

Алуа Амирхановна Танирбергенова – PhD. Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: Alua_15_1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8555-7315>.

Камила Сериковна Бакенова – PhD студент. Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: bakenova.k@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2567-173X>.

Авторлар туралы мәліметтер

Гулназ Бекуалықызы Бахадирова – PhD студент, Астана халықаралық университеті, Қазақстан; e-mail: gulnaz.bahadirova.84@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9464-9809>.

Нұрболат Тасболатұлы* – ассоциированный профессор, Астана халықаралық университеті, Қазақстан; e-mail: tasbolatuly@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0511-7000>.

Алуа Амирхановна Танирбергенова – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: Alua_15_1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8555-7315>.

Камила Сериковна Бакенова – PhD студент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: bakenova.k@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2567-173X>.

Редакцияға енуі 07.08.2025

Өңдеуден кейін түсуі 02.09.2025

Жариялауға қабылданды 03.09.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3\(19\)-18](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-18)



МРНТИ: 27.47.19

Б. Асанова¹, Б. Оразбаев^{2*}, Ж. Молдашева¹, Ж. Шангитова¹, А. Кушубаева³

¹Атырауский университет имени Х. Досмухамедова,
E01Y6P0, Республика Казахстан, г. Атырау, пр. Студенческий, 212

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Z01A3D7, Республика Казахстан, г. Астана, ул. К. Сатпаева, 2

³Торайгыров Университет,
S14P3K7, Республика Казахстан, г. Павлодар, улица Ломова, 64

*e-mail: batyr_or@mail.ru

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЯНОГО КОКСА

Аннотация. В данном исследовании создана система поддержки принятия решений с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса основанная на разработанные модели основных агрегатов установки замедленного коксования (УЗК) с учетом нечеткой информации от экспертов. Дано описание основных интерфейсов созданной интеллектуализированной системы поддержки принятия решений (ИСППР) с помощью которых пользователь системы моделирует различные режимы работы основных агрегатов УЗК, оптимизирует их параметров и эффективно управляет процессом производства кокса. Пользователь с помощью созданной ИСППР по разным критериям может управлять процессом производства кокса в зависимости от спроса на объем и требований к качеству кокса. Используя ИСППР пользователь системы может максимизировать объемы производимого кокса с требуемыми качественными показателями или обеспечить требуемый объем кокса с наилучшими качественными показателями. В отличие от других систем, основанные на известные детерминированные модели УЗК, созданная ИСППР позволяет более адекватно моделировать, эффективно оптимизировать и управлять режимами работы УЗК. На основе сравнение результатов моделирования для оптимизации режимов работы УЗК с использованием созданной ИСППР, известных систем детерминированного моделирования и оптимизации установлены преимущества созданной системы по сравнению известными аналогичными системами.

Ключевые слова: нечеткая среда, нечеткие модели, система поддержки принятия решений, процесс коксования, интерфейс пользователя.

Введение

Нефтяной кокс, получаемый путем глубокой переработки тяжелых остатков переработки нефти (гудрона, мазута) на установках замедленного коксