экспериментально-статистических данных и пакета программ REGRESS построена статистическая модель, позволяющае определить объем гидрогензата с выхода реактора реактора в зависимости от входных, режимных параметров. Так как исходная информация для оценки качества производмого гидрогенизата характеризуется нечеткостью, для построения моделей оценки качества гидрогенизата применен системный подход с использованием методов экспертных оценок и теорий нечетких множеств. Проведена экспертная оценка влияния входных и режимных параметров на качественные показатели гидрогенизата. Затем обрабатывая собранных данных и экспертной информации с помощью предложенного метода НМ идентифицирована структура нечетких моделей, описывающие качества продукции реактора Р-1 в виде нечетких уравнений множественной регресии. Для моделирования работы печи гидроочистки П-101 для оперативного получения необходимой информации и результатов предлагается использовать аналитический метод, который основывается на совместное решение уравнении теплопередачи и теплового баланса. Простроены статистические модели, позволяющие определить выход печи гидроочистки: объема смеси сырья и газа и температуры выходного потока из печи, в виде нелинейных регрессионных уравнений. Для определения оптимальной температуры процесса гидроочистки на основе экспертной информации и логического правила условных выводов и базы правил построена лингвистическая модель, оценивающая оптимальную температуру в зависимости от качества сырья и давления печи.

3 ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ БЛОКА ГИДРООЧИСТКИ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИХ РЕШЕНИЯ

3.1 Формализация и постановка задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки на основе математических моделей

Результаты, оценивающие качество работы технологических объектов производства, обычно оцениваются по вектору показателей, которые являются локальными критериями. Локальные критерии в основном являются экономико-экологическими и технологическими. Для эффективного управления режимами работы таких технологических объектов необходимо значения этих критериев оптимизировать, т.е. обратить их в экстремум (максимальные или минимальные значения в зависимости от содержания критерия). Таким образом, для решения задач оптимального управления режимами работы объектов приходиться решать задачу многокритериальной оптимизации по заданным критериям. Так как эти критерий экономико-экологического характера в области эффективных решений являются противоречивыми рассмотренные задачи ставятся и решаются на основе математических моделей управляемого объекта как задачи принятия решений по управлению режимами работы объекта.

Так как ХТС, какими являются блок гидроочистки, характеризуется большим числом и многообразием параметров, определяющих течение процессов гидроочистки, множеством внутренних взаимосвязей параметров технологических агрегатов, математически не формализуемым действием человека-оператора, задачи оптимизации их параметров значительно усложняются. Также в процессе решения задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки часто возникает проблемы, связанные с наличием противоречивых и нечетко описываемых критериев, которые оценивают качество работы блока. Потому что основными источниками информации для решения задач принятия решений является человек-оператор (ЛПР, эксперты, предметной области) т.е. его опыт, знания, и интуиция, выражаемые на естественном языке нечетко в виде суждение, умозаключения.

Приведем результаты формализации и математической постановки задач принятия решений по управлению режимами работы ХТС в условиях проблем многокритериальности и нечеткости доступной информации. Рассмотрим формализацию и математическую постановку задач принятия решений по эффективному управлению режимами работы блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ на основе математических моделей агрегатов блока.

Таким образом при управлении режимами работы блока гидроочистки приходиться учитывать нечеткость некоторой части исходной информации и многокритериальность задачи, так как необходимо максимизировать объем целевой продукции и улучшить ее качественных показателей и минимизировать затраты, эти критерии в области эффективных решений являются противоречивыми. В связи с эти задачу управления процессом гидроочистки следует сформулировать в виде задачи принятия решений в нечеткой среде, решение, которое позволяет найти оптимальный режим работы блока гидроочистки, который позволяет достигнуть экстремальных значений критериев управления. При решении сформулированной задачи определение значений критериев осуществляется на основе математических моделей процесса, позволяющие описать зависимость критериев (объем и качества продукции) от входных, режимных параметров технологических объектов блока гидроочистки.

Для формализации и математической постановки задачи принятия решений по оптимальному управлению режимами работы блока гидроочистки в нечеткой среде, как отмечено в разделе 1, используются методология системного анализа, методы теорий принятия решений, нечетких множеств и экспертных оценок.

Как уже описано выше в блоке гидроочистки очищенный от вредных примесей бензин, т.е. гидрогенизат, являющейся целевым продуктом, получается на выходе реактора гидроочистки Р-1 и характеризуется объемом и качеством. В результате исследования определено, объема катализата можно определить на основе модели Р-1, разработанная на основе экспериментально-статистических, а качественные показатели гидрогенизата, так как характеризуются нечеткостью, определяются на основе нечеткой модели построенные в параграфе 2.5. Для решения задачи принятия решений по управлению процессом гидроочистки в нечеткой среде можно использовать этих моделей ректора гидроочистки Р-1.

Для формализации задачи принятия решений по управлению режимами работы Р-1 введем следующие обозначения:

− , вектор критериев оптимизации режима работ реактора гидроочистки, обеспечивающий оптимизацию процесса гидроочистки;

−, объем производимого гидрогенизата;

− , качественные показатели гидрогенизата, а именно содержание ненасыщенных углеводородов (),содержание серы и водорастворимых кислот и щелочей в гидрогенизате ().

Эти локальные критерии, характеризующие количество и качество продукции, зависят от вектора входных, режимных параметров  с помощью которых управляется процесс. Такими параметрами являются: **расход сырья, т.е. объем прямогонного бензина на входе Р-1; ** давление в реакторе Р-1; ** температура в реакторе Р-1 и ** объемная скорость подачи сырья; ** отношение водород/углеводороды, т.е. циркулирующий ВСГ. Значения этих входных, режимных параметров ограничены и их значения могут меняться в определенных интервалах, задаваемые технологическим регламентом: **, где  – нижний и верхний пределы изменения параметра ** Эти ограничения, интервалы изменения могут быть нечеткими ().

Следует отметить, что локальные критерии, оценивающие качества гидрогенизата, т.е. , и  описываются нечетко, например с нечеткой инструкции типа: чем «меньше» заданного по стандарту порогового значения, тем «лучше».

Требуется принимать решение по оптимальному управлению режимами работы реактора гидроочистки, позволяющий обеспечивать экстремальные значения критериев соблюдая выполнения всех требований наложенных ограничений.

Математическую постановку формализованной задачи управления режимами работы реактора гидроочистки в общем виде можно записать как задача принятия решений в нечеткой среде:

 (3.1)

 (3.2)

Решением данной задачи принятия решений является значение вектора управляющих параметров  которые обеспечивают наилучшие значения критериев , удовлетворяющие ЛПР.

При наличии нечеткости всех или некоторых элементов приведенной задачи (например, нечеткие критерии или ограничения, нечеткие веса критериев и ограничений) приведенная задача называется задачей принятия решений в нечеткой среде. Известны ряд работ [106, с. 25-27; 111, с. 47], в которых рассмотрены методы решения таких задач. В этих и других работах в основном, рассматриваются однокритериальные случаи, при решении задачи принятия решений, не обеспечивается гибкость в учете предпочтения ЛПР. В основном для решения исходной нечеткой задача на этапе постановки исходная нечеткая задача преобразуется к системе эквивалентных четких задача. При этом существенная часть собранной нечеткой информации теряется.

На практике часто нечеткие факторы в виде нечетких высказываний и суждения являются более привычными и удобными для человека. Кроме того, свести нечеткого описания к эквивалентному четкому описанию не всегда возможно или даже возможно часто экономический нецелесообразно. В этой связи, в данной диссертации предложен наиболее перспективный и эффективный подход, основанный на разработке методов принятия решений, приспособленные к человеческому языку, его процедурам принятия решений, которые ставятся и решаются в нечеткой среде, не преобразуя их к эквивалентным четким задачам. Такой подход позволяет не теряя, а максимально используя доступную информацию нечеткого характера получить более адекватные и эффективные решения.

С целью получения математической постановки задачи формализованной задачи (3.1)-(3.2) в нечеткой среде примем следующие обозначения и допущения.

Допустим, что  – нормализованные локальные критерии , принимающие значения в интервале [0,1] и критериями управления процессом гидроочистки. Пусть для каждого нечеткого ограничения  построена функция принадлежности, оценивающие их степень выполнения . Примем, что известны или могут быть определены ряд приоритетов для критериев  и ограничений , либо весовые векторы, отражающие взаимную важность критериев  и ограничений .

В этих условиях модифицируя различных принципов оптимальности, компромиссных схем с целью адаптации их для работы в нечеткой среде можно получить различные постановки задач принятия решений в нечеткой среде в виде задач нечеткого математического программирования и разработать методов их решения. Например, рассмотрим случай, когда из вектора критериев можно выделить одного в качестве главного, а для нечетких ограничений есть возможность применить идею метода максимина. Тогда модифицируя идеи методов *главного критерия* (ГК) и *максимина* (ММ) для работы в нечеткой среде задачу принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки (3.1)−(3.2) можно записать в виде следующей задачи нечеткого математического программирования (НМП:

 (3.3)

, (3.4)

где − логический знак «и», который требует, чтобы все связываемые им утверждения были истинными,

– граничные значения для локальных критериев , задаваемые ЛПР. Область определения переменных  и выполнения нечетких ограничений определяется на основе принципа максимина (гарантированного результата).

В такой постановке задачи меняя  и вектора важности ограничений  можно получить семейство решений задачи (3.3)−(3.4): . Выбор наилучшего решения производится в итеративном режиме на основе диалога с ЛПР.

Разработанный эвристический метод решения задачи принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга предлагается и описывается в следующем параграфе.

Далее рассмотрим другие постановки задачи принятия решений по управлению режимами работы ХТС в зависимости от сложившиеся производственных ситуаций и имеющейся, доступной информации. Допустим количество критериев не более 5±2 и ЛПР могут выбрать наилучшего решения из множества Парето и известны или можно определить координаты идеальных точек, значения нечетких ограничений. Тогда на основе использования идеи принципа *Парето оптимальности* и метода *идеальной точки*, адаптируя их на случай нечеткости исходной информации, задачу принятия решений (3.1) − (3.2) можно записать в виде следующей задачи НМП:

(3.5)

(3.6)

где – выбранная метрика, используемая для определения расстояние от текущих значений ограничений до идеального его значения; , . Если функции принадлежности нечетких ограничения нормальные, то в качестве координат идеальной точки можно использовать единиц, т.е. – вектор весовых коэффициентов, который отражает взаимную важность частных критериев.

Разработанный в данной диссертации на основе модификации принципа Парето оптимальности (для критериев) и метода идеальной точки (для нечетких ограничений) эвристический метод решения задачи (3.5)−(3.6) приводится в параграфе 3.2.

Далее приводим постановки задачи принятия решений применительно для управления режимами работы бока гидроочистки на основе использования идеи принципов абсолютной (АУ) или относительной уступки (ОУ), а также принципа Парето оптимальности:

В задаче (3.7)−(3.8) – как и в задаче (3.3)−(3.4) логический знак «и», и – весовые коэффициенты, отражающие взаимную важность локальных критериев и нечетких ограничений. Остальные обозначения описаны выше при формализации задачи.

В заключении отметим, что в данном параграфе проведена формализация и получены различные постановки задач принятия решений в нечеткой среде применительно для решения задач управления режимами работы блока гидроочистки на основе его математических моделей. Показано, что в зависимости от наличия и доступности исходной информации и производственной ситуации используя идею различных компромиссных схем и математического аппарата теорий нечетких множеств можно сформулировать различные постановки задачи принятия решений. Постановка и решения задачи принятия решений по управлению режимами работы ХТС зависят от сложившейся ситуации на производстве и исходной информации, что являются одним из новизны данной работы. То есть у ЛПР появиться возможность выбора постановки и решения задачи принятия решений в нечеткой среде в зависимости от имеющаяся или доступной для него исходной информации. Приведены конкретные постановки задачи принятия в нечеткой среде в виде задач НМП для управления режимами работы блока гидроочистки.

**3.2 Разработка эвристических методов решения поставленных задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга с использованием исходной нечеткой информации**

В этом параграфе разрабатываем набор эвристических методов, сформулированных в предыдущем параграфе многокритериальных задач принятия решений с нечеткими ограничениями по управлению режимами работы объекта исследования. Предлагаемые методы будут основываться на модификацию идеи различных компромиссных схем, принципов оптимальности принятия решений, для адаптации их для работы в нечеткой среде.

Для решения задачи принятия решений в нечеткой среде в постановке (3.5)-(3.6) сформулированной выше разрабатываем эвристический метод на основе модификации методов главного критерия (МС) и максимина (ММ) для работы в нечеткой среде. Предлагаемый метод реализуется с привлечением ЛПР (человека-оператора, экспертов), в котором ЛПР определяет и выбирает главный критерий, который будет оптимизироваться, а остальные локальные критерии вводятся в состав ограничения. Для ввода остальных критериев в состав ограничения, сначала с помощью ЛПР, экспертов назначаются их граничные значения и эти критерии представляются как ограничения. Выполнения в условиях нечетких ограничений оцениваются на основе функций принадлежности этих ограничений . Для учета важности каждого ограничения с помощью ЛПР вводятся весовой вектор , где − весовые коэффициента отдельных ограничений.

Разработанный эвристический метод решения задачи принятия решений в нечеткой среде (3.3)–(3.4), основанный на использование знания, опыта, творческого мышления ЛПР в алгоритмизированном виде состоит из следующих основных шагов:

*Эвристический метод МС+ММ,* основанные на использование принципов главного (MC) критерия и максимина (MM):

Шаг 1. Определяется количество шагов для каждой координате *q*: и ряд приоритета для частных критериев  где *L* и *m* − количество ограничений и критериев. При этом главному критерию должен присваиваться приоритет 1.

Шаг 2. С учетом мнений ЛПР, экспертов задается весовые коэффициенты , т.е. весовой вектор, отражающий взаимную важность ограничений

Шаг 3. С помощью ЛПР задаются граничные значения для частных критериев (кроме первого), которые учитываются в составе ограничений

Шаг 4. Вычисляются  − длины шагов, используемые при изменении координат вектора .

Шаг 5. Варьируя координат в интервалах [0,1] с шагом строятся весовые вектора  где .

Шаг 6. На основе экспертной оценки определяется и выбирается терм-множество  которое нечетко описывает параметры объекта.

Шаг 7. С привлечением ЛПР, экспертов строятся функции принадлежности, оценивающие степени выполнения нечетких ограничений

Шаг 8. На основе математической модели производится поиск максимума главного критерия (3.3) на допустимом множестве *Х,* которое определяется по принципу максимина (3.4). При этом определяются текущие решения:   

Шаг 9. Полученные результаты для анализа и принятия окончательного решения предъявляется ЛПР. Если текущие решения удовлетворяют ЛПР, то перейти для вывода окончательных решений перейти к шагу 10. Иначе, т.е. в случае если текущие результаты не удовлетворяют ЛПР, то им корректируются значения и/или и осуществляется возврат к шагу 3.

Шаг 10. Выводятся лучшие результаты, которые выбраны ЛПР, а именно: вектор который обеспечивает максимальное значение главного критерия , удовлетворительные значения локальных критериев с учетом их заданных граничных значений и максимальные степени выполнения нечетких ограничений ,…,.

Далее приведем основные шаги алгоритмизации разработанного эвристического метода на основе методов Парето оптимальности и идеальной точки, которые адаптированы для нечеткости.

*Эвристический метод PO+PP,* основанные на использование принципов Парето оптимальности (PO) и идеальной точки (PP):

Шаг 1. ЛПР, экспертами задается значения вектора весовых коэффициентов который отражает взаимную важность частных критериев.

Шаг 2. ЛПР, экспертами выбирается термы терм-множества , которые описывают нечеткие параметры объекта.

Шаг 3. С привлечением ЛПР, экспертов строятся функции принадлежности, оценивающие степени выполнения нечетких ограничений

Шаг 4. Вычисляются или задаются координаты идеальной точки, где ограничение соблюдается полностью. Для определения координат идеальных точек необходимо найти максимальные значения функции принадлежности Если эти функции принадлежности являются нормальными, то в качестве координат идеальной точки задается единицы, т.е.

Шаг 5. Для определения расстояния между текущими значения функции принадлежностей и определяется вид метрики −

Шаг 6. На основе математической модели производится максимизация интегрированного критерия (3.5) на допустимом множестве *Х,* которое определяется на основе метода идеальной точки (3.6). Определяются текущие решения:

Шаг 7. Полученные результаты для анализа и принятия окончательного решения предъявляется ЛПР. Если текущие решения удовлетворяют ЛПР, то перейти для вывода окончательных решений к шагу 8. Иначе, т.е. в случае если текущие результаты не удовлетворяют ЛПР, то им корректируются значения вектора и/или выбирается другой вид метрики и осуществляется возврат к предыдущему шагу.

Шаг 8. Выводятся лучшие результаты, которые выбраны ЛПР, а именно: вектор и такие которые обеспечивает максимальное значение интегрированного критерия , и максимальные степени выполнения нечетких ограничений ,…,.

Как видно решение, полученное по этому методу зависит от вектора и от вида выбираемой метрики соответственно подбирая их можно реализовать поиск лучших решений в диалоговом режиме.

Теперь рассмотрим основные шаги алгоритмизации метода на основе схем компромиссов с использованием принципов абсолютной или относительной уступки (для критериев) и Парето оптимальности (для ограничений), используемый для решения задачи принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки.

*Эвристический метод AorRA+PO,* основанные на использование принципов абсолютной или относительной уступки (AorRA) и Парето оптимальности (РО):

Шаг 1. Задается значения вектора весовых коэффициентов который отражает взаимную важность частных критериев.

Шаг 2. Если и/или то для них определяется термы терм-множества и строятся функции принадлежности.

Шаг 3. ЛПР, экспертами выбирается термы терм-множества , которые описывают нечеткие параметры объекта.

Шаг 5. С привлечением ЛПР, экспертов строятся функции принадлежности, оценивающие степени выполнения нечетких ограничений

Шаг 5. Задается значения весовых коэффициентов в виде вектора , отражающие взаимную важность нечетких ограничений

Шаг 6. На основе математической модели производится максимизация интегрированного критерия в случае абсолютной уступки или в случае относительной уступки (3.7) на допустимом множестве *Х,* которое определяется на основе принципа Парето оптимальности (3.8). Определяются текущие решения:

Шаг 7. Полученные результаты для анализа и принятия окончательного решения предъявляется ЛПР. Если текущие решения удовлетворяют ЛПР, то перейти для вывода окончательных решений к шагу 8. Иначе, т.е. в случае если текущие результаты не удовлетворяют ЛПР, то им назначаются новые значения векторов и/или и осуществляется возврат к шагу 6.

Шаг 8. Выводятся лучшие результаты, которые выбраны ЛПР, а именно: вектор и такие которые обеспечивает максимальное значение интегрированного критерия , и максимальные степени выполнения нечетких ограничений ,…,.

В заключительной части данного параграфа можно отметить, что разработан набор эвристических методов и описаны основные шаги их алгоритмизации. Предложенные методы могут быть эффективно использованы при решении задач принятия решений по управлению режимами работы ХТС нефтеперерабатывающего и других производств в условиях нечеткости исходной информации.

В полученных выше в данном разделе постановках задач принятия решений в нечеткой среде и предложенных эвристических методах их решения реализована идея использования доступной нечеткой информации путем модификации различных схем компромиссов, использованием аппарата теорий нечетких множеств. Полученные в диссертации постановки задачи принятия решения в виде многокритериальных задач НМП и методы их решения являются обобщением и адаптацией многокритериальных задач оптимизации для работы в нечеткой среде. Предложенные методы являются работоспособными и в частных случаях, когда задача описывается количественной (четкой) информацией (приравняв функции принадлежностей к единицам), т.е. являются более универсальными, независимыми от характера исходной информации.

**3.3 Основные свойств предложенных эвристических методов решения задач принятия решений в нечеткой среде и методика выбора конкретного метода в зависимости от производственных ситуаций**

В этом параграфе приведем результаты исследования основных свойств, разработанных в 3.2 эвристических методов решения задач принятия решений в нечеткой среде и созданную методику выбора конкретного метода в зависимости от производственных ситуаций.

*Работоспособность методов.*Это свойство предлагаемых методов решения задачпринятия решений в нечеткой среде определяется доступностью и однозначностью, запрашиваемой у ЛПР информации для него. Поэтому предлагается несколько вариантов постановки задач принятия решений, которые ориентированы различные ситуации и требует различную исходную информацию для их решения. ЛПР имеет возможность в зависимости от доступности какого рода информации требуется выбрать соответствующий метод. В общем виде запрашиваемая информация для выделения главного критерия, назначение весов коэффициентов критериев и ограничений, описание нечеткости и др. обычно доступна для опытных ЛПР, экспертов. А профессиональный язык, который используется в процессе ведения диалога между ЛПР человеком и системой поддержки принятия решений в процессе решения задачи, должен быть регламентированным, составленный так, чтобы исключить синонимов и омонимов, являющиеся источником неоднозначности.

Для определения и оценки работоспособности разработанных методов составляются программы, который на компьютере реализуют оцениваемый метод. Затем проводится на компьютере вычислительный эксперимент, с учетом различных факторов, которые влияют на результат работы метода. Например, нами для оценки работоспособности предложенных методов они на компьютере испытаны при решении различных тестовых задач производственного характера по принятию решения при управлении режимами работы блока гидроочистки. Проведена проверка адекватности решения, т.е. соответствие результатов программы с реальными производственными данными и суждениями ЛПР. Кроме того, оценены время, необходимое для получения конечных результатов, простота и удобства применения методов ЛПР при различных ситуациях на производстве.

Как показали, результаты проверки предлагаемые методы позволяют получить ожидаемых результатов с учетом наложенных ограничений, удовлетворяют основным требованиям ЛПР. Выделить одного метода, который является наилучшим по всем характеристика, по результатам вычислительных экспериментов не удалось. Как показывает результаты экспериментов некоторые методы лучше сходятся, имеет более высокую скорость (например, метод МС+ММ), а другие методы (например, метод ПО+РР) более удобны и проще при эксплуатации. А также одни методы (например, метод МС+ММ, использующий принцип максимина) обеспечивают получению гарантированных результатов, другие методы являются более эффективными, но допускают некоторые риски (например, метод AorRA+PO) и т.п. На практике в зависимости от сложившейся производственной ситуации один и тот же метод может характеризовать по-разному, имеет отличающиеся свойства. Поэтому нами предлагается в распоряжение ЛПР набор разных методов, чтобы он смог выбрать среди них самого подходящего и эффективного метода в зависимости от доступности ему необходимой для решения задачи исходной информации и от сложившейся ситуации.

В результате проведенных испытаний подтверждены работоспособность и эффективность разработанных методов (акт испытаний и принятия разработанных моделей и методов принятия решений по управлению процессом гидроочистки для внедрения в производство приведен в (Приложение А). Проверяемые свойства и характеристики предложенных методов с целью сравнения приведены в (Приложении Д).

Под *эффективностью* предложенных методов понимается показатель их функционального совершенства, определяемая в свою очередь рядом показателей, такими как быстродействие, точность, сходимость методов, экономическим эффектом, который получается от использование их на практике, т.е. в производстве.

К одному из основных составляющих обобщенного критерия, оценивающего эффективность методов, относится экономическая эффективность, ее ожидаемое значение до внедрения методов в производство определяется расчетным способом по типовой методике. По данным опытно-промышленных испытаний разработанных моделей и методов принятия решений, которые используются при управлении режимами работы агрегатов блока гидроочистки и по результатам ожидаемого значения определена их высокая эффективность. Расчетное, ожидаемое значение экономической эффективности от внедрения предложенных методов решения задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки на основе построенных моделей составило около 1.9 млн. тенге в год (Приложение Е) [156, 157].

Исследование *сходимости методов* и *устойчивости решения*. Для оценки сходимости эвристических методов решения задач принятия решений можно использовать величину времени, необходимого для достижения удовлетворяющих ЛПР результатов. Ясно, что данное время зависит от множества факторов, например, от субъективных факторов ЛПР, т.е. от его скорости реакции, знания, опыта, подготовленности и т.д., от удобства интерфейса, от содержания и объема запрашиваемой у ЛПР информации, от сложности задачи, методов и их программной реализации, от производительности и быстродействия компьютера. В связи с этим для оценки и сравнения быстродействия проверяемых методов следует провести вычислительные эксперименты на компьютерах, в которых методы программно реализованы в одинаковых условиях. Исследователь, который выступает в качестве ЛПР при оценке сходимости, должен не меняться, и он должен провести эксперименты над разными методами на одном и том же компьютере.

Анализируя результатов вычислительного эксперимента, приведенного в (Приложение Д) можно определить, что к самым быстро сходящим методом является метод МС+ММ, который основаны на метод главного критерия и максимина. А также по этим результатам видно, что самым медленным среди сравниваемых методов является метод, основанный на принципы абсолютной или относительной уступки и Парето оптимальности – метод AorRA+PO.

С целью оценки устойчивости решения каждые из предложенных методов испытаны 6-7 раз путем решения одну и ту же тестовую задачу. При этом основные свойства и полученные результаты сравнивались после каждого вычислительного эксперимента. По результатам этих испытаний можно сделать выводы, что проверенные методы дают устойчивые решения, так как в условиях одинаковых испытаниях полученные результаты почти совпадают, т.е. устойчивы.

Таким образом, подытоживая результаты проведенных испытаний предложенных методов для оценки их свойства можно заключить, что эффективность проверяемых методов зависит от доступности исходной информации, от опыта ЛПР (пользователя) и от сложности, объема решаемой задачи. При увеличении размерности и сложности задачи эффективность методов ПО+РР и AorRA+PO ухудшается, что объясняется при этом увеличением множества эффективных (Парето) решений и ЛПР затрудняется выбрать из числа эффективных решений самого лучшего. В качестве более устойчивого метода можно отметить метода МС+ММ, который основан на использование модифицированных принципов главного критерия и максимина, так как данный метод обеспечивает гарантированный результат.

Далее опишем суть *методики, предлагаемой* для выбора конкретного, более подходящего метода из набора предлагаемых (МС+ММ, РО+РР, AorRA+PO) и других аналогичных методов решения задач принятия решений в зависимости от доступной информации и характера задачи.

Как уже выше отмечено, эффективность того или другого метода при решении задачи принятия решений по управлению процессом зависит от имеющейся и/или доступной информации, необходимой для решения поставленной задачи, ее характера и производственной ситуации. Поэтому выбор более эффективного и подходящего метода из набора методов необходимо осуществлять в зависимости от этих факторов и предпочтения ЛПР. Допустим имеется такая ситуация, когда есть возможность выделить из вектора критериев одного как главного, а остальным определить граничные значения, которые они должны удовлетворить и необходимо гарантия по выполнению условий ограничений, то следует выбрать метода, основанного на принцип главного критерия (к критериям) и максимина (к ограничениям) т.е. метода MC+ММ.

Пусть сложилась ситуация, когда ЛПР с учетом своих предпочтений могут выбрать наилучшее решение из множества эффективных решений (Парето), причем количество критериев не больше, чем 5±2 и имеется возможность определить идеальные значения наложенных ограничений, то следует выбрать метода РО+РР, основанного модифицированного принципа Парето оптимальности и метода идеальной точки.

Если при решении задач принятия решений возникает необходимость ввести некоторых уступок для оценки критериев и число ограничений не превышает 5±2, то рекомендуется выбрать метод AorRA+PO, который основаны на использования модифицированных метода абсолютной или относительной уступки и принципа Парето оптимальности.

В заключение данного параграфа отметим, что аналогично приведенным выше постановок задач принятия решений в нечеткой среде и предложенным эвристическим методам их решения можно сформулировать другие варианты постановок задач принятия решений. А также аналогичным способом на основе модификации для нечеткости других принципов оптимальности можно разработать методов их решения и дополнить предложенную методику выбора более эффективного метода для новых методов.

**Выводы по разделу 3**

В данном разделе сформулированы задачи принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки с нечеткими ограничениями и разработаны эвристические методы их решения, основанные на использование опыта, знания и интуиции ЛПР, т.е. творческого мышления человека-оператора.

1. Формализованы и получены постановки задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки на основе математических моделей с использованием модификации различных принципов оптимальности. Новизна сформулированных постановок задач принятия решений в нечеткой среде заключается в том, что задачи ставятся в нечеткой среде, в отличие от известных подходов, не преобразуются к эквивалентным четким задачам, и далее доступная нечеткая информация максимально используется при их решении. Такой нечеткий подход за счет знания, опыта и интуиции ЛПР, экспертов получить более адекватные решения производственных задач в нечеткой среде.

2.На основе различных модифицированных принципов оптимальности разработаны ка эвристические методы решения поставленных задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга с использованием исходной нечеткой информации. Разработанные эвристические методы используют адаптированных для работы в нечеткой среде принципов главного критерия, максимина, Парето оптимальности, идеальной точки и абсолютной или относительной уступки, и их комбинации для критериев и ограничений. Предложенные методы являются работоспособными и в четкой среде, когда задача описывается четкой информацией, т.е. являются более универсальными,

3. Исследованы основные свойства предложенных эвристических методов решения задач принятия решений в нечеткой среде и описана суть предложенной методики выбора конкретного метода в зависимости от доступной исходной информации и производственных ситуаций. По результатам проведенных испытаний, вычислительных экспериментов оценены работоспособность, эффективность, сходимость методов и устойчивость полученных решений. Суть предложенной методики выбора заключается в выборе конкретного метода при решении задачи в зависимости от доступности необходимой для решения поставленной задачи, от характера задачи и с учетом предпочтений ЛПР тому или другому методу в зависимости от производственной ситуации.

4 ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ. СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

4.1 Определение оптимальной температуры процесса гидроочистки на основе лингвистичесокого моделирования

В этом параграфе приводим результаты реализации лингвистических моделей процесса гидроочистки предложенных в разделе 2 с помощью средств нечеткого моделмирования Fuzzy Logic Toolbox

*Лингвистическая модель для определения оптимальной температуры процесса гидроочистки.* Для определения оптимальной температуры процесса гидроочистки на основе экспертной информации и логического правила условных выводов и базы правил с применением предложенного в разделе 3 (2.3) метода ЛМ построена лингвистическая модель.

Полученная лингвистическая модель реализует логическую зависимость:

*IF* термическая устойчивостьсырья *низкая AND* давление *ниже среднего,* *THEN* температура процесса *низкая*;

*IF* термическая устойчивостьсырья *средняя* *AND* давление *среднее*, *THEN* температура процесса *средняя*;

*IF* термическая устойчивостьсырья *высокая* *AND* давление *выше среднего»*, *THEN* температура процесса *высокая*.

*Формирование базу правил систем нечеткого вывода*,представляющая собой множество правил нечетких продукций, в которых условия и заключения сформулированы в терминах нечетких высказываний. В нашей задаче *входными параметрами (переменными)*, значения которых задаются вне модели системы нечеткого вывода являются: ** − «*качество сырья*» и ** − «*давление*», а выходной переменной, значение которых, формируется внутри модели, является ** − *температура процесса гидроочистки*. Для сокращенной записи правил используем обозначения, представленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 − Значения нечетких параметров для формирования базы правил

|  |  |
| --- | --- |
| Значения нечетких параметров | Обозначение |
| *Низкая* устойчивость сырья, температура процесса | *НЗ* |
| *Ниже средней* устойчивость сырья, температура процесса | *НС* |
| *Средняя* устойчивость сырья, температура процесса | *СР* |
| *Выше средней* устойчивость сырья, температура процесса | *ВС* |
| *Высокая* устойчивость сырья, температура процесса | *ВК* |
| Низкое давление | *НЗ* |
| Давление ниже среднего | *НС* |
| Среднее давление | *СР* |
| Давление выше среднего | *ВС* |
| Высокое давление | *ВС* |

Универсальные множества (универсумы) приведенных нечетких параметров, необходимых для построения функции принадлежности приведены в таблице 4.2.

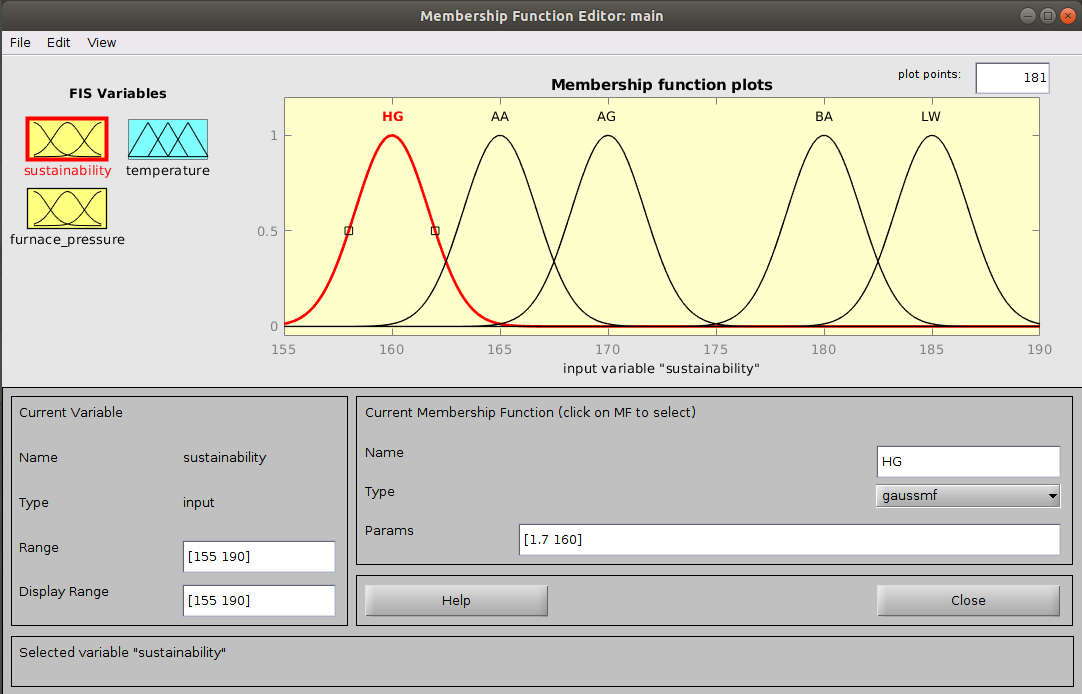
Таблица 4.2 – Универсумы для нечетких параметров **, ** и **

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Нечеткий параметр | Уровень значений нечетких параметров | | | | |
| *НЗ* | *НС* | *СР* | *ВС* | *ВК* |
| - качество, устойчивость сырья | 180-190 | 175-185 | 165-175 | 160-170 | 155-165 |
| - давление печи гидроочистки | 37-39 | 38-40 | 39-41 | 40-42 | 41-45 |
| - температура процесса гидроочистки | 270-330 | 320-340 | 330-370 | 360-380 | 370-430 |

В таблицах 4.1 и 4.2 представлены 5 уровень значений нечетких параметров (*НЗ* – низкая(ое); *НС –* ниже средней(его); *СР -* средняя(ое); *ВС –* выше средней(его); *ВС –* высокая(ое)), т.е. значения лингвистических переменных.

Процедуры фаззификации и другие процедуры алгоритма нечеткого вывода реализованы в среде MatLab с помощью пакета Fuzzy Logic Toolbox.

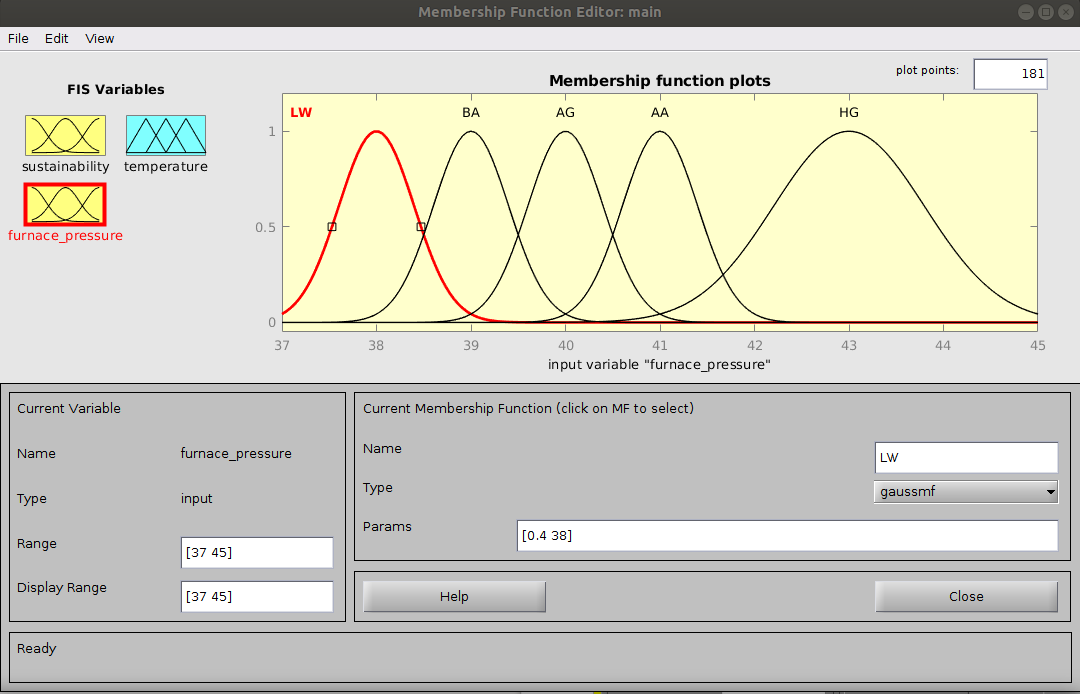
На рисунке 4.1a), 4.1б) и 4.1в) приведены функции принадлежности Гауссово типа для одного входных параметров «устойчивость сырья» и «давление печи гидроочистки», а также для выходного параметра «температура процесса гидроочистки», построенные с применением данного пакета.



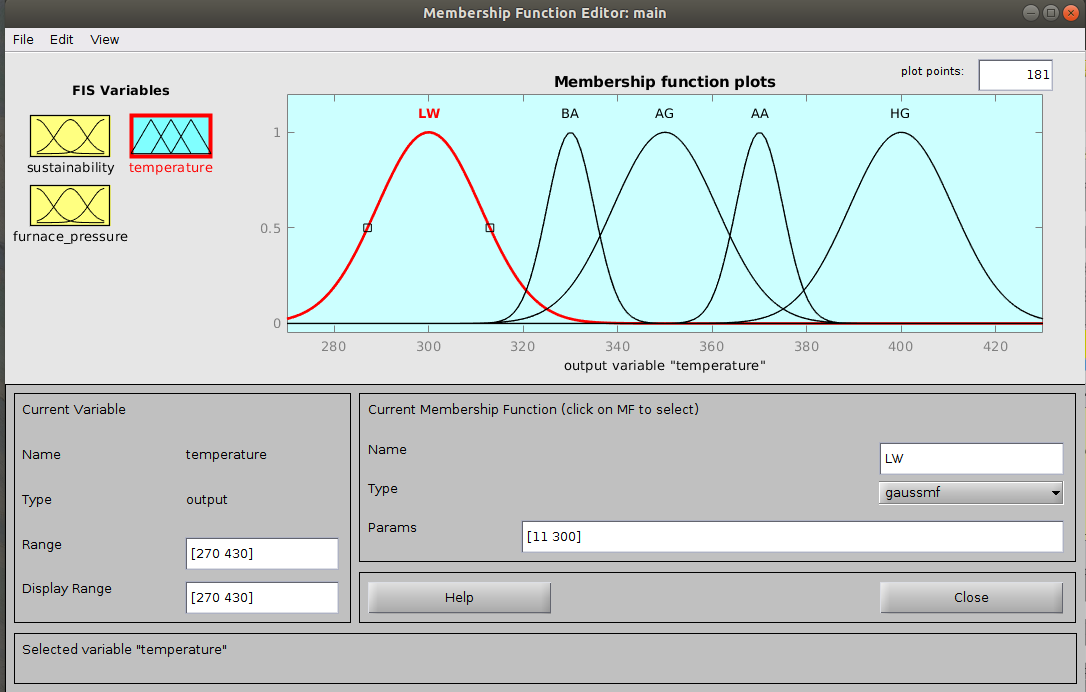
а

а – устойчивость сырья

Рисунок 4.1 – Функции принадлежности нечетких входных параметров, лист 1



б



в

б – давление печи гидроочистки; в – и нечеткого выходного параметра - температура процесса гидроочистки

Рисунок 4.13 лист 2

Созданные правила нечетких продукций для системы нечеткого вывода, т.е. лингвистические модели, позволяющие определить оптимальную температуру процесса гидроочистки представлены в виде следующей таблицы 4.3.

Таблица 4.3 – Универсумы для нечетких параметров **, ** и **

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № правила | Входные, режимные параметры | | Выходной параметр | – весовые коэффициенты |
| - устойчивость сырья | - давление печи гидроочистки | - температура процесса гидроочистки |
| 1 | *НЗ* | *НЗ* | *НЗ* | 1 |
| 2 | *НЗ* | *НС* | *НЗ* | 1 |
| 3 | *НЗ* | *СР* | *НЗ* | 1 |
| 4 | *НЗ* | *ВС* | *НС* | 1 |
| 5 | *НЗ* | *ВК* | *НС* | 1 |
| 6 | *НС* | *НЗ* | *НС* | 1 |
| 7 | *НС* | *НС* | *СР* | 1 |
| 8 | *НС* | *СР* | *СР* | 1 |
| 9 | *НС* | *ВС* | *СР* | 1 |
| 10 | *НС* | *ВК* | *НС* | 1 |
| 11 | *СР* | *НЗ* | *НС* | 1 |
| 12 | *СР* | *НС* | *СР* | 1 |
| 13 | *СР* | *СР* | *СР* | 1 |
| 14 | *СР* | *ВС* | *СР* | 1 |
| 15 | *СР* | *ВК* | *ВС* | 1 |
| 15 | *ВС* | *НЗ* | *ВС* | 1 |
| 17 | *ВС* | *НС* | *ВС* | 1 |
| 18 | *ВС* | *СР* | *ВС* | 1 |
| 19 | *ВС* | *ВС* | *ВС* | 1 |
| 20 | *ВС* | *ВК* | *ВС* | 1 |
| 21 | *ВК* | *НЗ* | *ВС* | 1 |
| 22 | *ВК* | *НС* | *ВС* | 1 |
| 23 | *ВК* | *СР* | *ВК* | 1 |
| 24 | *ВК* | *ВС* | *ВК* | 1 |
| 25 | *ВК* | *ВК* | *ВК* | 1 |

В последнем столбце таблицы 4.3 приведены значения весовых коэффициентов, которые отражают степень уверенности экспертов, ЛПР в истинности соответствующих подзаключений. Данные весовые коэффициенты в зависимости от уверенности экспертов может принимать значения от 0 до 1, где 0 означает полной не уверенности, а 1 полной уверенности.

Приведенная база правил, нечеткая база знаний реализована с помощью Fuzzy Logic Toolbox.

Полученные результаты визуализации нечеткого логического вывода в RuleViewer приведена на рисунке 4.2.

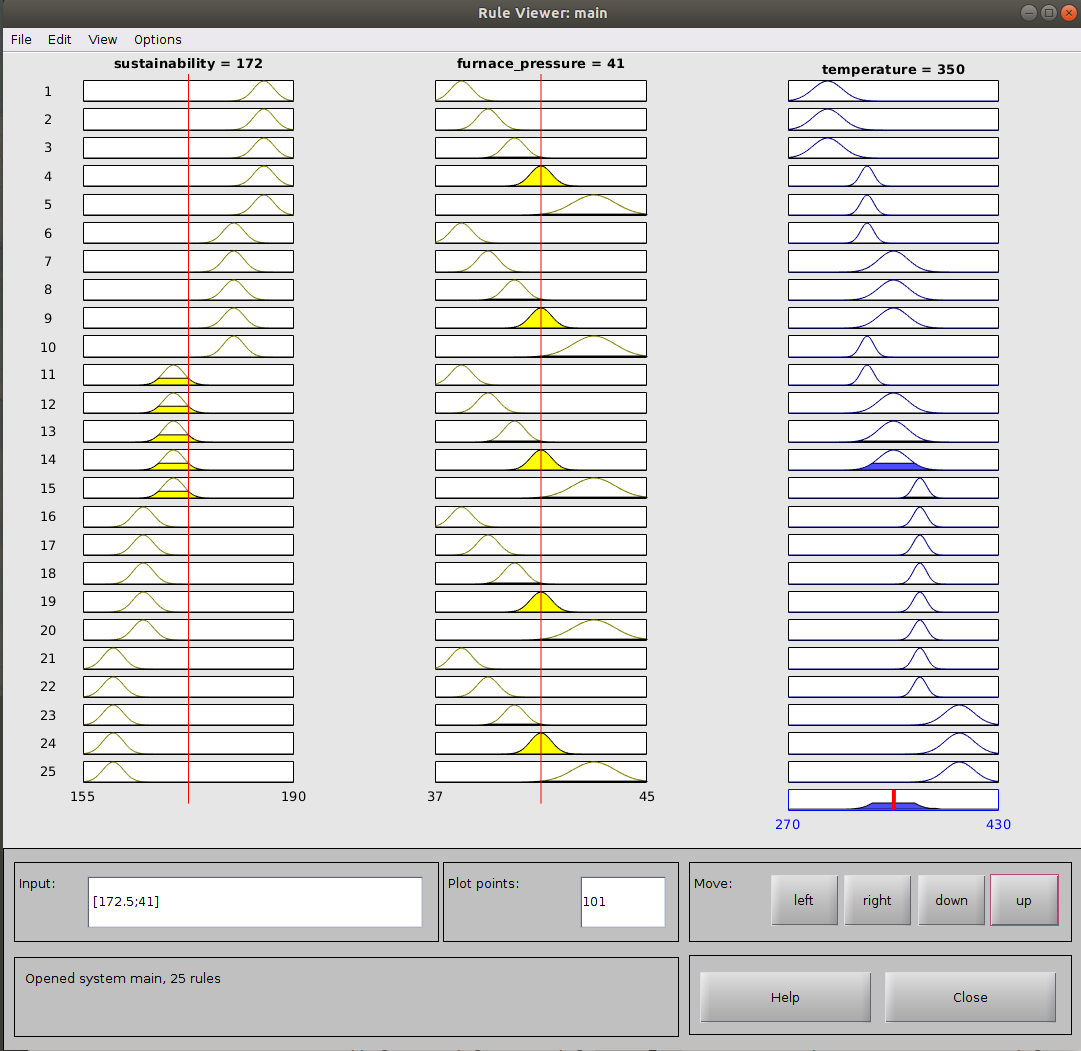


Рисунок 4.2 – Визуализация нечеткого логического вывода в RuleViewer

В поле *Input* указаны численные значения входных параметров, для которых реализуется логический вывод.

Поверхность “входы-выход”, которая соответствует синтезированной нечеткой системе представлена на рисунке 4.3.

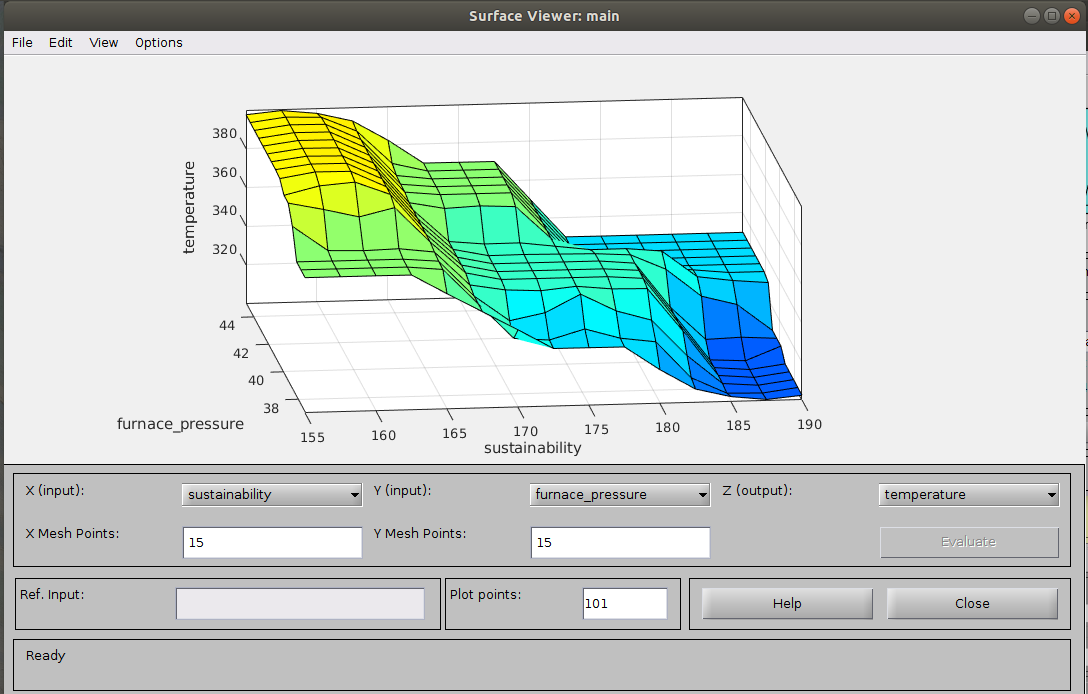


Рисунок 4.3 – Поверхность “входы-выход” в окне SurfaceViwer

Как заметно, построенные с использованием приложения Fuzzy Logic Toolbox графические результаты, которые визуализируют нечеткого логического вывода и поверхность “входы-выход” свидетельствуют об адекватности и эффективности предложенного нечеткого метода решения задачи. Это подтверждается полученными графиками, которые соответствуют результатам экспертной оценки.

**4.2 Постановка задачи принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки в нечеткой среде и решение ее на основе предложенного эвристического подхода**

На основе результатов раздела сформулируем конкретную задачу принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ. Как правило целевая продукция производимой любой ХТС (в нашем случае гидрогенизат блока гидроочистки) характеризуются в основном объемом получаемой продукции и ее качественными показателями. Причем на производстве объем вырабатываемой продукции часто определяется такими показателями как валовой, реализованной продукцией и др.

В нашей задаче объем целевой продукции, т.е. гидроочищенного от вредных примесей прямогонного бензина, называемого гидрогенизатом измеряется с помощью расходомеров и по нормативу находится в интервале [50÷80] м3/час. А вопросы измерения и определения качественных показателей гидрогенизата на объекте исследования не так просто.

Во-первых, качество гидрогенизата одним числом не измеряется. Качество гидрогенизата определяется следующими показателями:

– содержанием ненасыщенных углеводородов в гидрогенизате, которое по требованию ГОСТа не должно быть *менее*, чем 1,0% (**1%);

– содержанием серы в гидрогенизате, которое по требованию ГОСТа должно быть *не более* 0,00005% (0,5 ppm) (**0,00005%);

– содержанием водорастворимых кислот и щелочей в *около* 0 (**%).

Во-вторых, как видно качественные показателями характеризуются нечетко с помощью термов «не более», «около», при оценке, которых участвует человек, например лаборант заводской лаборатории.

Таким образом, качественные показатели гидрогенизата в промышленных условиях прямо не измеряются, а определяются лабораторным путем с участием человека и оцениваются с его участием нечетко. Поэтому в формулировке задачи принятия решений качественных показателей можно описать нечеткими критериями или ограничениями вида «не менее» и/или «не более», что требует применение нечеткого подхода.

Любое производство путем оптимального управления ХТС хочет максимизировать объем целевой продукции, минимизировать расходы, максимально улучшить качество продукции и экологического состояния производства. Но известно, что эти критерии в области эффективных решений являются противоречивыми, что приводит к невозможности одновременного улучшения их.

В этих условиях задача принятия решений по эффективному управлению режимами работы ХТС сводится к задаче поиска и выбора оптимального решения в области компромиссов, которое зависит от производственного плана, от производственной ситуации и предпочтения ЛПР. Кроме того, полученное решение должно удовлетворить ЛПР. Тогда на основе результатов по формализации и постановке задач принятия решений в нечеткой среде, приведенных в параграфе 3.1 задачу по выбору оптимального режима работы блока гидроочистки можно формализовать следующем виде. Для удобства применения нечеткого подхода введем следующие обозначения:

– – нормализованный критерий, который оценивает объем гидрогенизата, его значение в результате нормализации меняется в интервале [0,1];

– – нечеткие ограничения, которые описывают вышеприведенные качественные показатели гидрогенизата (содержание ненасыщенных углеводородов, серы, водорастворимых кислот и щелочей в составе гидрогенизата).

Допустим для каждого нечеткого ограничения построены функций принадлежности , оценивающие степени его выполнения. Считаем, что известен или можно определить ряд приоритета для ограничений и/или вектор весовых коэффициентов , который отражает взаимную важность нечетких ограничений.

Рассмотренные критерий и ограничения зависят от вектора входных, режимных параметров  с помощью которых управляется режимы работы реактора гидроочистки Р-1, где **расход сырья, т.е. объем прямогонного бензина на входе реактора Р-1; ** давление в Р-1; ** температура Р-1 и ** объемная скорость подачи сырья; ** отношение Н2/углеводороды, циркулирующий ВСГ. Зависимость критерия и ограничений от  описываются разработанными моделями в разделе 2 моделями реактора гидроочистки.

Тогда формализованную задачу принятия решений для эффективного управления режимами работы реактора Р-1 с нечеткими ограничениями на основе модификации принципа Парето оптимальности аналогично постановке (3.7)−(3.8) можно записать как:

При этом так как в нашем случае критерий 1, задача как видно упрощена, т.е. использование для критериев принципа абсолютной или относительной уступки отпадает.

Решением полученной задачи (4.1)−(4.2) должно быть вектор входных, режимных параметров который обеспечивает максимальное значение критерия при максимальных значениях функции принадлежности, оценивающие степени выполнения нечетких ограничений с учетом предпочтения ЛПР.

С целью решения сформулированной задачи принятия решений по управлению режимами работы реактора гидроочистки (4.1)−(4.2) используем упрощенную на случай одного критерия версию эвристического метода AorRA+PO разработанного в разделе 3 данной диссертации.

Шаг 1. Так как в решаемой задаче всего 1 критерий, его весовой коэффициент будет равным 1 и нет необходимости задания значения вектора весовых коэффициентов отражающий взаимную важность частных критериев.

Шаг 2. Если и/или то для них определяются термы терм-множества и строятся функции принадлежности. В решаемой задаче принятия решений нормализованный критерий оценки объема гидрогенизата определяет путем измерения, т. е. является четким и единственным. Поэтому для него терм-множество не определяется и не необходимости в

Шаг 3. ЛПР, экспертами выбирается термы терм-множества , которые описывают нечеткие параметры объекта. В нашем случае нечеткими является ограничения, которые ЛПР, экспертам с учетом требования стандартов описываются термами «менее», «не более» и «около», а также могут быть использованы их производные, получаемые с применением модификаторов типа «намного», «немного» и т.д.

Шаг 4. С привлечением ЛПР, экспертов построены функции принадлежности, оценивающие степени выполнения нечетких ограничений Эти функции принадлежности построены на основе предложенной в разделе 2 формулы (2.5) гауссова типа и в результате получены:

где численные значения нечетких показателей качества гидрогенизата, которые получается на основе множества уровня *α* из нечетких моделей построенных в параграфе 2.5.Смысл коэффициентов 0,8, 0.70 и других описаны в 2.3 после формулы (2.5).

Шаг 5. ЛПР определены следующие значения весовых коэффициентов вектора , которые отражают взаимную важность нечетких ограничений т.е. вектор весовых коэффициентов .

Шаг 6. На основе математической модели (построенной в параграфе 2.5) решена задача максимизации критерия на допустимом множестве *Х,* которое определяется на основе принципа Парето оптимальности (4.2). Определены решения, зависящие от вектора : обеспечивающие текущие значения критерия и степени выполнения нечетких ограничений

Шаг 7. Полученные результаты для анализа и принятия окончательного решения предъявлены ЛПР. В первые 4 циклах решения текущие решения не удовлетворяли ЛПР в соответствии с требования стандартам к качественным показателям и он корректировал значения веского вектора и осуществлен поиск более лучшего решения начиная с шага 6. После 5-го цикла решения при назначении ЛПР получены результаты, удовлетворяющие ЛПР и управление передано к шагу 8.

Шаг 8. Выведены лучшие, удовлетворяющие ЛПР результаты, которых он выбрал: вектор входных, режимных параметров , который обеспечивает максимальное значение критерия , и максимальные степени выполнения нечетких ограничений , ,, где . Полученные окончательное решение занесено в таблицу 4.4.

Анализируя данных таблицы 4.4, можно получить следующие выводы:

− разработанный и использованный нечеткий подход, и эвристический метод решения задачи принятия решений является более эффективным чем известный детерминированный метод;

− результаты решения задач принятия решений в нечеткой среде с использованием предложенного эвристического метода AorRA+PO, позволяет улучшить адекватность решения производственных задач в нечеткой среде. При этом адекватность решения повышается за счет учета дополнительной нечеткой информации, т. е. знания, опыта и интуиции ЛПР, экспертов, которые позволяет более полно и содержательно описывать реальную ситуацию без ее идеализации;

− предложенный нечеткий подход к решению задачи принятия решений в нечеткой среде позволяет определить степень выполнения нечетких ограничения с помощью их функции принадлежностей, которые не определяются в известных методах.

Таблица 4.4 – Сравнительные результаты решения задач принятия решений по оптимизацию режимов работы объекта на основе детерминированного подхода, предложенного нечеткого подхода и производственно-экспериментальных данных

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Значения критерия и функции принадлежностей нечетких ограничений | Детерминированный метод  (лит. данные) | Предложенный метод (AorRA+PO) | Эксперимен тально-производственные данные |
| Объём гидрогенизата – критерий , м3/час | 76.5 | 78.0 | 77,5 |
| Функция принадлежности выполнения неч. ограничения - | - | 1.0 | - |
| Функция принадлежности выполнения неч. ограничения - | - | 1.0 | - |
| Функция принадлежности выполнения неч. ограничения - | - | 0.98 | - |
| Оптимальные значения входных, режимных параметров  - расход сырья, объем прямогонного бензина на входе Р-1, м3/час | 82 | 80 | 80 |
| - давление в реакторе Р-1, кг/см2 | 31 | 28 | 30 |
| - температура в ректорах Р-1, оС | 345 | 337 | 340 |
| - объемная скорость подачи сырья, час-1 | 3 | 3 | 3 |
| - отношение Н2/углеводороды, циркулирующий ВСГ, нм3 | 400 | 400 | 400 |
| Примечания:  1. (-) означает, что данные показатели не определяются и не измеряется в производственных условиях  2. Составлено по источнику [154, р. 172-185] | | | |

Достоверность результатов оптимизации режимов работы реактора гидроочистки и выводов подтверждается:

– корректностью применяемых методов, которые базируются на научные положения теорий принятия решений и нечетких множеств, а также методов экспертных оценок;

– с достаточной степенью совпадения результатов, полученных расчетным путем и с результатами экспериментальных-производственных испытаний (погрешность менее 3%).

**4.3 Создание архитектуры и основных функциональных блоков системы поддержки принятия решений для управления режимами работы блока гидроочистки**

На практике при решении различных производственных задач ЛПР (например, оператор, технолог, экономист, эколог) часто попадает в сложную ситуацию, в которой для принятия наилучшего решения требуется проанализировать и обработать большой объем информации, сравнивать множество вариантов решения, учитывать взаимные влияния множество факторов и необходимо еще оценить последствия принимаемого решения в условиях неопределенности. Такие сложные ситуации обязательно возникают, при решении задачи принятия решений и управления многокритериальными ХТС, каким относится и блок гидроочистки.

В настоящее время более эффективным подходом к решению таких сложных, трудноформализуемых весьма является применение систем поддержки принятия решений (СППР) на основе современных компьютеров. СППР позволяют эффективно объединить достижения методов математического моделирования, оптимизации и принятия решений с возможностями современных компьютеров и других средств информационных технологий. Такой симбиоз научно-обоснованных методов и информационных технологий позволяет намного улучшить и ускорить процедуру принятия эффективного решения человеком. Если при создании СППР будет включены в ее состав элементы интеллектуализации, например, использование опыта, знание и интуиции (интеллекта) ЛПР, экспертов предметной области при разработке моделей и методов принятия решений и в процесс принятия решений реализуется с непосредственным участием ЛПР, то такая система интеллектуализированной СППР (ИСППР). Таким образом, одним из основных блоков в структуре ИСППР должна быть база знаний, аккумулирующий знания специалистов-экспертов, и используемая в процессе принятия наилучшего решения.

В качестве основных функциональных блоков ИСППР по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга можно выделить:

– блок системы (пакет) моделей основных агрегатов блока гидроочистки;

– блок комплекса методов (алгоритмов) решения задач принятия решений по управлению режимами работы основных агрегатов и блока в целом;

– базы знаний и данных;

– идентификатор параметров моделей;

– дружественный интерфейс пользователя;

– блок объяснения выбранного решения.

Перечисленные и другие возможные элементы ИССПР связывают через информационные потоки и каждый из элементов системы выполняет определенные функции, а все вместе позволяет эффективно реализовать процесса принятия решений. Это достигается за счет таких свойств системы (ИСППР), как: синергизм и эмердженности системы.

Таким образом, архитектуру ИССПР по управлению режимами работы ХТС на примере блока гидроочистки можно представить на рисунке 4.4.

Пользователь

(ЛПР, оператор-технолог)

Пакет моделей основных агрегатов блока гидроочистки

База знаний

База данных

Интерфейс

Комплекс методов

принятия решений

Блок объяснения решения

Идентификатор и настройка параметров моделей

Рисунок 4.4 – Архитектура ИСППР по управлению блоком гидроочистки

Кратко опишем содержание и функции основных блоков ИСППР по управлению режимами работы блока гидроочистки.

1. *ЛПР,* являющимся *пользователем ИССПР* (операторы, технологи блока гидроочистки) в процессе решения задачи осуществляет с помощью системы выбор наилучшего режима работы агрегатов и блока, который обеспечивает оптимальные (в смысле компромиссные) значения используемых критериев, экономического, экологического характера. Выбор наилучшего решения ЛПР производится в зависимости от сложившейся производственной ситуаций, от состава сырья, с учетом производственного плана, требований к объему и качеству производимой продукции, с учетом экологических требований и нормативов, и лимитов и т.д. Таким образом решение принимается с учетом важности отдельных критериев и требований ограничений и их изменений.

В ходе решения рассмотренных задач ЛПР использует пакет, разработанных в разделе 2 и других моделей, методов решения задач принятия решений с учетом нечеткости (например, предложенных в разделе 3), которые алгоритмизированы и программно реализованы, а также по мере необходимости базу знаний и данных, блока объяснения решения и др. При необходимости для адаптации и настройки моделей к изменившимся, новым условиям функционирования объекта ЛПР могут привлекаться в качестве эксперта для корректировки и заполнения базы знаний.

2. Блок *пакет моделей* *основных агрегатов блока гидроочистки* состоит из системы взаимосвязанных различных видов моделей агрегатов блока гидроочистки, разработанные в разделе 2 объединенные в пакет по определенной схеме (например, приведенной на рисунке 2.2), который позволяет системно моделировать работы блока. Данные модели используются при определении (расчете) значений частных критериев в зависимости от изменений входных, режимных параметров.

3. *Комплекс методов, алгоритмов решения задач принятия решений* (разработанные в разделе 3 диссертации: МС+ММ; PO+PP; AorRA+PO и др.) предназначен для формализации и решения задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки с учетом нечеткости. Данные методы и их алгоритмизации на основе пакета моделей, базы знаний и данных, и при необходимости других функциональных блоков системы позволяют определить и выбрать ЛПР наилучшего режима работы основных агрегатов и блока гидроочистки по выбранным критериям с выдачей рекомендуемых значений входных и режимных параметров.

4. *Базы знаний и данных.* Данный функциональный блок обеспечивает создание базы знаний и данных и хранения в них формализованных знаний ЛПР, экспертов предметной области, статистических и других данных о производстве. Данные и знания данного блока используется для анализа работы и основных показателей ХТС, в процессе подготовки и принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов гидроочистки, а также при составлении отчетов и для адаптации моделей при изменениях ситуаций.

5. *Интерфейс пользователя.* Назначение данного блока заключается в обеспечении эффективной связи ЛПР с системой в процессе решения задачи принятия решений по управлению, т.е. организует удобный диалоговый режим работы пользователя с компьютером при обмене информацией, вводе и корректировке исходных данных системой и получении результатов, а также при выполнении других функций ИСППР. Например, в процессе решения задачи ЛПР на основе интерфейса может:

– в привычном и удобном ему виде вывести на экран схемы объектов ХТС, информации об их состояния, и экологическом состоянии производства;

– вести визуальные наблюденные за процессом оптимизации;

–вывести на экран результатов решения задачи, т.е. значения входных, режимных параметров, обеспечивающие наилучшие значения критериев (с учетом компромиссов) и информацию о выполнения требований ограничений.

6. *Блок объяснения выбранного решения.* Функция данного блока заключается в реализации стратегии объяснения полученных результатов и подсказки по выполнению некоторых действий. Для объяснения почему именно данное решение рекомендуется системой для выбора, все соображения, принятые системой при альтернативных выборах, фиксируется и при запросе выводятся в удобном для анализа ЛПР форме.

7. Блок идентификатор параметров моделей представляю собой программный комплекс, реализующий методы идентификации параметров моделей. Данный блок позволяет при необходимости адаптировать моделей объектов к изменившимся условиям их работы. Блок по мере необходимости проверяет адекватности моделей и в случае необходимости, производит перерасчет, т.е. идентификацию параметров моделей.

Таким образом можно привести следующих основных этапов создания ИСППР:

Этап 1. Выявление и описание проблемную ситуацию, возникающую при управлении режимами работы ХТС, содержательная постановка и формализация задачи принятия решений по решению проблемы.

Этап 2. Получение математической постановки решаемой задачи принятия решений с учетом дефицита и нечеткости исходной информации.

Этап 3. Сбор, обработка исходной информации, организация и проведение экспертной оценки для формализации знания ЛПР, экспертов предметной области с целью сбора недостающей части исходной информации, создание базы данных и знаний.

Этап 4. Проведение системного анализа для определения типов моделей, которые возможно разработать для отдельных агрегатов ХТС, выбор и построение наиболее эффективных видов моделей элементов системы и объединить их в единую систему моделей, т.е. создать пакет моделей.

Этап 5. Выбор, модификация или разработка методов решения поставленной задачи принятия решений на основе созданного пакета моделей.

Этап 6. Алгоритмизация методов решения задач принятия решений по управлению режимами работы ХТС.

Этап 7. Составление программ, реализующих разработанных моделей и алгоритмов решения задач принятия решений.

Этап 8. Создать удобный, дружественный интерфейс пользователя (ЛПР) СППР и других ее функциональных блоков (идентификатор, блок объяснения).

Эффективность создаваемых ИСППР для эффективного и оперативного решения задач управления различными объектами определяется полнотой данных и качеством представления знаний (базой знаний и данных), качеством разработанных моделей и методов решения задач принятия решений, а также удобством создаваемого интерфейса для пользователя.

В качестве преимущества предлагаемой ИСППР по сравнению с другими аналогичными системами можно выделить: в составе имеют пакет моделей, разработанные с использованием исходной нечеткой информации что обеспечивает их высокую адекватность и набор алгоритмов решения задач принятия решений в нечеткой среде, позволяющие получить более адекватные в реальных условиях, характеризуемые с нечеткостью и интеллектуальный интерфейс, обеспечивающий удобный режим работы.

**4.4 Описание основы интерфейса создаваемой системы поддержки принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга**

Программа«Система поддержки принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга» предназначена для моделирования и определения значений выходных параметров (объема гидрогенизата на выходе системы реактора (Р-1), колонны (К-1, К-2, К-3) и печи (П-101)) блока гидроочистки установки каталитического риформинга в зависимости от изменении режимных (входных, управляющих) параметров блока, а также для подбора оптимальных режимов процесса (входных параметров) обеспечивающих наилучшие значения критериев, описывающих объемы и качества выходной целевой продукции (гидрогенизата), (Приложения Ж, И).

*Область применения Программы:*

1) исследование режимов работы основных технологических агрегатов блока гидроочистки по производству гидрогенизата на основе пакета математических моделей технологических агрегатов блока гидроочистки;

2) моделирование режимов работы основных технологических агрегатов блока гидроочистки по производству гидрогенизата, проведение вычислительных экспериментов на компьютере, определение эффективных режимов работы агрегатов и технологического комплекса блока гидроочистки в целом, обеспечивающие желаемые (оптимальные) значения критериев оценки качества работы блока гидроочистки по производству гидрогенизата;

3) проведение компьютерных экспериментов по исследованию технологического процесса получения гидрогенизата по изучению влияния на этого процесса режимных параметров: объем сырья; давление в реакторе, температура в реакторе, объемная скорость подачи сырья, циркулирующий ВСГ;

4) использование в качестве виртуальной среды технологического процесса производства гидрогенизата студентами ВУЗов химико-технологических специальностей, а также студентами и магистрантами по специальностям автоматизации и управления, компьютерное моделирование, информационные системы и другие;

5) изучение технологического процесса получения гидрогенизата на технологическом комплексе, прогнозирование ожидаемых результатов работы технологического комплекса по производству гидрогенизата при различных ситуациях и значениях режимных параметров процесса.

Программа направлена на моделирования различных режимов блока гидроочистки по производству гидрогенизата, определение значений режимных параметров, обеспечивающих эффективные режимы работы блока гидроочистки по производству гидрогенизата, на увеличение объема гидрогенизата блока гидроочистки установки риформинга.

Цель заключается в оперативном и удобном режиме моделирования и определения эффективных режимов работы основных технологических агрегатов блока гидроочистки установки риформинга, для улучшение критериев качества работы установки.

Функциональные возможности программы:

Интерфейс пользователя состоит из главного окна программы, которое содержит следующие блоки: моделирование и оптимизация (рисунок 4.5).

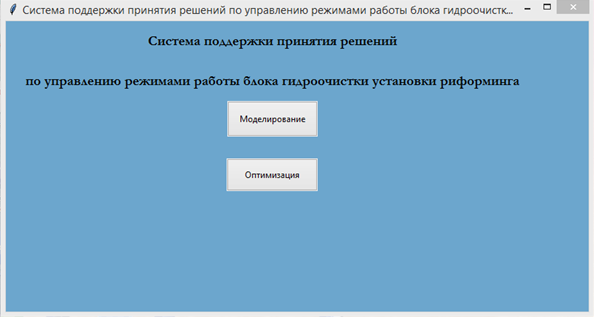


Рисунок 4.5 – Главное окно программы «Система поддержки принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга»

После выбора блока ***«***Моделирование***»*** пользователю откроется окно, которое выполняет расчет (моделирование) выходных параметров комлекса в зависимости от входных параметров процесса (рисунок 4.6).

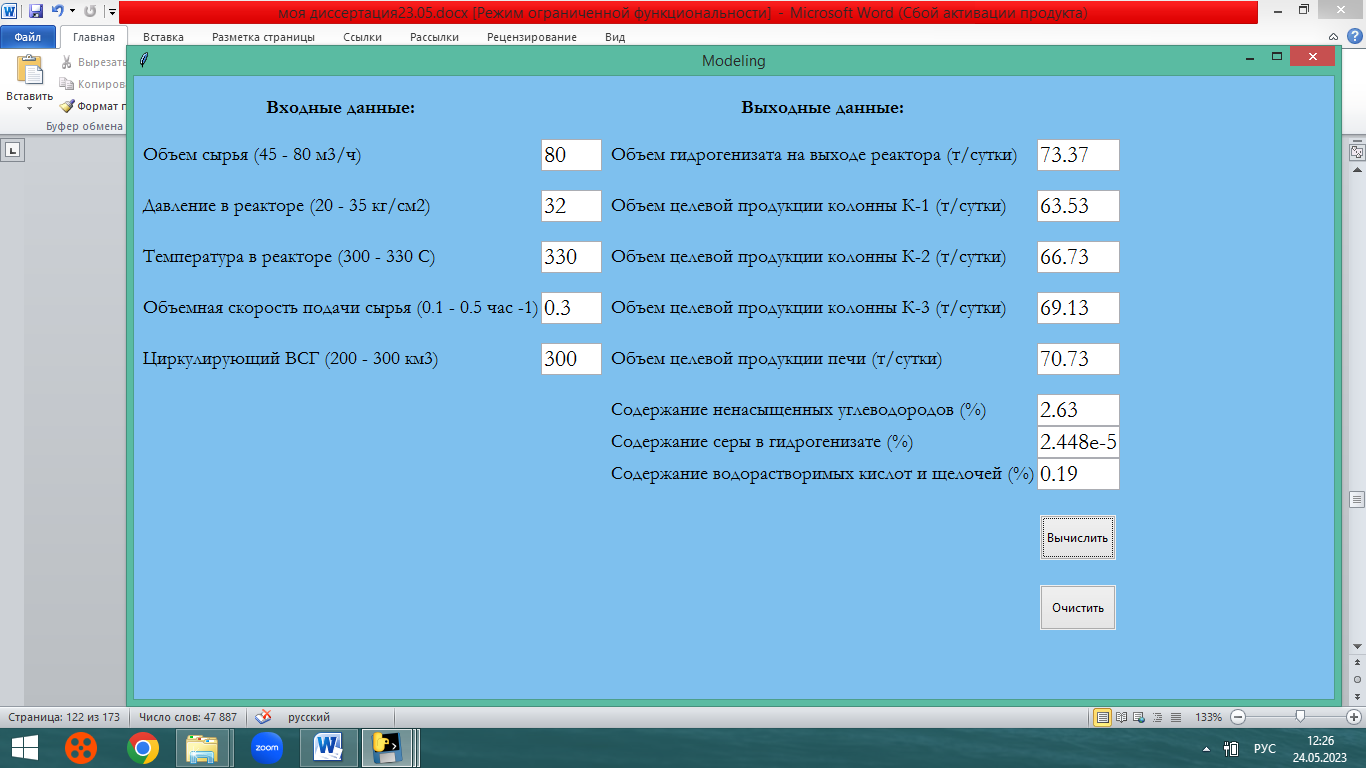


Рисунок 4.6 – Окно «Моделирование»

В этом окне в верхней части приведены наименования входных, режимных параметров с указанием интервалов изменения и окна для ввода их значений, с целью моделирования:

* объем сырья;
* давление в реакторе;
* температура в реакторе;
* объемная скорость подачи сырья;
* циркулирующий ВСГ.

т.е. вводятся значения входных, режимных параметров, влияющих на процесс производства гидрогенизата, на количество и качественные показатели продукта, т.е. гидрогенизата.

В нижней части указаны выходные значения для вывода результатов моделирования:

* объем гидрогенизата на выходе реактора Р-1;
* объем целевой продукции колонны К-1;
* объем целевой продукции колонны К-2;
* объем целевой продукции колонны К-3;
* объем целевой продукции печи;
* содержание ненасыщенных углеводородов %;
* содержание серы в гидрогенизате %;
* содержание водорастваримых кислот и щелочей %.

При нажатии на кнопку «Вычислить» вычисляются соответствующие значения выходных прараметров и заносятся в окна. Кнопка «Очистить» очищает поля для дальнейшего ввода новых данных (рсиунок 4.7).

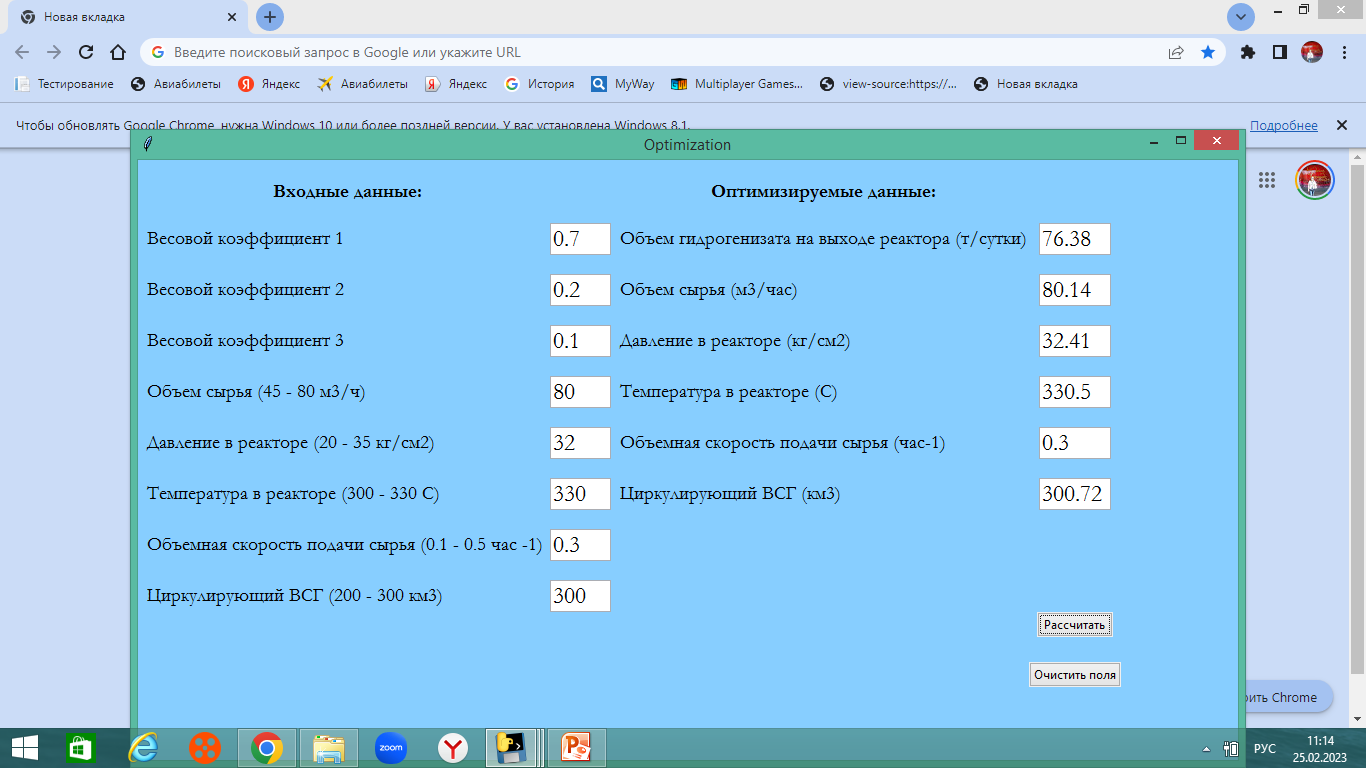


Рисунок 4.7 – Окно «Оптимизация»

В этом окне в верхней части указаны текущие значения переменных для ввода, с целью оптимизации:

* весовой коэффициент 1;
* весовой коэффициент 2;
* весовой коэффициент 3;
* объем сырья;
* давление в реакторе;
* температура в реакторе;
* объемная скорость подачи сырья;
* циркулирующий ВСГ.

Ниже при нажатии на кнопку «Рассчитать» высчитываются оптимальные значения объема гидрогенизата на выходе реактора Р-1 и входных параметров процесса. Кнопка «Очистить поле» очищает поля для дальнейшего ввода новых данных.

Основные технические характеристики:

Выбор аппаратных средств основывался на минимальных системных требованиях, предъявляемых выбранным программным обеспечением к аппаратным средствам.

Аппаратные средства:

* процессор не ниже IntelPentiumI 100 МГц;
* объем оперативной памяти не менее 1024 Мб;
* объем свободного пространства жесткого диска не менее 1024 Мб;
* наличие источника резервного или бесперебойного питания.

Программные средства:

* операционная система Windows7 и выше.

Язык программирования

Данный программный продукт реализован в среде Jupyter Notebook (Anaconda3), язык программирования: Python. Использовался Tkinter – для создания графического интерфейса.

**4.5 Результаты исследований и перспективы их применения**

В этом подразделе обобщим и предложим дальнейшее направление и перспективы применения полученных результатов исследований.

Таким образом, в данной диссертационной работе созданы новые перспективные методы моделирования и принятия решений по выбору оптимальных режимов работы сложных производственных объектов на примере блока риформинга установки ЛГ. На базе этих результатов создается математическое обеспечение и другие компоненты интеллектуальной компьютерной системы моделирования и принятия решений. Получены теоретические результаты, позволяющие решать проблем математического моделирования и принятия решений в условиях неопределенности, вызванной нечеткостью исходной информации и многокритериальностью объекта оптимизации.

Полученные результаты доведены до конкретных алгоритмов. Построенные модели основных агрегатов блока риформинга программно реализованы и получена диалоговая система для моделирования процесса риформинга с целью его оптимизации. На основе предложенного алгоритма решения задач ПР решена конкретная задача принятия оптимального режима работы блока риформинга Поставленные задачи решены полностью. Создана и описана структура система поддержки принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга для оптимизации комплекса технологических агрегатов нефтепереработки.

Разработанная структура в перспективе позволяет легко расширять математическое обеспечение, включив новые функции и возможности системы. Кроме того, предлагаемая архитектура при наличии соответствующих аппаратно-технических (устройство связи с объектом) и дополнительных программных средств позволяет замкнуть контур управления, т.е. компьютер будет непосредственно управлять объектом. Предложенные подходы к созданию моделей, алгоритмов решения многокритериальных задач оптимизации могут быть эффективно использованы при решении производственных задач в различных отраслях промышленности (нефтехимии, нефтегазовой и т.д.).

В ближайшие годы системы общения между пользователем и компьютером должны перейти на новый качественный уровень. На смену текстовому общению, требующему работы за клавиатурой, в перспективе придет голосовое общение, когда пользователь будет вводить нужную ему информацию с голоса и получать от системы сообщения в такой же форме. Привычная для человека речевая форма еще более увеличит комфортность его общения с системои и намного повысит эффективность таких систем.

**Выводы по разделу 4**

1. В данном разделе приведены результаты применения результатов исследования на практике. Рассмотрены вопросы создания системы поддержки принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов. В среде приложения Fuzzy Logic Toolbox системы MatLab проведена работа по определению оптимальной температуры процесса гидроочистки на основе лингвистичесокого моделей процесса. Построены функции принадлежностей нечетких параметров, создана база правил и визуилизированы результаты.

2. Сформулирована и получена постановка задачи принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ в нечеткой среде и приведены результаты ее решения с помощью, предложенной в данной диссертации эвристического метода AorRA+PO. На основе сравнения результатов решения поставленной задач принятия решений на основе предложенного эвристического метода, по детерминированному методу и экспериментально-производственных данных установлена эффективность предложенного нечеткого подхода к решению нечеткой задачи.

3. Созданы и описаны архитектура и основные функциональные блоки системы поддержки принятия решений для управления режимами работы блока гидроочистки. Приведены основные этапы создания ИСППР и выделены преимущества предложенной системы поддержки принятия решений по сравнению с аналогичными системами.

4. Приведены основные результаты программной реализации разработанных моделей и дано описание интерфейса системы поддержки принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга.

5. Обобщены результаты исследований, полученные теоретические результаты доведены до практического приложения. Рассмотрены перспективы применения полученных результатов и развития исследуемого направления науки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование включает научно-обоснованные результаты, направленные на разработку моделей и принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов, которые характеризуются многокритериальностью и нечеткостью исходной информации. Применение полученных теоретических результатов на практике позволяет получить эффективные решения задачи управления режимами работы технологических объектов нефтепереработки и других производств в нечеткой среде.

К основным научным результатам диссертационного исследования относятся:

1. Проанализировано современное состояния проблем математического моделирования и оптимизации технологических объектов гидроочистки и исследованы подходы к их решению.

2. Исследованы научно-технических основы технологии и процесса гидроочистки бензиновых фракций, и влияния основных параметров процесса на количество и качество получаемой продукции.

3. На основе системного подхода создана концепция построения пакета моделей для системного моделирования ХТС на примере блока гидроочистки.

4. Исследованы подходы и разработаны методы построения моделей технологических объектов в условиях неопределенности и нечеткости исходной информации.

5. Организованы и проведены экспертные оценки с целью сбора необходимой информации для построения математических моделей ХТС блока гидроочистки в нечеткой среде.

6. Разработаны математические модели основных агрегатов блока гидроочистки установки риформинга ЛГ на основе предложенной концепции и методов.

7. Формализованы и получены математические постановки задач принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки на основе математических моделей и модификации различных принципов оптимальности в нечеткой среде и разработаны эвристические методы их решения.

8. Исследованы основные свойства разработанных эвристических методов и разработана методика выбора наиболее эффективного метода из набора предложенных и других известных методов.

9. Создана архитектура и основные функциональные блоки системы поддержки принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов блока гидроочистки. Проведен анализ перспективы развития компьютерных систем ПР и применения результатов исследований в науке и производстве.

*Оценка полноты решений задач исследования*.Сформулированные задачи исследования диссертационной работы решены в полном объеме, предложены эффективные методы построения моделей, эвристические методы принятия решений в нечеткой среде по управлению режимами работы ХТС блока гидроочистки установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ, которые могут быть применены для управления сложными технологическими объектами и других производств. Предложенный подход на основе доступной информации различного характера и системного подхода позволяет определить оптимальные режимы работы управляемого объекта в условиях многокритериальности и дефицита исходной информации. Поставленная цель достигнута, т.е. разработана система моделей и эвристические методы принятия решений по управлению режимами работы технологических объектов (на примере технологических агрегатов блока гидроочистки установки риформинга ЛГ-35-11/300-95), с учетом дефицита и нечеткости исходной информации.

*Рекомендации по конкретному применению результатов исследования.* Разработанных в диссертации моделей и методов можно использовать при построении моделей взаимосвязанных агрегатов ХТС различных производств, характеризующиеся дефицитом и нечеткостью исходной информации. Затем на основе этих моделей используя предложенных эвристических методов можно решать задач принятия решений по управлению режимами работы данных ХТС в нечеткой среде. С целью сбора, формализации исходной информации для построения моделей и решения задач принятия решений в нечеткой среде рекомендуется применить предложенной в работе экспертной оценки в нечеткой среде. Необходимо отметить, что при использовании предложенных методов источником исходной информации выступают ЛПР, эксперты, которые в основном информацию дают в нечетком формате. Поэтому для обработки и использования такой нечеткой информации необходимо применить методов теорий нечетких множеств.

*Научный уровень* диссертационного исследования по сравнению с известными достижениями в области разработки моделей и принятия решений в нечеткой среде выше, так как основаны на методологию системного анализа и позволяет максимально использовать исходную нечеткую информацию для решения проблем неопределенности. Разработанные в диссертационной работе в работе метода построения моделей в нечеткой среде и методы решения задач принятия решений в нечеткой среде по управлению режимами работы ХТС позволяет получить более адекватные решения производственных задач в нечеткой среде за счет полного использования доступную нечеткую информацию.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Багиров И.Т. Современные установки первичной переработки нефти. – Изд. 2-е. – М.: Химия, 2017. – 217 с.

2 Прокопюк С.Г. Промышленные установки каталитического крекинга. – М.: Химия, 2018. – 307 с.

3 Adzamic Z., Besic S. The impact of the catalytic reforming operation severity on cycle duration and product quality at the Rijeka oil refinery // Fuels and lubricants. – 2013. – Vol. 42, №1. – P. 83-87.

4 Смидович Е.В. Технология переработки нефти и газа. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов. – Изд. 4-е, стер. – М.: ИД Альянс, 2011. – 328 с.

5 Солодова Н.Л., Терентьева Н.А.Гидроочистка топлив. – Казань: Изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2008. – 103 с.

6 Hashemi M., Pourfayaz F., Mehrpooya M. Energy, exergy, exergoeconomic and sensitivity analyses of modified Claus process in a gas refinery sulfur recovery unit // J. Cleaner Prod. – 2019. – Vol. 220, №5. – P. 1071-1087.

7 Зинченко Т.О. Экологическая оптимизация технологии производства серы: на примере ГПЗ ООО “Газпром добыча Оренбург”: автореф. … канд. техн. наук: 03.00.16. – М., 2008. – 23 с.

8 Morey A., Pradhan S., Anilkumar R. Pollutant monitoring in tail gas of sulfur recovery unit with statistical and soft computing models // Chem. Eng. Commun. – 2019. – Vol. 206, №1. – P. 69-85.

9 Lavery C.B., Marrugo-Hernandez J.J., Sui R. et al. The effect of methanol in the first catalytic converter of the Claus sulfur recovery unit // Fuel. – 2019. – Vol. 238, №2. – P. 385-393.

10 Щурин Р.М., Плинер В.М., Тер-Саакова Н.Б. Экспериментальное исследование термической стадии процесса Клауса // Промышленная санитарная очистка газов. – 1994. – №4. – С. 21-22.

11 Харичко М.А., Киевский В.Я., Ефимов В.А. Опыт реконструкции установки получения элементарной серы // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – №5. – С. 27-31.

12 [Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О. Технологические расчеты и теория каталитического риформинга бензина](https://www.twirpx.com/file/313388/). – Изд. 2-е. – Уфа: ООО "Монография", 2018. – 212 с.

13 Петров В.В., Моисеев А.В., Бурдакова Е.С. Гидроочистка прямогонных топлив на шариковых алюмоникельмолибденовых катализаторах // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – №2. – С. 16-19.

14 [Sharikov](http://www.springerlink.com/content/?Author=Yu.+V.+Sharikov) Yu.V., [Petrov](http://www.springerlink.com/content/?Author=P.+A.+Petrov) P.A. [Universal model for catalytic reforming](http://www.springerlink.com/content/br0wn2h316r1v65x/) // [Chemical and Petroleum Engineering](http://www.springerlink.com/content/0009-2355/). – 2013. – [Vol. 43, №9](http://www.springerlink.com/content/0009-2355/43/9-10/). – Р. 580-597.

15 Сотников В.В., Борзов А.Н., Сибаров Д.А. и др. Математическая модель для управления процессом гидроочистки ДТ // Информационные технологии в науке, образовании и производстве: сб. тр. междунар. науч. конф. – Орел: ОрелГТУ, 2004. – Т. 3. – С. 43-48.

16 Orazbayev B.B., Kozhakhmetova D.O., Orazbayeva K.N. et al. Development of System of Model Columns K-1, K-2 And K-3 for Fluid Catalytic Cracking Unit based on Varying Information // [ICSLT '19: proceed. of the 5th internat. conf. on e-Society, e-Learning and e-Technologies](https://dl.acm.org/doi/proceedings/10.1145/3312714). – NY., 2019. – P. 122-125.

17 Chen Y., He L., Li J. et al. Multi-criteria design of shale-gas-water supply chains and production systems towards optimal life cycle economics and greenhouse gas emissions under uncertainty // Computers & chemical engineering. – 2018. – Vol. 109. – P. 216-235.

18 Петров В.В., Моисеев А.В., Бурдакова Е.С. и др. Гидроочистка прямогонных дизельных топлив на шариковых алюмоникельмолибденовых катализаторах // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – №2. – С. 16-19.

19 Солодова Н.Л., Нурмухаметова А.Р. Катализаторы гидроочистки // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 2, №10. – С. 53-60.

20 Tai Y. Lignin Fast Pyrolysis: Towards Enhanced Product Selectivities by Varying Particle Sizes of H-ZSM5 Zeolites. – Zurich, 2016. – 72 p.

21 Mircea C., Agachi S., Marimoiu V. Simulation and model predictive control of a UOP fluid catalytic cracking // Chem. Eng. Process. – 2003. – Vol. 42. – Р. 42-67.

22 Dzhambekov A.M., Sherbatov I.A. Control of catalytic reforming process based expert information // Syst. Method Technol. – 2014. – Vol. 4. – P. 103-111.

23 Harinath E., Biegler L.T., Dumont G.A. Predictive optimal control for thermo-mechanical pulping processes with multi-stage low consistency refining // J. Process. Control. – 2013. – Vol. 47. – P. 1001-1015.

24 Roudneshin M., Azadeh, A. A novel multi-objective fuzzy model for optimization of oil sludge management by considering health, safety and Environment (HSE) and resiliency indicators in a gas refinery // J. Clean. Prod. – 2019. – Vol. 206. – P. 559-571.

25 Оразбаев Б.Б, Танирбергенова А.А., Оразбаева К.Н. и др. Разработка комплекса математических моделей колонн и печи блока гидроочистки на основе исходной информации различного характера // Вестник КазНИТУ. – 2020. – №4(140). – С. 261-269.

26 Štampar S., Sokolič S., Karer G. et al. Theoretical and fuzzy modelling of a pharmaceutical batch reactor // Math. Comput. Modell. – 2011. – Vol. 53, №8. – P. 637-645.

27 Al-Jamimi H.A. Prediction of Sulfur Content in Desulfurization Process Using a Fuzzy-Logic Based Model // Solid State Phenom. – 2019. – Vol. 287, №5. – P. 80-85.

28 Matveykin V.G., Dmitrievsky, B.S., Kokuev A.G. et al. Problem of control of catalytic reforming and method of its solutions // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. – 2019. – Vol. 330, №6. – Р. 59-67.

29 Fridlonder R.H. Study of the hydrotreatment process in reformers // Hydrocarbon processing. – 1986. – Vol. 65, №2. – Р. 21-33.

30 Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – Изд. 2-е, перер. и доп. – М.: Юрайт, 2020. – 403 с.

31 Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Жаворонков Н.М. и др. Системный анализ процессов химической технологии: измельчение и смешение. – Изд. 2-е, перер. и доп. – М.: Химия, 2020. – 408 с.

32 Алиев Р.Р., Елшин Н.А. Стратегия усовершенствования процесса гидроочистки нефтяных фракций // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2013. – №4. – С. 8-10.

33 Колесников И.М., Салашенко З.Л. Эмпирические методы математического моделирования и оптимизация процессов переработки. – М.: МИНХиТП им. И.М. Губкина, 1985. – 190 с.

34 Сериков Т.П. Перспективные технологии переработки нефтей Казахстана. – Алматы: Fылым, 2001. – 276 с.

35 Orazbayev B.B., Orazbayeva K.N., Utenova B.E. Development of Mathematical Models and Modeling of Chemical Engineering Systems under Uncertainty // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 48, №2. – P. 138-147.

36 Оразбаев Б.Б., Курмангазиева Л.Т. Математические модели и оптимизация химико-технологических систем при нечеткости исходной информации: монография. – М., 2014. – 163 с.

37 А.С. 93 РК. Система моделирования и принятия решений по управлению режимами работы комплекса по производству бензола: программа для ЭВМ / Б.Б. Оразбаев, Е.А. Оспанов, А.К. Кереев; опубл. 08.11.18.

38 Оразбаев Б.Б., Оразбаева К.Н., Кожахметова Д.О. Мұнай өңдеу және мқнай химиясы кешендерінің тиімділігін арттыру тәсілдері: монография. – Алматы, 2019. – 264 б.

39 Zhumadillayevа A., Orazbayev B.B., Santeyeva S. et al. Models for Oil Refinery Waste Management Using Determined and Fuzzy Conditions // Information. – 2020. – Vol. 11. – P. 299-1-299-20.

40 Orazbayev B.B., Kozhakhmetova D.О, Wójtowicz R. et al. Modeling of a Catalytic Cracking in the Gasoline Production Installation with a Fuzzy Environment // Energies. – 2020. – Vol. 13. – P. 4736-1-4736-13.

41 Кожемякин М.Ю., Черкасов Е.И. Гидроочистка дизельного топлива // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, №23. – С. 28-30.

42 Сериков Т.П., Оразбаев Б.Б. Технологические схемы переработки нефти и газа в Казахстане. – М.: Нефть и газ, 1993. – Ч. 1. – 118 с.

43 Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. – Уфа, 2003. – 485 с.

44 Александров И.А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке. – М.: Химия: 2018. – 154 с.

45 Маслянский Г.Н., Шапиро Р.Н. Каталитический риформинг бензинов. – М.: Химия, 2005. – 310 с.

46 Петров В.В., Моисеев А.В., Бурдакова Е.С. Гидроочистка прямогонных топлив на шариковых алюмоникельмолибденовых катализаторах // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – №2. – С. 16-19.

47 Pavlov S.Yu., Kulov N.N., KerimovR.M.Improvement of Chemical Engineering Processes Using Systems Analysis // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2016. – Vol. 53, №2. – P. 117-133.

48 [Orazbayev B](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55983511800&eid=2-s2.0-85106489944)., [Zhumadillayeva A.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57188574944&eid=2-s2.0-85106489944), [Orazbayeva K.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55983428500&eid=2-s2.0-85106489944) et al. Development of a Set of Models for Reactors of a Catalytic Reforming Unit Using Information of a Different Nature // Procced. [8th internat. conf. on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE 2021](https://www.scopus.com/sourceid/21101046244))*. –* Antalya,2021. *–* P. 22-26*.*

49 Дьячко А.Г. Математическое планирование экспериментальных исследований: опыты на поиск оптимума. – М.: МИСиС, 1982. – 124 с.

50 Оразбаев Б.Б. Математические методы оптимального планирования и управление производством. – Алматы: Ғылым, 2000. – 200 с.

51 Панов Г.Е., Старикова Г.В. Проблемы охраны окружающей среды в нефеперерабатывающих заводах и подходы к их решению. – М.: РУНГ им. Губкина, 2017. – 325 с.

52 Мазлова Е.А., Абросимов А.А. Техника очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. – М., 1997. – 175 с.

53 Шицкова А.Б. Охрана окружающей среды в нефтеперерабатывающей промышленности. – Изд. 2-е. – М.: Химия, 2018. – 287 с.

54 Абросимов А.А., Ерохин Ю.Ю. Экологический мониторинг окружающей среды нефтеперерабатывающих предприятий // Нефтепереработка и нефтехимия. – 1997. – №11. – С. 44-47.

55 Иванов Е.Н. Противопожарная защита открытых технологических установок НПЗ. – М.: Химия, 2015. – 317 с.

56 Абросимов А.В., Захаров С.М., Коломийцев В.М. и др. Автоматический контроль взрывоопасности воздушной среды нефтеперерабатывающего завода: обзор. информ. – М.: ВНИИТИ, 1991. – Вып. 10. – 57 с.

57 Пешкова О. А. Соотношение понятий «вред», «убытки», «ущерб» // <http://www.justicemaker.ru/view-article.php?art=1348&id=4>. 28.04.2022.

58 Fryer L.S., Kaiser G.D. A computer program for the calculation of the dispersion of dense toxic or explosive gases in the atmosphere // Applied Mathematics & Information Sciences – 2009. – Vol. 5, №3. – Р. 40-45.

59 Марчук Г.И. Методы математического моделирования в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 315 с.

60 Оразбаев Б.Б., Сериков Ф.Т. Подходы к решению экономико-экологических проблем предприятий на основе математических методов и компьютерной технологии // Матер. междунар. конф., посв. 100-летию академика К.И. Сатпаева. – Жезказган, 1999. – С. 389-394.

61 Навацкий А.А., Федоров А.В. Автоматический контроль загазованности территорий промышленных объектов, охраняемых ВПО // Совершенствование деятельности органов Государственного пожарного надзора: сб. науч. тр. – М.: ВИПТШ МВД РФ, 1991. – С. 233-236.

62 Lashover J.H. Computerized emergency system provides rapid warning of hazardous chemical leaks // In book: Chemical Processing, Sept. – Lawley, 1995. –Р. 25-32.

63 Hezzion V.I., Sugazte I.O. Smoke control and the microprocessor // Heat/Pip/ Air condit. – 2010. – Vol. 52, №10. – P. 43-46.

64 Надиров Н.К., Оразбаева К.Н. Исследование экономико-экологических критериев установки каталитического риформинга, формализация задачи оптимизации и разработка алгоритма ее решения // Нефть и газ. – 2007. – №2. – С. 86-93.

65 Абдульминев К.Г., Ахметов А.Ф., Сайфуллин Н.Р. Производство ароматических углеводородов и высокооктановых бензинов // Башкирский химический журнал. – 2017. – Т. 7, №2. – С. 47-50.

66 Борзов А.Н., Сотников В.В. Управление реакторным блоком процесса гидроочистки // Автоматизация в промышленности. – 2017. – №5. – С. 27-38.

67 Черкасов Е.И., Кожемякин М.Ю. Гидроочистка нефтепродуктов. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2018. – 208 с.

68 Оразбаева К.Н., Сериков Ф.Т., Оразбаев Б.Б. Математическое моделирование производственных объектов нефтегазовой отрасли. – Алматы: Эверо, 2005. – 170 с.

69 Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа. 2001. – 320 с.

70 Курмангазиева Л.Т. Организация и проведение экспертных оценок для разработки математических моделей технологических объектов нефтепереработки // Вестник КазНТУ им. К. Сатпаева. – 2008. – №2. – С. 114-119.

71 Бешелов С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – Изд. 2-е. – М.: Статистика, 2018. – 308 с.

72 Рыков А.С., Оразбаев Б.Б. Системный анализ и исследование операций: Экспертные оценки. Методы и применение: курс лекций. – М.: МИСиС, 1995. – 115 с.

73 Гуцыкова С. Метод экспертных оценок: теория и практика. – М.: Когито-Центр. **2017.** – **509** c.

74 Sabzi H.Z. Developing an intelligent expert system for streamflow prediction, integrated in a dynamic decision support system for managing multiple reservoirs: a case study // Expert systems with applications. – 2017. – Vol. 82, №3. – P. 145-163.

75 Zade L.A. Fuzzy Sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – Р. 338-353.

76 Рыжов А.П. Теория нечетких множеств и ее приложений. – М.: МГУ, 2017. – 115 с.

77 Dubois D. The role of fuzzy sets indecision sciences: old techniques and new directions // Fuzzy Sets and Systems. – 2011. – Vol. 184. – P. 3-17.

78 Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 250 с.

79 Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Марков В.П. Системный анализ процессов химической технологии: применение метода нечетких множеств. – М.: Наука, 1986. – 307 с.

80 Колесников И.В. Моделирование и оптимизация процессов нефтепереработки. – Изд. 2-е. – М.: РУНГ им Губкина, 2018. – 208 с.

81 Математическое моделирование: темат. сб. науч. тр. / под ред. А.И. Широков и др. – М.: Металлургия. 1990. – 160 с.

82 Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. – М.: Металлургия, 1990. – 239 с.

83 Оразбаев Б.Б., Курмангазиева Л.Т. Моделирование, оптимизация и принятие решений в нечеткой среде. – Саарбрюккен: Lambert Academic Publishing. 2015. – 157 с.

84 Оразбаев Б.Б. Методы моделирования и принятия решений для управления производством в нечеткой среде. – Астана, 2016. – 398 с.

85 Лисиенко В.Г., Волков В.В., Гончаров А.Л. Математическое моделирование теплообмена в печах и агрегатов. – Киев: Наукова думка, 2004. – 239 с.

86 Анисимов И.В., Бодров В.И., Покровский В.Б. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок. – Изд. 2-е. – М.: Химия, 2016. – 245 с.

87 Бровкин Л.А., Коротин А.Н. Математическое моделирование и оптимизация параметров технологических печей. – Иваново: ИГУ, 2014. – 225 с.

88 Кафаров В.В., Дорохов Н.Н. Введение в системный анализ и моделирование химико-технологических процессов и систем. – Изд. 2-е. – М.: МХТИ, 2017. – 357 с.

89 Жоров Ю.М. Моделирование физико-химических процессов нефтепереработки и нефтехимии. – Изд. 3-е. – М.: Химия, 2018. – 388 с.

90 Оносовский В.В. Моделирование и оптимизации холодильных установок. – Л.: ЛГУ, 1990. – 208 с.

91 Rykov A.S., Orazbaev B.B. et al. Fuzzy Model of the Column in the Decision Making System for the control of Rectification Process// Magazine of the Romanian Society for Fuzzy Systems. – 1991. – Vol. 2, №1. – P. 21-27.

92 Рыков А.С., Оразбаев Б.Б., Кузнецов А.Г. Математическое моделирование процесса получения кокса на установках замедленного коксования // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1991. – №8. – С. 66-69.

93 Дрегалин А.Ф. Математическое моделирование высокотемпературных процессов в энергоустановках. – Казань: КГУ, 2007. – 287 с.

94 Александров С.В., Лунев В.А. Математическое моделирование металлургических объектова и процессов. – СПБ.: БХВ, 2018. – 127 с.

95 Дьячко А.Г. Математические модели металлургических процессов. Применение регрессионного анализа для ранжировки факторов. – М.: МИСиС, 2005. – 157 с.

96 Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. – М.: Наука, 1979. – 327 с.

97 Карданская Н.Л. Принятие управленческого решения. – М.: ЮНИТИ, 2009. – 407 с.

98 Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. – Изд. 2-е. – М.: Экономика, 2017. – 188 с.

99 Саркисян С.А. Теория прогнозирования и принятия решений. – М.: Высшая школа, 1977. – 355 с.

100 Рыков А.С., Оразбаев Б.Б. Система поддержки принятия решений для управления технологическими агрегатами // Автоматизация технологических процессов и комплексов: межвуз. сб. науч. тр. – Алма-Ата, 1992. – С. 3-9.

101 Поляк В.Т. Введение в оптимизацию. – Изд. 2-е. – М.: Наука, 2015. – 397 с.

102 Рыков А.С. Теория и методы управляемого прямого поиска: дис. … док. техн. наук: 05.13.07. – М., 1985. – 365 с.

103 Dixon C. Optimization in Action: Proceedings of the Conference on Optimization in Action Held at the University of Bristol in January 1975. – NY.: Academic Press, 2012. – 622 p.

104 Зайченко Ю.Н. Исследование операций: нечеткая оптимизация. – Киев: Высщая школа. 1991. – 278 с.

105 Курицкий Б.Я. Оптимизация вокруг нас. – М.: Машиностроение, 1994. – 157 с.

106 Рыков А.С., Оразбаев Б.Б. Системный анализ: методы многокритериального выбора и нечеткой оптимизации. – М.: Металлург, 1996. – 117 с.

107 Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенного решения / пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 250 с.

108 Бекмуратов Т.Ф., Дадабаева Р.А., Мухамедиева Д.Т. Принятие решений в нечеткой среде // Проблемы информатики. – 2009. – №1(5). – С. 52-60.

109 Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука. 1981. – 308 с.

110 Губко М.В. Лекции по принятию решений в условиях нечеткой информации. – М.: МФТИ. 2017. – 178 с.

111 Павлов А.Н., Соколов Б.В. Принятие решений в условиях нечеткой информации: учеб. пос. – СПб., 2006 – 72 с.

112 Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 485 с.

113 Zhao Z.-W., Wang D.-H. [Statistical inference for generalized random coefficient autoregressive model](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717711007655) // Mathematical and Computer Modelling. – 2012. – Vol. 56. − Р. 152-166.

114 Карманов Ф.И., Острейковский В.А. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCad. – М.: Инфра-М, 2017. – 287 c.

115 Мешалкин В.П. Экспертные системы в химической технологии. – М.: Химия, 1995. – 350 с.

116 Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении. – М.: Экономика, 2012. – 133 с.

117 Сериков Т.П., Оразбаева К.Н. Интенсификация технологических объектов нефтепереработки на основе математических методов. – Алматы: Эверо, 2006. – 157 с.

118 Арсланов М.З., Айдарханов М.Б. Отчет о НИР «Разработка и исследование моделей, методов и алгоритмов нечеткой математики и нейронных сетей для информационных технологий классификации и принятия решений: отчет о НИР (заключительный). – Алматы, 2005. – 105 с. –№гос.регистрации 0103РК00124. – Инв. №0203РК00947.

119 Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 350 с.

120 Нечеткие множества и теория возможностей: последние достижения: сб. ст. / под ред. Р.Р. Ягера; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 405 с.

121 Saridis G.N. Analytical formulation of the principle of increasing precision with decreasing intelligence for intelligent machines // Automatics. – 2016. – Vol. 25, №3. – Р. 45-58.

122 Сваровский С.Г. Аппроксимация функций принадлежности нечетких параметров. – Новосибирск: НГУ, 2015. – 127 с.

123 Скофенко А.В. О построении функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих количественным экспертным оценкам // Науковедение и информатика: республ. межведом. сб. – Киев: Наукова думка, 2016. – 112 с.

124 Эддоус М., Стенсфилд Р. Методы принятия решений. – М.: Аудит, 1997. – 217 с.

125 Чернеоруцкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений. – СПб.: Лань, 2001. – 278 с.

126 Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2002. –427 с.

127 Дорогов В.Г., Теплова Я.О. Введение в методы и алгоритмы принятия решений. – М.: Форум, 2016. – 320 c.

128 Орлов А.И. Методы принятия управленческих решений. – М.: КноРус, 2018. – 317 c.

129 Семенов С.С., Воронов Е.М., Полтавский А.В. и др. Методы и модели принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем. – М.: Ленанд, 2019. – 516 c.

130 Оразбаев Б.Б. Интеллектуальные системы принятия решений для управления технологическими объектами при дефиците информации // Автоматизация, телемеханизация, и связь в нефтяной промышленности. – 1994. – №6-7. – С. 12-13.

131 Черноруцкий И.Г. Интерактивные процедуры многокритериального выбора // Научно-технические ведомости СПбПУ. Информатика, Телекоммуникации Управление. – 2012. – №2. – С. 126-131.

132 Соколова А.Ю. Разработка моделей многокритериального выбора альтернатив на основе нечетких множеств второго порядка для решения экономических задач. – Владимир, 2018. – 104 с.

133 Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия  
решения. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

134 Постников В.М. Черненький В.М. Методы принятия решений в системах организационного управления. – М.: Мир, 2018. – 208 c.

135 Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб., 2012. – 318 с.

136 Дорогов В.Г., Теплова Я.О. Введение в методы и алгоритмы принятия решений. – М.: Форум, 2016. – 320 c.

137 Набатова Д.С. Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений. – Люберцы: Юрайт, 2016. – 292 c.

138 Рыков А.С.Поисковая оптимизация. Методы многокритериальной оптимизации. – М.: Наука, 2005. – 278 с.

139 [Sharikov](http://www.springerlink.com/content/?Author=Yu.+V.+Sharikov) Yu.V., [Petrov](http://www.springerlink.com/content/?Author=P.+A.+Petrov) P.A. [Universal model for catalytic reforming](http://www.springerlink.com/content/br0wn2h316r1v65x/) // [Chemical and Petroleum Engineering](http://www.springerlink.com/content/0009-2355/). – 2013. – [Vol. 43, №9](http://www.springerlink.com/content/0009-2355/43/9-10/). – Р. 580-597.

140 Seif Mohaddecy S.R., Zahedi S., Sadighi S. et al. Reactor modeling and simulation of catalytic reforming process // Petroleum & Coal. – 2006. – Vol. 48, №3. – Р. 28-35.

141 Лисиенко В.Г., Трофимова О.Г., Трофимов С.П. Моделирование сложных вероятностных систем. – Екатеринбург: УРФУ, 2011. – 200 с.

142 Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. – М.: Наука, **2020**. – **257 с.**

**143 Оразбаев Б.Б. Теория и практика нечетких множеств. – Алматы: Бастау, 2014. – 498 с.**

**144** Разумков М.С. Методы вербального анализа: исследование и сравнение // Фундаментальные исследования. – 2016. – №10-3. – С. 642-646.

145 Ларичев О.И. Вербальный анализ решений: монография. – М.: Наука, 2006. – 181 с.

**146** Pavlov S.Yu., Kulov N.N., KerimovR.M.Improvement of Chemical Engineering Processes Using Systems Analysis // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2016. – Vol. 53, №2. – P. 117-133.

147 Orazbayev B.B., Ospanov Ye.A., Orazbayeva K.N. et al. Development of mathematical models of R-1 reactor hydrotreatment unit using available information of various types // APITECH-2019 Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1399. – P. 44024.

148 Тихонов О.Н. Теория сепарационных процессов. – СПб., 2003. – 99 с.

149 Тронов В.П. Теоретические основы сепарационных процессов и сепараторов в нефтепереработке. – Казань: КГУ, 2007. – 378 с.

150 Плотников С.А., Семенов Д.М., Фрадков А.Л., Математическое моделирование систем управления. – СПб.: Университет ИТМО, 2021 – 193 с.

151 Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – Изд. 12-е, перер. – М.: Высшее образование, 2006. – 479 с.

152 Сулейменов Б.А.Интеллектуальные и гибридные системы управления технологическими процессами*.* – Алматы: Пикула и К, 2009. – 345 с.

153 Orazbayev B.B., Ospanov E.A., Orazbayeva K.N. et al. Hybrid Method for the Development of Mathematical Models of a Chemical Engineering System in Ambiguous Conditions // [Mathematical Models and Computer Simulations](https://www.scopus.com/sourceid/21100382607?origin=recordpage). – 2018. –Vol. 10, Issue 6. – P. 748-758.

154 Оразбаев Б.Б., Кульжанов Д.У., Оразбаева К.Н. и др. Исследование и описание процесса производства бензола на основе методов экспертных оценок // Новости науки Казахстана. – 2015. – №2(124). – С. 172-186**.**

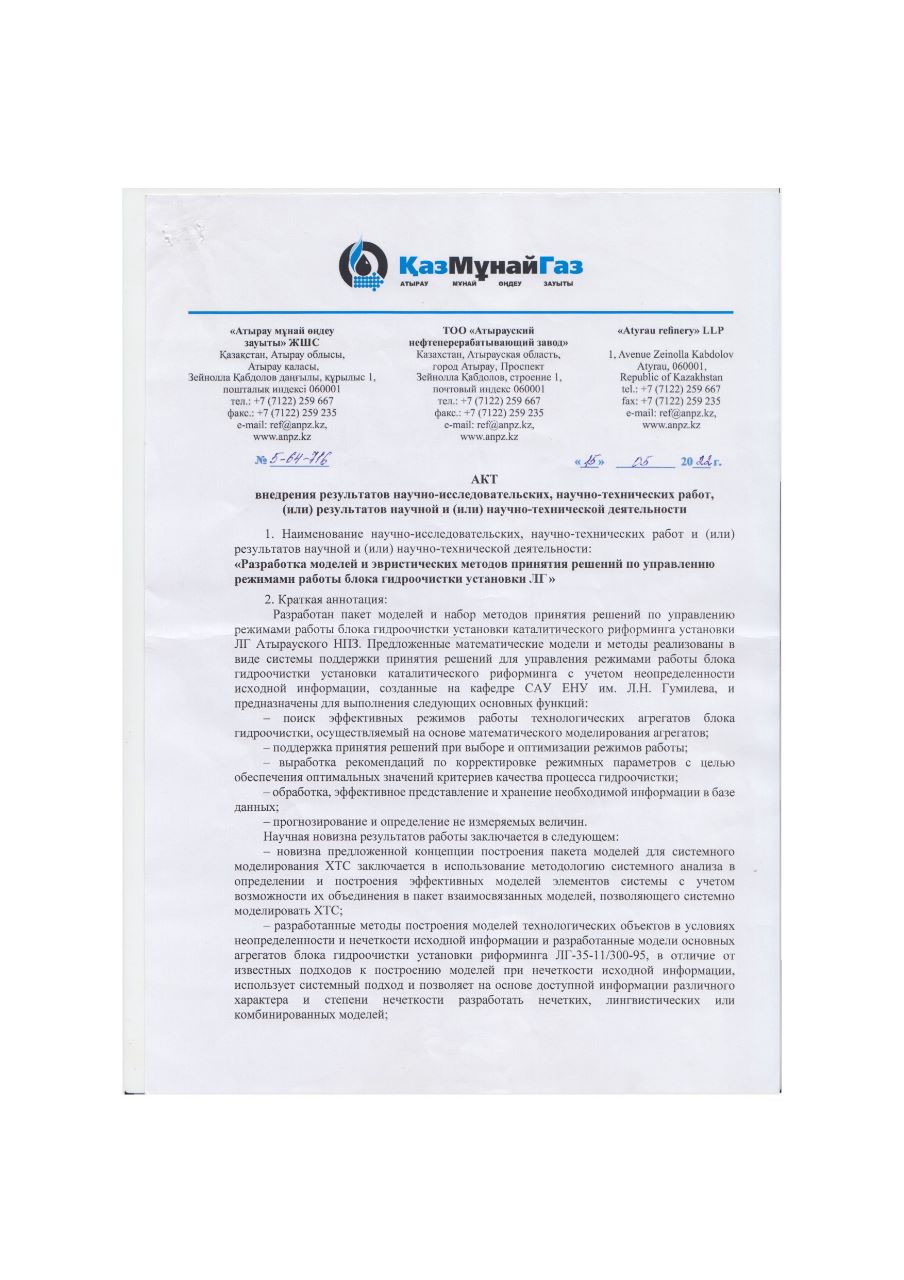
155 Tanirbergenova A., Orazbayev B., Ospanov Y. Hydrotreating unit models based on statistical and fuzzy information // [Periodicals of Engineering and Natural Sciences](https://www.scopus.com/sourceid/21100840458)*. –* 2021. – Vol 9, №4. – P. 242-258.

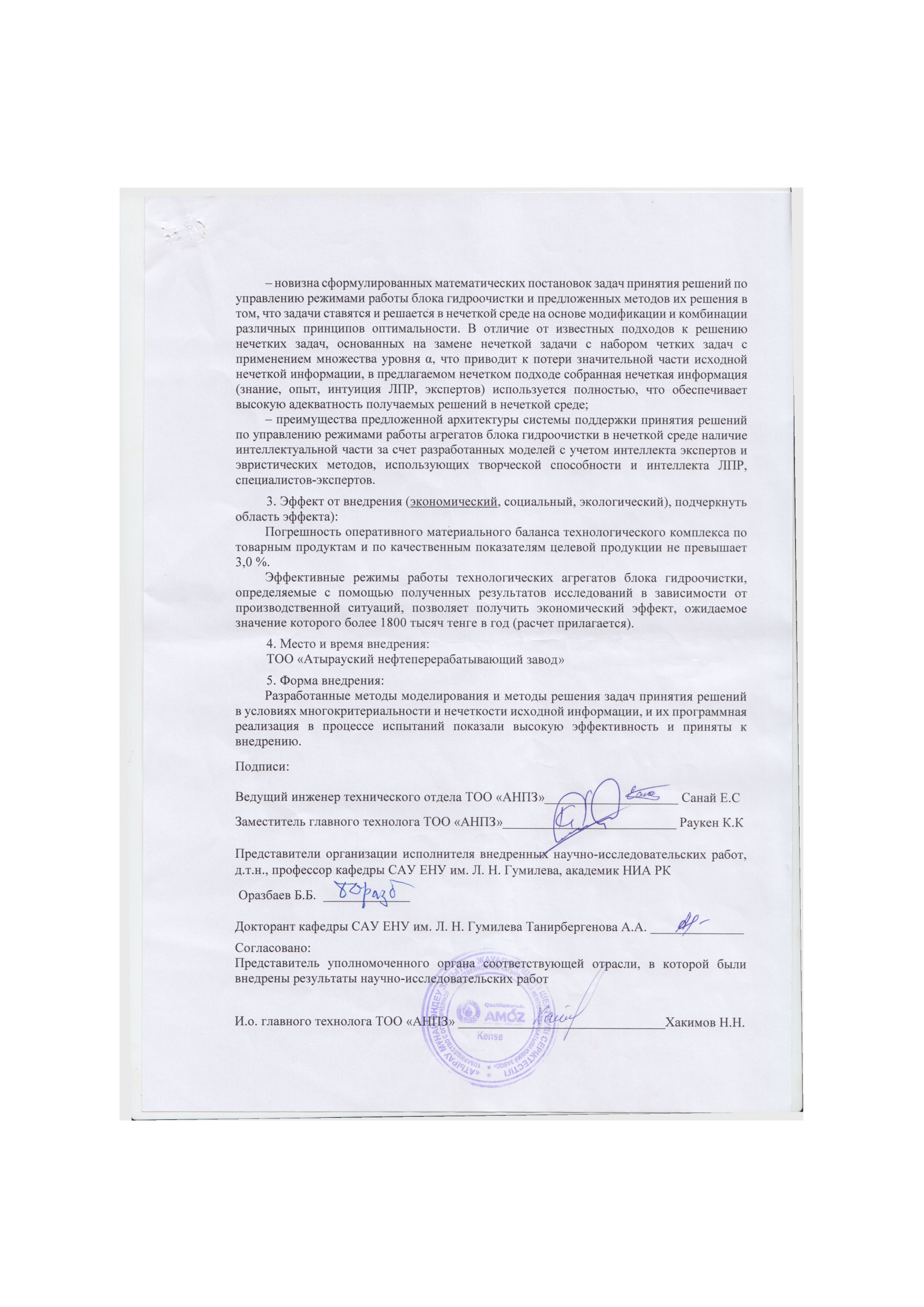
156 Курмангазиева Л.Т. Разработка математических моделей технологических объектов нефтепереработки: на примере блока риформинга установки ЛГ: автореф. … канд. техн. наук: 05.13.18. – Алматы, 2008. – 24 с.

157 Оразбаев Б.Б. Новые информационные технологии в нефтепереработке // Новости науки Казахстана. – 1998. – №5. – С. 51-54.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Акт внедрения

****



**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

Блок-схема алгоритмизации методов разработки нечетких и лингвистических моделей

Начало

Измерение и ввод *xi*, *RD*,

Оценка значений 

Определение терм-множества 

1

2

3

4

5

6

Анализ и выбор параметров

 и 

Определение структуры модели (функции ) (структурная идентификация)

9

7

Построение функций принадлежности нечетких параметров

Нет

Конец

Вывод результатов

Да

10

Модель адекватна?



8

Определение значений нечетких коэффициентов модели (параметрическая идентификация)

Рисунок Б.1 – Блок-схема алгоритмизации метода НМ

Начало

Оценка и ввод значений  

Определение терм-множества 

1

2

3

4

5

6

Анализ и выбор параметров

 и 

Построение функции принадлежностей 

9

7

Построение лингвистической модели, формализация 

Нет

Конец

Моделирование объекта

Да

10

Модель адекватна?



8

Определение  и 

Рисунок Б.2 – Блок-схема алгоритмизации метода ЛМ

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**

Карты экспертного опроса для основных технологических агрегатов блока гидроочистки установки риформинга

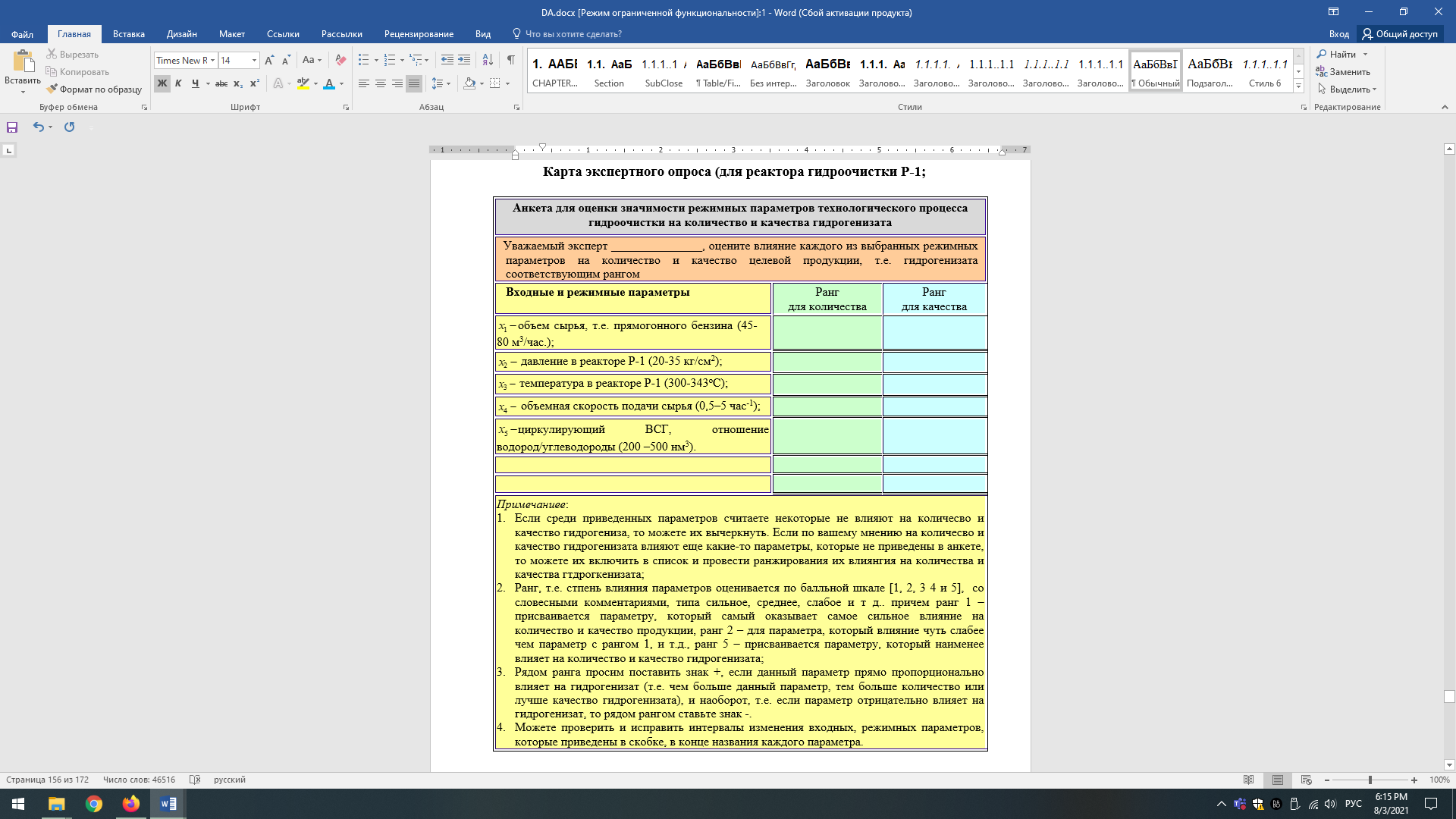


Рисунок В.1 – Карта экспертного опроса (для реактора гидроочистки Р-1

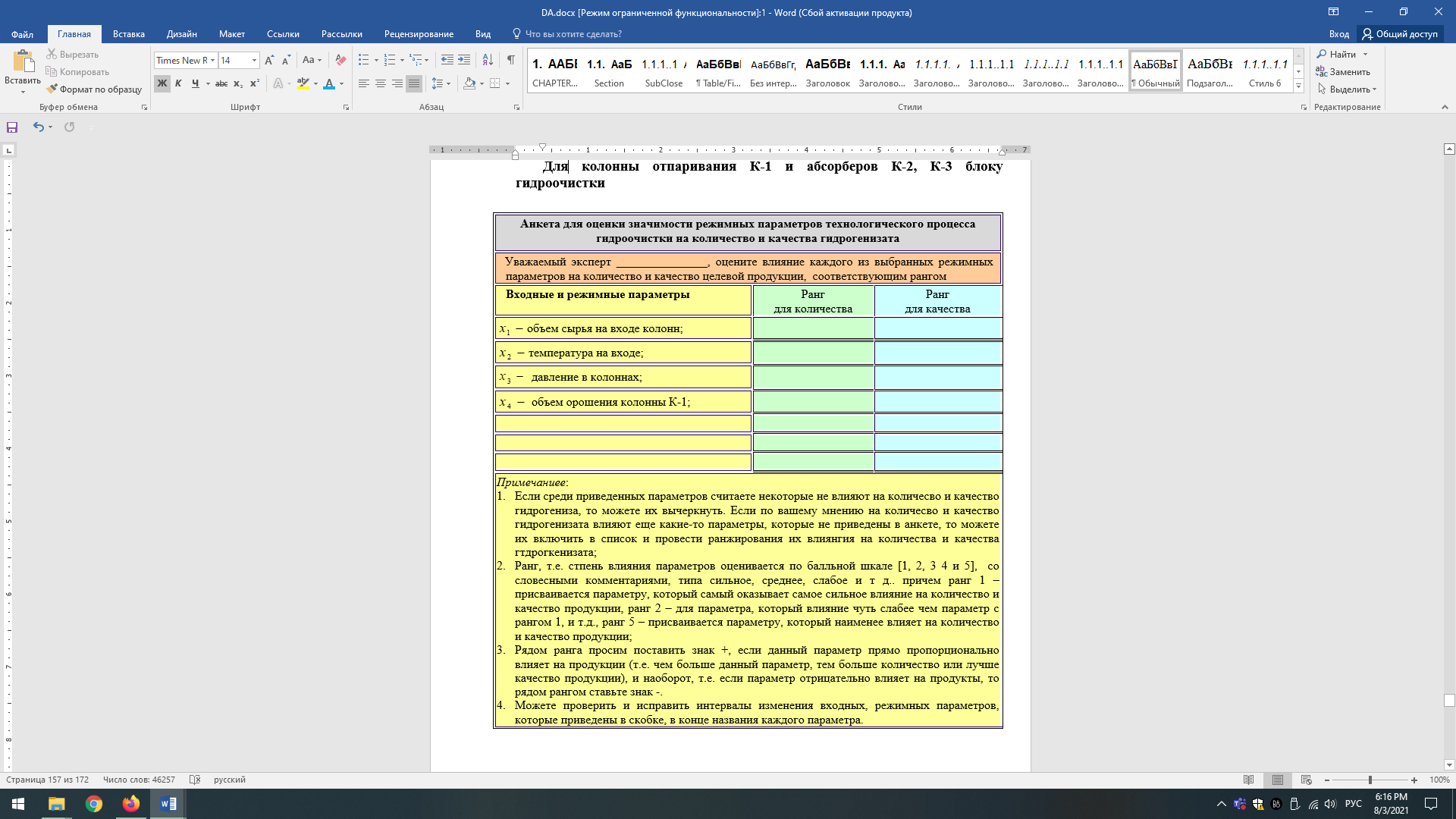


Рисунок В.2 – Для колонны отпаривания К-1 и абсорберов К-2, К-3 блоку гидроочистки

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

Таблица Г.1 – Нечеткие множества, описывающие входные параметры, их терм-множество и функции принадлежности каждого терма

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры, интервалы их изменения | Терм-множество | Функции принадлежности |
| *х*1 *–* объем загрузки сырья,  [45*–*80 м3/час] | ниже нормы |  |
| норма |  |
| выше нормы |  |
| *х*2 *–* давление в реакторах Р-1,  [20*–*35 кг/см2] | низкое |  |
| среднее |  |
| высокое |  |
| *х*3 *–* температура в реакторе Р-1,  [300*–*343оС] | низкая |  |
| средняя |  |
| высокая |  |
| *х*4 *–* объемная скорость подачи сырья,  [0,5*–*5 час-1] | низкая |  |
| средняя |  |
| высокая |  |
| *х5 –* циркулирующий ВСГ,  [200*–*500 нм3] | ниже нормы |  |
| норма |  |
| выше нормы |  |

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

Таблица Д.1 – Характеристики и свойства сравниваемых методов решения задач принятия решений при решении тестовых задач

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Методы | Применя емые принципы оптималь ности | Необходимая исходная информация | Сходи мость,  [сек] | Значения крите риев | Степень выполне  ния ограничений (ФП) | Оценка удобства  эксп луа тации  [в бал лах 1-5] |
| *Метод MC+ММ* | Главный критерий (для критериев),  Принцип максимина (для ограни-чений) | Ряд приоритета крите-риев , где 1 – главный критерий, вектор весовых коэффи-циентов для ограниче-ний , граничные значения для критериев ; –количество шагов для каждой координате. | 75 | 77,5 |  | 5 |
| *Метод PO+PP* | Парето оптимальность (для критериев),  Идеальная  точка (для ограничений | Вектор весовых коэффициентов для критериев , вид метрики для определения расстояние до идеальной точки | 82 | 75, |  | 3 |
| *Метод*  *AorRA+PO* | Абсолютная или относи-тельная ус-тупка (для критериев), уступка–  Парето опти-мальность (для ограничений | Вектор весовых коэффициентов для оценки взаимной важности критериев , и вектор весовых коэффициентов для оценки важности ограничений . | 83 | 78 |  | 4 |
| Примечания:  1. Приведены средние значения свойства методов.  2. Для сравнения методов с помощью сравниваемых методов решена тестовая задача по управлению режимами работы блока гидроочистки, рассмотренная в работе (разделе 4).  3. В таблице приведены средние значения полученных характеристик | | | | | | |

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**

Расчет экономической эффективности от внедрения полученных результатов

Расчет ожидаемого значения экономического эффекта от использование построенных моделей основных агрегатов блока гидроочистки установки риформинга и разработанных методов принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки в нечеткой среде в составе системы поддержки принятия решений (СППР).

*Факторы, которые обеспечивают эффективность моделей и методов принятия решений при управлении режимами работы блока гидроочистки с учетом нечеткости некоторой части исходной информации*

Экономическая эффективность построенных моделей и разработанных эвристических методов, предназначенные для решения задач системного моделирования работы блока гидроочистки и принятия решений по управлению режимами работы агрегатов данного блока в условиях неопределенности обеспечивается на основе нижеприведенных факторов:

– за счет использование интерактивного, диалогового режиме в процессе моделирования и принятия решений при управлении режимами работы технологических агрегатов блока гидроочистки;

– за счет организации рационального распределения функций между человеком-оператором (ЛПР) и компьютерной системой, что обеспечивает оперативного учета таких факторов, как изменения условий работы и требований к производимым продуктам, изменения значения параметров, влияющих на процесс гидроочистки и т.д.;

– за счет ведение процесса гидроочистки с учетом состояний каждого агрегата технологического комплекса блока гидроочистки;

– за счет применение СППР создаваемой на основе современных и эффективных методов разработки моделей и методов принятия решений в нечеткой среде, позволяющие оперативно решать задачу принятия решений и управления. Для сбора формализации и использования доступной нечеткой информации применяется методы экспертных оценок, математический аппарат теорий нечетких множеств;

– разрабатываемая СППР дополнительно позволяет произвести регулярный контроль различных параметров технологического процесса на основе получения своевременной, доступной информации о состоянии агрегатов, запасов сырья, о количестве и качестве продуктов и т.д.

– производственные и экономические показатели обрабатываются и выводятся в форме, удобной для использования всеми службами управления:

– математические модели агрегатов блока гидроочистки являются адаптивными, так как в составе СППР предусмотрено возможность корректировки моделей информации, накапливаемой в базе знаний и данных и идентификатор параметров моделей;

- предлагаемая архитектура СППР создана по принципу открытой системы и может дополнительные и новые функции кроме моделирования и поддержки принятия решений, например, функции интенсификации производства, функции информационной системы или системы для обучения персонала установки ЛГ.

*Расчет ожидаемого годового экономического эффекта*на основе типовой методики [156, с. 3-23].

Согласно методике, ожидаемое значение годового экономического эффекта определяется по формуле :

где – годовой прирост прибыли, т.е. годовая экономия; – годовой объем реализуемой продукции до и после внедрения результатов исследований (математических моделей и методов принятия решений в составе СППР), тыс. тенге, для блока гидроочистки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ *А*1=105500;

– затраты на тенге реализуемой продукции до после внедрения результатов исследований, тиын:

*П*1 – прибыль от реализуемой продукции до внедрения результатов исследований, тыс. тенге;

– нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений отросли (в нефтеперераьботке [157, с. 51-53]);

– затраты, связанные с созданием и внедрением СППР (капитальные вложения), тыс. тенге;

Каждое слагаемое годового экономического эффекта (Е.1) рассчитывается отдельно:

1. *Расчет годового прироста прибыли за счет роста объема выпускаемой продукции* :

=

107610 тыс. тенге.

Здесь – коэффициент роста реализуемой продукции; – внутренние потери рабочего времени, соответственно в условиях отсутствия и наличия СППР, в %.

Исследования и анализ результатов моделирования и принятия решений показали, что за счет работы технологического комплекса блока гидроочистки в эффективных режимах, найденных на основе применения результатов исследований, при соблюдении требуемых качеств продуктов, выходы продуктов изменяются следующим образом: выход гидрогенизата– увеличивается на 1,5 %, потери уменьшается на 1,75%. Это обеспечивает увеличение реализации товарной продукции на 1050,5 тыс. тенге за год.

Используя *С* = 77247,33 тыс. тенге – себестоимости годового выпуска продукции (данные завода), определим значении прибыли от реализации товарной продукции до внедрения СППР:

105500 – 77247,33 = 28252,67 тыс. тенге.

Таким образом, годовой прирост прибыли за счет роста объема выпускаемой продукции:

*2. Расчет годового прироста прибыли за счет снижение издержек производства:*

где = (77247,33/105500)⋅100=73,22 тиын,

*С*2 = (77845,074/ 107610) ⋅100 = 72,34 тиын.

Себестоимость реализуемой продукции после внедрения результатов исследований системы – , определяется по следующей формуле:

Произведем расчет составляющих

*=* 57830⋅1,02⋅(1-0,0033) = 58791,94 тыс. тенге,

где , – соответственно, затраты на сырье и материалы при функционировании СППР и до внедрения ее; *α* – коэффициент характеризующий возможное сокращение расходов сырья и материалов после внедрения результатов исследований (в режиме советчика).

= 9027,47⋅1,02⋅(1 – 0,001) = 9198.81 тыс. тенге,

где – соответственно, затраты на топливо и энергии после и до внедрения результатов исследований;

– коэффициент характеризующий возможное сокращение затраты на топливо и энергию на технологические цели.

=(327–0,75)⋅[1+0,6⋅(1,02–1)]=

357–0,75)⋅[1+0,7⋅ (1,022–1)] = 356,25⋅1,0154 = 375,49 тыс. тенге,

где , – соответственно, основная и дополнительная зар.плата производственных рабочих с отчислением на соц.страхование в условиях функционирования СППР и до ее внедрения: = 0,75 сокращение доплат за сверхурочные работы (5% от общей суммы доплат без СППР);

*α* – коэффициент соотношения темпов прироста средней зар.платы и темпов прироста производительности труда.

=7575,37⋅1,022+437,5 =7742,03+437,5 = 8179,53 тыс. тенге,

где – соответственно, общая, условно-переменная и условно-постоянная часть расходов на содержание и эксплуатацию оборудования после внедрения результатов исследований ( – прямо пропорционально росту объема производства);

– условно- переменная и условно-постоянная часть предыдущих характеристик до внедрения СППР.

= 367,7⋅[1+(1,022–1)⋅0,35)] = 370,53 тыс. тенге,

где  *–* цеховые расходы после и до внедрения моделей и методов принятия решений в составе СППР;

*–* коэффициент зависимости прироста цеховых расходов от прироста объема производства.

= 195,25⋅1,022 = 199,545 тыс. тенге,

где – внепроизводственные расходы при функционирования СППР и до внедрения ее.

тыс. тенге.

где – прочие производственные расходы после и до внедрения результатов исследований.

= 355 + 0,809 = 355,809 тыс. тенге,

где – общая величина затрат на содержание СППР, тыс. тенге;

= 355 тыс. тенге – годовые расходы на эксплуатацию СППР (обслуживание, амортизации, ремонт, носители информации и др.);

– затраты на электроэнергию, потребляемую техническими средствами:

4590⋅2,6⋅0,0678/1000 = 0,809 тыс. тенге.

Здесь  *=* 5400 – 810 = 4590 ч., где – фонд работы компьютера и периферийного оборудования с учетом времени на планово-предупредительные ремонты и прочие плановые простои; – потребляемая мощность компьютера и периферийного оборудования; – цена на электроэнергию

Таким образом, себестоимость реализуемой продукции после внедрения системы равно:

= 58791,94+9198.81+375,49+8179,53+370,53+199,545+343.42+355,809 =

77845,074 тыс. тенге.

Годовой прирост прибыли за счет снижение издержек производства:

*=*((73,64 –72,34)/100)⋅ 107610 = (1,3/100)⋅ 107610 = =1398.93 тыс. тенге.

3. Вычисляем – затраты, связанные с созданием и внедрением СППР на базе разработанных в диссертационной работе комплекса математических моделей и методов принятия решений в составе СППР, т.е. капитальные вложения, тыс. тенге:

= 500 + 200 =700 тыс. тенге,

где тыс. тенге затраты на проведение научно-исследовательских работ для разработки математических моделей и методов принятия решений, т.е. математического обеспечения и самой СППР;

тыс. тенге затраты на приобретение и на строительно-монтажные работы, связанные с созданием системы.

Таким образом, используя результатов расчета п. 1.2.3 по формуле (Е.1) определяем ожидаемое значение годового экономического эффекта:

565.05 + 1398.93 – 0,15\*700 = 1963,98 – 105.0 = 1858,00 тыс. тенге.

Расчетное значение эффективности затрат на создание СППР:

сравниваем с нормативным значением для нефтегазовой отросли и определяем, что , следовательно, внедрение результатов исследований считается высоко эффективным.

Срок окупаемости (*Т*) будет равен:

т.е. достаточно быстро окупается.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**

Код программы

import numpy as np

from numpy import \*

import matplotlib.pyplot as plt

from matplotlib.pyplot import \*

import math

import sys

from tkinter import \*

from tkinter import filedialog

from tkinter.filedialog import askopenfilename

from tkinter.messagebox import \*

import tkinter as tk

from PIL import ImageTk, Image

#from tkinter import \*

from tkinter import messagebox

from tkinter import ttk

import sqlite3

# creates a Tk() object

master = Tk()

# sets the geometry of main

# root window

master.geometry("800x400")

master.title('Система поддержки принятия решений по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга')

master.configure(background="SkyBlue3")

# This will import all the widgets

# and modules which are available in

# tkinter and ttk module

from tkinter.ttk import \*

# function to open a new window

# on a button click

def modeling():

# Toplevel object which will

# be treated as a new window

newWindow = Toplevel(master)

# sets the title of the

# Toplevel widget

newWindow.title("Modeling")

newWindow.configure(background="SkyBlue2")

# sets the geometry of toplevel

newWindow.geometry("1200x600")

# A Label widget to show in toplevel

Labelooo = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labelooo.grid(row=2, column=0)

Labelzz = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labelzz.grid(row=3, column=0)

Labelo = Label(newWindow, text = "Входные данные:", background="SkyBlue2")

Labelo.configure(font=("Garamond", 14, "bold"))

Labelo.grid(row=3, column=2)

Labelzz = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labelzz.grid(row=5, column=0)

#x1-----------------------------------------------------------------------

Label\_x1 = Label(newWindow, text = "Объем сырья (45 - 80 м3/ч)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x1.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x1.grid(row=5, column=2, sticky=W)

Entry\_x1 = Entry(newWindow, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x1.grid(row=5, column=4)

Labeloodo = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labeloodo.grid(row=6, column=0)

#x2-----------------------------------------------------------------------

Label\_x2 = Label(newWindow, text = "Давление в реакторе (20 - 35 кг/см2)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x2.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x2.grid(row=7, column=2, sticky=W)

Entry\_x2 = Entry(newWindow, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x2.grid(row=7, column=4)

Label22 = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Label22.grid(row=8, column=0)

#x3-----------------------------------------------------------------------

Label\_x3 = Label(newWindow, text = "Температура в реакторе (300 - 330 С)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x3.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x3.grid(row=9, column=2, sticky=W)

Entry\_x3 = Entry(newWindow, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x3.grid(row=9, column=4)

Label432 = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Label432.grid(row=10, column=0)

#x4-----------------------------------------------------------------------

Label\_x4 = Label(newWindow, text = "Объемная скорость подачи сырья (0.1 - 0.5 час -1)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x4.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x4.grid(row=11, column=2, sticky=W)

Entry\_x4 = Entry(newWindow, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x4.grid(row=11, column=4)

Label234 = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Label234.grid(row=12, column=0)

#x5-----------------------------------------------------------------------

Label\_x5 = Label(newWindow, text = "Циркулирующий ВСГ (200 - 300 км3)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x5.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x5.grid(row=13, column=2, sticky=W)

Entry\_x5 = Entry(newWindow, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x5.grid(row=13, column=4)

Labelii = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labelii.grid(row=3, column=5)

#----------------------------------------------------------------------------------------------------

#Выходные значения---------------------------------------------------------------

LabeleH = Label(newWindow, text = "Выходные данные:", background="SkyBlue2")

LabeleH.configure(font=("Garamond", 14, "bold"))

LabeleH.grid(row=3, column=6)

Labelrty = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labelrty.grid(row=4, column=6)

#Объем гидрогенизата на выходе реактора--------------------------------------------

Label\_y = Label(newWindow, text = "Объем гидрогенизата на выходе реактора (т/сутки)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_y.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_y.grid(row=5, column=6, sticky=W)

Entry\_y = Entry(newWindow, width=7, font='Garamond 17')

Entry\_y.grid(row=5, column=8)

Labelty = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labelty.grid(row=6, column=8)

#Объем целевой продукции колонны К-1--------------------------------------------

Label\_z = Label(newWindow, text = "Объем целевой продукции колонны К-1 (т/сутки)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_z.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_z.grid(row=7, column=6, sticky=W)

Entry\_z = Entry(newWindow, width=7, font='Garamond 17')

Entry\_z.grid(row=7, column=8)

Labelyui = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labelyui.grid(row=8, column=8)

#Объем целевой продукции колонны К-2--------------------------------------------

Label\_t = Label(newWindow, text = "Объем целевой продукции колонны К-2 (т/сутки)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_t.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_t.grid(row=9, column=6, sticky=W)

Entry\_t = Entry(newWindow, width=7, font='Garamond 17')

Entry\_t.grid(row=9, column=8)

Labelyyyy = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labelyyyy.grid(row=10, column=8)

#Объем целевой продукции колонны К-3--------------------------------------------

Label\_v = Label(newWindow, text = "Объем целевой продукции колонны К-3 (т/сутки)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_v.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_v.grid(row=11, column=6, sticky=W)

Entry\_v = Entry(newWindow, width=7, font='Garamond 17')

Entry\_v.grid(row=11, column=8)

Labeluuu = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labeluuu.grid(row=12, column=8)

#Объем целевой продукции печи------------------------------------------------------

Label\_u = Label(newWindow, text = "Объем целевой продукции печи (т/сутки)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_u.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_u.grid(row=13, column=6, sticky=W)

Entry\_u = Entry(newWindow, width=7, font='Garamond 17')

Entry\_u.grid(row=13, column=8)

Labeluuu = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2")

Labeluuu.grid(row=14, column=8)

#Содержание ненасыщенных углеводородов---------------------------------------

Label\_w1 = Label(newWindow, text = "Содержание ненасыщенных углеводородов (%)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_w1.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_w1.grid(row=15, column=6, sticky=W)

Entry\_w1 = Entry(newWindow, width=7, font='Garamond 17')

Entry\_w1.grid(row=15, column=8)

#Содержание серы---------------------------------------------------------------

Label\_w2 = Label(newWindow, text = "Содержание серы в гидрогенизате (%)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_w2.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_w2.grid(row=16, column=6, sticky=W)

Entry\_w2 = Entry(newWindow, width=7, font='Garamond 17')

Entry\_w2.grid(row=16, column=8)

#Содержание водорастворимых кислот и щелочей--------------------------

Label\_w3 = Label(newWindow, text = "Содержание водорастворимых кислот и щелочей (%)", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_w3.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_w3.grid(row=17, column=6, sticky=W)

Entry\_w3 = Entry(newWindow, width=7, font='Garamond 17')

Entry\_w3.grid(row=17, column=8)

def function():

x1 = Entry\_x1.get() x1 = float(x1)

x2 = Entry\_x2.get() x2 = float(x2)

x3 = Entry\_x3.get() x3 = float(x3)

x4 = Entry\_x4.get() x4 = float(x4)

x5 = Entry\_x5.get() x5 = float(x5)

y = Entry\_y.get() z = Entry\_z.get()

t = Entry\_t.get() v = Entry\_v.get()

u = Entry\_u.get() w1 = Entry\_w1.get()

w2 = Entry\_w2.get() w3 = Entry\_w3.get()

if (x1 >= 45.0 and x1 <= 80.0 and x2 >= 20.0 and x2 <= 35.0 and x3 >= 300.0 and x3 <= 330.0 and x4 >= 0.1 and x4 <= 0.5 and x5 >= 200.0 and x5 <= 300.0):

#ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЕРВОГО ВЫХОДНОГО ЗНАЧЕНИЯ--------------------

y = round(float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4),2) y = float(y)

#ВЫЧИСЛЕНИЕ ВТОРОГО ВЫХОДНОГО ЗНАЧЕНИЯ--------------------

z = round(float(7.0 + 0.110 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4),2) z = float(z)

#ВЫЧИСЛЕНИЕ ТРЕТЬЕГО ВЫХОДНОГО ЗНАЧЕНИЯ-------------------

if (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.1, 200.0): t = 47.8

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (80.0, 35.0, 330.0, 0.5, 300.0): t = 77.1

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 35.0, 300.0, 0.1, 200.0): t = 56.8

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 330.0, 0.1, 200.0): t = 53.2

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.5, 200.0): t = 55.4

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.1, 300.0): t = 30.2

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (62.5, 27.5, 315.0, 0.3, 250.0): t = 60.8

else:

t = round(float(7.0 + 0.150 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 +0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4),2) t = float(t)

#ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧЕТВЕРТОГО ВЫХОДНОГО ЗНАЧЕНИЯ---------------

if (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.1, 200.0): v = 46.3

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (80.0, 35.0, 330.0, 0.5, 300.0): v = 75.6

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 35.0, 300.0, 0.1, 200.0): v = 63.4

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 330.0, 0.1, 200.0): v = 53.1

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.5, 200.0): v = 50.1

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.1, 300.0): v = 31.4

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (62.5, 27.5, 315.0, 0.3, 250.0): v = 64.3

else:

v = round(float(7.0 + 0.180 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4),2) v = float(v)

#ВЫЧИСЛЕНИЕ МОДЕЛИ ПЕЧИ------------------------------------------------

if (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.1, 200.0): u = 46.9

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (80.0, 35.0, 330.0, 0.5, 300.0): u = 76.5

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 35.0, 300.0, 0.1, 200.0): u = 57.5

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 330.0, 0.1, 200.0): u = 54.7

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.5, 200.0): u = 54.3

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.1, 300.0): u = 30.8

elif (x1, x2, x3, x4, x5) == (62.5, 27.5, 315.0, 0.3, 250.0): u = 61.9

else:

u = round(float(7.0 + 0.200 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 +0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4),2) u = float(u)

#ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ПАРАМЕТРОВ----------------------

w1 = round(float(0.003 + 0.000011 \* x1 + 0.00029 \* x2 + 0.00001 \* x3 - 0.00053 \* x4 + 0.000003 \* x5 + 0.000002 \* x1 \* x1 + 0.00002 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x4 \* x4 + 0.00004 \* x1 \* x2 + 0.00001 \* x1 \* x3 - 0.00018 \* x1 \* x4 + 0.00021 \* x2 \* x3 + 0.0000024 \* x2),2) w1 = float(w1)

#--------------------------------------------------------------------------------------------

w2 = round(float((0.004 - 0.0003 \* x1 + 0.001 \* x2 + 0.00004 \* x3 - 0.00053 \* x4 + 0.000003 \* x5 - 0.000002 \* x1 \* x1 + 0.00002 \* x2 \* x2 - 0.00018 \* x4 \* x4 - 0.00004 \* x1 \* x2 + 0.00001 \* x1 \* x3 + 0.001 \* x1 \* x4)/10000),8) w2 = float(w2)

#--------------------------------------------------------------------------------------------

w3 = round(float(0.00025 + 0.002 \* x1 + 0.00037 \* x2 - 0.00005 \* x3 + 0.00667 \* x4 + 0.000004 \* x5 - 0.00001 \* x2 \* x2 + 0.000222 \* x4 \* x4 + 0.00001 \* x1 \* x2 - 0.00002 \* x1 \* x4 + 0.000006 \* x2 \* x4 - 0.000001 \* x3 \* x4 + 0.0000010 \* x4 \* x5),2); w3 = float(w3)

Entry\_y.delete(0, END) Entry\_y.insert(0, y) Entry\_z.delete(0, END)

Entry\_z.insert(0, z) Entry\_t.delete(0, END) Entry\_t.insert(0, t)

Entry\_v.delete(0, END) Entry\_v.insert(0, v) Entry\_u.delete(0, END)

Entry\_u.insert(0, u) Entry\_w1.delete(0, END) Entry\_w1.insert(0, w1)

Entry\_w2.delete(0, END) Entry\_w2.insert(0, w2) Entry\_w3.delete(0, END)

Entry\_w3.insert(0, w3)

Label\_1 = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_1.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_1.grid(row=18, column=6, sticky=W)

Button\_1 = Button(newWindow, text='Вычислить', command=function)

Button\_1.grid(row=19, column=8, ipady=10)

Label\_2 = Label(newWindow, text = " ", background="SkyBlue2", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_2.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_2.grid(row=20, column=6, sticky=W)

#Clear entry boxes

def clear\_entries():

Entry\_x1.delete(0, END) Entry\_x2.delete(0, END)

Entry\_x3.delete(0, END) Entry\_x4.delete(0, END)

Entry\_x5.delete(0, END) Entry\_y.delete(0, END)

Entry\_z.delete(0, END) Entry\_t.delete(0, END)

Entry\_v.delete(0, END) Entry\_u.delete(0, END)

Entry\_w1.delete(0, END) Entry\_w2.delete(0, END)

Entry\_w3.delete(0, END)

clear\_button = Button(newWindow, text="Очистить", command=clear\_entries)

clear\_button.grid(row=22, column=8, ipady=10)

#----------------------------------------------------------------------------------------------------

def opt():

# Toplevel object which will

# be treated as a new window

win2 = Toplevel(master)

# sets the title of the

# Toplevel widget

win2.title("Optimization")

win2.configure(background="SkyBlue1")

# sets the geometry of toplevel

win2.geometry("1100x600")

Labelooo = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelooo.grid(row=2, column=0)

Labelzz = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelzz.grid(row=3, column=0)

Label\_vx = Label(win2, text = "Входные данные:", background="SkyBlue1")

Label\_vx.configure(font=("Garamond", 14, "bold"))

Label\_vx.grid(row=3, column=2)

Labelzz = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelzz.grid(row=4, column=2)

#Параметр c1-------------------------------------------------------------------------------

Label\_с1 = Label(win2, text = "Весовой коэффициент 1", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_с1.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_с1.grid(row=5, column=2, sticky=W)

Entry\_с1 = Entry(win2, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_с1.grid(row=5, column=4)

Labelccc = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelccc.grid(row=6, column=2)

#Параметр c2----------------------------------------------------------------------------------

Label\_c2 = Label(win2, text = "Весовой коэффициент 2", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_c2.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_c2.grid(row=7, column=2, sticky=W)

Entry\_с2 = Entry(win2, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_с2.grid(row=7, column=4)

Labelcc2 = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelcc2.grid(row=8, column=2)

#Параметр c3---------------------------------------------------------------------------------

Label\_с3 = Label(win2, text = "Весовой коэффициент 3", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_с3.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_с3.grid(row=9, column=2, sticky=W)

Entry\_с3 = Entry(win2, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_с3.grid(row=9, column=4)

Labelcc3 = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelcc3.grid(row=10, column=2)

#Параметр х1-------------------------------------------------------------------------------

Label\_x1 = Label(win2, text = "Объем сырья (45 - 80 м3/ч)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x1.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x1.grid(row=11, column=2, sticky=W)

Entry\_x1 = Entry(win2, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x1.grid(row=11, column=4)

Labelcx1 = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelcx1.grid(row=12, column=2)

#Параметр х2--------------------------------------------------------------------------------

Label\_x2 = Label(win2, text = "Давление в реакторе (20 - 35 кг/см2)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x2.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x2.grid(row=13, column=2, sticky=W)

Entry\_x2 = Entry(win2, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x2.grid(row=13, column=4)

Labelcx2 = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelcx2.grid(row=14, column=2)

#Параметр х3--------------------------------------------------------------------------------

Label\_x3 = Label(win2, text = "Температура в реакторе (300 - 330 С)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x3.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x3.grid(row=15, column=2, sticky=W)

Entry\_x3 = Entry(win2, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x3.grid(row=15, column=4)

Labelcx3 = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelcx3.grid(row=16, column=2)

#Параметр х4---------------------------------------------------------------------------------

Label\_x4 = Label(win2, text = "Объемная скорость подачи сырья (0.1 - 0.5 час -1) ", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x4.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x4.grid(row=17, column=2, sticky=W)

Entry\_x4 = Entry(win2, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x4.grid(row=17, column=4)

Labelcx4 = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labelcx4.grid(row=18, column=2)

#Параметр х5---------------------------------------------------------------------------------

Label\_x5 = Label(win2, text = "Циркулирующий ВСГ (200 - 300 км3)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_x5.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_x5.grid(row=19, column=2, sticky=W)

Entry\_x5 = Entry(win2, width=5, font='Garamond 17')

Entry\_x5.grid(row=19, column=4)

Labeliji = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1")

Labeliji.grid(row=3, column=5)

Label\_vx = Label(win2, text = "Оптимизируемые данные:", background="SkyBlue1")

Label\_vx.configure(font=("Garamond", 14, "bold"))

Label\_vx.grid(row=3, column=6)

Label\_p3 = Label(win2, text = "", background="SkyBlue1")

Label\_p3.grid(row=4, column=6)

#Параметр у-------------------------------------------------------------------------------

Label\_y = Label(win2, text = "Объем гидрогенизата на выходе реактора (т/сутки)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_y.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_y.grid(row=5, column=6, sticky=W)

Entry\_y = Entry(win2, width=6, font='Garamond 17')

Entry\_y.grid(row=5, column=8)

Label\_yp3 = Label(win2, text = "", background="SkyBlue1")

Label\_yp3.grid(row=6, column=6)

#Оптимальное значение х1---------------------------------------------------------------

Label\_opt\_x1 = Label(win2, text = "Объем сырья (м3/час)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_opt\_x1.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_opt\_x1.grid(row=7, column=6, sticky=W)

Entry\_opt\_x1 = Entry(win2, width=6, font='Garamond 17')

Entry\_opt\_x1.grid(row=7, column=8)

Label\_ox1 = Label(win2, text = "", background="SkyBlue1")

Label\_ox1.grid(row=8, column=6)

#Оптимальное значение х2---------------------------------------------------------------

Label\_opt\_x2 = Label(win2, text = "Давление в реакторе (кг/см2)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_opt\_x2.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_opt\_x2.grid(row=9, column=6, sticky=W)

Entry\_opt\_x2 = Entry(win2, width=6, font='Garamond 17')

Entry\_opt\_x2.grid(row=9, column=8)

Label\_pp3 = Label(win2, text = "", background="SkyBlue1")

Label\_pp3.grid(row=10, column=6)

#Оптимальное значение х3---------------------------------------------------------------

Label\_opt\_x3 = Label(win2, text = "Температура в реакторе (С)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_opt\_x3.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_opt\_x3.grid(row=11, column=6, sticky=W)

Entry\_opt\_x3 = Entry(win2, width=6, font='Garamond 17')

Entry\_opt\_x3.grid(row=11, column=8)

Label\_px3 = Label(win2, text = "", background="SkyBlue1")

Label\_px3.grid(row=12, column=6)

#Оптимальное значение х4---------------------------------------------------------------

Label\_opt\_x4 = Label(win2, text = "Объемная скорость подачи сырья (час-1)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_opt\_x4.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_opt\_x4.grid(row=13, column=6, sticky=W)

Entry\_opt\_x4 = Entry(win2, width=6, font='Garamond 17')

Entry\_opt\_x4.grid(row=13, column=8)

Label\_px4 = Label(win2, text = "", background="SkyBlue1")

Label\_px4.grid(row=14, column=6)

#Оптимальное значение х5------------------------------------------------------------

Label\_opt\_x5 = Label(win2, text = "Циркулирующий ВСГ (км3)", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_opt\_x5.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_opt\_x5.grid(row=15, column=6, sticky=W)

Entry\_opt\_x5 = Entry(win2, width=6, font='Garamond 17')

Entry\_opt\_x5.grid(row=15, column=8)

def optimization():

x\_1 = Entry\_x1.get() x\_1 = float(x\_1)

x\_2 = Entry\_x2.get() x\_2 = float(x\_2)

x\_3 = Entry\_x3.get() x\_3 = float(x\_3)

x\_4 = Entry\_x4.get() x\_4 = float(x\_4)

x\_5 = Entry\_x5.get() x\_5 = float(x\_5)

c1 = Entry\_с1.get() c2 = Entry\_с2.get()

c3 = Entry\_с3.get() f\_new = Entry\_y.get()

x1 = Entry\_opt\_x1.get() x2 = Entry\_opt\_x2.get()

x3 = Entry\_opt\_x3.get() x4 = Entry\_opt\_x4.get()

x5 = Entry\_opt\_x5.get() for i in range(0, 5): #задаем цикл

if (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.1, 200.0):

x1 = round(float(44.32 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(21.9 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(287.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(0.1),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(195.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round(float(53.72 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new = float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 35.0, 330.0, 0.5, 300.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 +0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new = float(f\_new)

x1 = round((78.2 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((35.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((327.8 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round(0.5,2) x4 = float(x4)

x5 = round((298.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (62.5, 27.5, 315.0, 0.3, 250.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 +0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((63.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((27.8 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((320.0 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.2),2) x4 = float(x4)

x5 = round((247.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((65.78 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 35.0, 330.0, 0.5, 300.0):

x1 = round((float(x\_1 + 0.75)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((float(x\_2 + 0.5)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((float(x\_3 + 0.43)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((float(x\_4 + 0.43)),2) x4 = float(x4)

x5 = round((float(x\_5 + 0.43)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 +0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 +0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((79.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((34.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((328.8 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.5),2) x4 = float(x4)

x5 = round((297.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((81.30 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 20.0, 300.0, 0.1, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 +0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

x1 = round((78.9 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((20.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((302.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.1),2) x4 = float(x4)

x5 = round((198.5 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((79.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 35.0, 300.0, 0.1, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 +0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4- 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.2 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((34.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((299.8 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.2),2) x4 = float(x4)

x5 = round((201.0 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((63.23 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 20.0, 330.0, 0.1, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 +.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.8 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((19.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((331.5 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.1),2) x4 = float(x4)

x5 = round((199.6 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((59.45 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.5, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 +.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((20.0 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((304.5 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.6),2) x4 = float(x4)

x5 = round((200.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((56.45 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.1, 300.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((20.0 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((302.9 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.1),2) x4 = float(x4)

x5 = round((301.8 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((31.23 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 35.0, 300.0, 0.1, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((80.2 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1) x2 = round((35.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2) x3 = round((301.2 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3) x4 = round((0.1),2) x4 = float(x4)

x5 = round((198.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((89.17 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 20.0, 330.0, 0.1, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 -0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((80.9 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1) x2 = round((20.0 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((330.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3) x4 = round((0.1),2) x4 = float(x4)

x5 = round((200.9 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((85.08 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 20.0, 300.0, 0.5, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new = float(f\_new)

x1 = round((81.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((20.0 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((302.8 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.5),2) x4 = float(x4)

x5 = round((200.9 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((83.21 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 20.0, 300.0, 0.1, 300.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((80.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((20.8 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((301.5 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.2),2) x4 = float(x4)

x5 = round((302.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((58.91 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 35.0, 330.0, 0.1, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.6 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((35.6 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((331.5 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.2),2) x4 = float(x4)

x5 = round((200.6 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((69.71 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 35.0, 300.0, 0.5, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((35.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((301.1 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.5),2) x4 = float(x4)

x5 = round((199.2 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((66.54 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 35.0, 300.0, 0.1, 300.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((35.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((301.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.1),2) x4 = float(x4)

x5 = round((303.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((42.54 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 20.0, 330.0, 0.5, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.2 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((19.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((325.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.6),2) x4 = float(x4)

x5 = round((198.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((62.37 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 20.0, 330.0, 0.1, 300.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((20.5 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((328.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.2),2) x4 = float(x4)

x5 = round((302.1 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((39.41 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2 f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (45.0, 20.0, 300.0, 0.5, 300.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 +0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((45.1 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((19.9 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((301.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.5),2) x4 = float(x4)

x5 = round((301.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((35.54 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 35.0, 330.0, 0.1, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((81.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((35.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((331.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.1),2) x4 = float(x4)

x5 = round((199.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((96.23 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 35.0, 300.0, 0.5, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 +0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((79.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((34.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((301.2 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.5),2) x4 = float(x4)

x5 = round((200.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((94.78 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 35.0, 300.0, 0.1, 300.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((81.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((35.1 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((301.1 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.2),2) x4 = float(x4)

x5 = round((301.6 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((69.10 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 20.0, 330.0, 0.5, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((79.9 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((20.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((331 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.6),2) x4 = float(x4)

x5 = round((200.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((89.14 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 20.0, 330.0, 0.1, 300.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((79.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((19.6 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((331.1 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.1),2) x4 = float(x4)

x5 = round((301.8 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((65.36 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 20.0, 300.0, 0.5, 300.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 -0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((81.1 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((20.7 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((301.2 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.5),2) x4 = float(x4)

x5 = round((301.6 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((63.14 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif (x\_1, x\_2, x\_3, x\_4, x\_5) == (80.0, 35.0, 330.0, 0.5, 200.0):

x1 = round(float(x\_1 + 0.75),2) x1 = float(x1)

x2 = round(float(x\_2 + 0.5),2) x2 = float(x2)

x3 = round(float(x\_3 + 0.43),2) x3 = float(x3)

x4 = round(float(x\_4 + 0.43),2) x4 = float(x4)

x5 = round(float(x\_5 + 0.43),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(7.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new= float(f\_new)

x1 = round((78.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((35.5 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((327.4 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.6),2) x4 = float(x4)

x5 = round((199.3 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((100.54 + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f\_new= float(f\_new)

elif x\_1 >= 45 and x\_1 <= 80 and x\_2 >= 20 and x\_2 <= 35 and x\_3 >= 300 and x\_3 <= 330 and x\_4 >= 0.1 and x\_4 <= 0.5 and x\_5 >= 200 and x\_5 <= 300:

#задание функции

f = round((float(7.0 + 0.233 \* x\_1 + 0.130 \* x\_2 + 0.011 \* x\_3 + 2.333 \* x\_4 - 0.0175 \* x\_5 + 0.0031 \* x\_1 \* x\_1 + 0.0048 \* x\_2 \* x\_2 + 0.0003 \* x\_3 \* x\_3 + 0.7778 \* x\_4 \* x\_4 - 0.0004 \* x\_5 \* x\_5 + 0.0017 \* x\_1 \* x\_2 + 0.00015 \* x\_1 \* x\_3 + 0.03111 \* x\_1 \* x\_4 + 0.00023 \* x\_1 \* x\_5 + 0.08642 \* x\_2 \* x\_4 - 0.00065 \* x\_2 \* x\_3 + 0.00730 \* x\_3 \* x\_4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) f= float(f)

x1 = round((float(x\_1 - 0.5 \* (0.233 + 2 \* 0.0031 \* x\_1 + 0.0017 \* x\_2 + 0.00015 \* x\_3 + 0.03111 \* x\_4 + 0.00023 \* x\_5)) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x1 = float(x1)

x2 = round((float(x\_2 - 0.5 \* (0.130 + 2 \* 0.0048 \* x\_2 + 0.0017 \* x\_1 + 0.08642 \* x\_4 - 0.00065 \* x\_3)) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x2 = float(x2)

x3 = round((float(x\_3 - 0.5 \* (0.011 + 2 \* 0.0003 \* x\_3 + 0.00015 \* x\_1 - 0.00065 \* x\_2 + 0.00730 \* x\_4)) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x3 = float(x3)

x4 = round((0.3),2) x4 = float(x4)

x5 = round((float(x\_5 - 0.5 \* (-0.0175 - 2 \* 0.0004 \* x\_5 + 0.00023 \* x\_1)) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2) x5 = float(x5)

f\_new = round((float(9.0 + 0.233 \* x1 + 0.130 \* x2 + 0.011 \* x3 + 2.333 \* x4 - 0.0175 \* x5 + 0.0031 \* x1 \* x1 + 0.0048 \* x2 \* x2 + 0.0003 \* x3 \* x3 + 0.7778 \* x4 \* x4 - 0.0004 \* x5 \* x5 + 0.0017 \* x1 \* x2 + 0.00015 \* x1 \* x3 + 0.03111 \* x1 \* x4 + 0.00023 \* x1 \* x5 + 0.08642 \* x2 \* x4 - 0.00065 \* x2 \* x3 + 0.00730 \* x3 \* x4) + float(c1) - float(c2) + float(c3)),2)

f\_new = float(f\_new) #проверка входит ли в интервал

if (x\_1 >= 45.0 and x\_1 <= 80.0 and x\_2 >= 20.0 and x\_2 <= 35.0 and x\_3 >= 300.0 and x\_3 <= 330.0 and x\_4 >= 0.1 and x\_4 <= 0.5 and x\_5 >= 200.0 and x\_5 <= 300.0):

if math.fabs(f\_new - f) <= 0.5:

Entry\_y.delete(0, END) Entry\_y.insert(0, f\_new)

Entry\_opt\_x1.delete(0, END) Entry\_opt\_x1.insert(0, x1)

Entry\_opt\_x2.delete(0, END) Entry\_opt\_x2.insert(0, x2)

Entry\_opt\_x3.delete(0, END) Entry\_opt\_x3.insert(0, x3)

Entry\_opt\_x4.delete(0, END) Entry\_opt\_x4.insert(0, x4)

Entry\_opt\_x5.delete(0, END) Entry\_opt\_x5.insert(0, x5)

Entry\_y.delete(0, END) Entry\_y.insert(0, f\_new)

Entry\_opt\_x1.delete(0, END) Entry\_opt\_x1.insert(0, x1)

Entry\_opt\_x2.delete(0, END) Entry\_opt\_x2.insert(0, x2)

Entry\_opt\_x3.delete(0, END) Entry\_opt\_x3.insert(0, x3)

Entry\_opt\_x4.delete(0, END) Entry\_opt\_x4.insert(0, x4)

Entry\_opt\_x5.delete(0, END) Entry\_opt\_x5.insert(0, x5)

Label\_1 = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_1.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_1.grid(row=17, column=8, sticky=W)

Button\_2 = Button(win2, text='Рассчитать', command=optimization)

Button\_2.grid(row=20, column=8)

Label\_2 = Label(win2, text = " ", background="SkyBlue1", anchor="w", justify=LEFT)

Label\_2.configure(font=("Garamond", 14))

Label\_2.grid(row=21, column=8, sticky=W)

def clear\_entries():

Entry\_x1.delete(0, END) Entry\_x2.delete(0, END)

Entry\_x3.delete(0, END) Entry\_x4.delete(0, END)

Entry\_x5.delete(0, END) Entry\_с1.delete(0, END)

Entry\_с2.delete(0, END) Entry\_с3.delete(0, END)

Entry\_y.delete(0, END) Entry\_opt\_x1.delete(0, END)

Entry\_opt\_x2.delete(0, END) Entry\_opt\_x3.delete(0, END)

Entry\_opt\_x4.delete(0, END) Entry\_opt\_x5.delete(0, END)

clear\_button = Button(win2, text="Очистить поля", command=clear\_entries)

clear\_button.grid(row=22, column=8)

Label1 = Label(master, text = "Система поддержки принятия решений", background="SkyBlue3")

Label1.configure(font=("Garamond", 14, "bold"))

Label1.grid(row=0, column=0, padx=15, pady=15)

Label2 = Label(master, text = "по управлению режимами работы блока гидроочистки установки риформинга", background="SkyBlue3")

Label2.configure(font=("Garamond", 14, "bold"))

Label2.grid(row=1, column=0, padx=25, pady=15)

btn1 = Button(master, text ="Моделирование", command = modeling)

btn1.grid(row=2, column=0, ipadx=12, ipady=12)

btn2 = Button(master, text ="Оптимизация", command = opt)

btn2.grid(row=3, column=0, padx=30, pady=30, ipadx=20, ipady=10)

# mainloop, runs infinitely

mainloop()

**ПРИЛОЖЕНИЕ И**

Свидетельство об авторском правом

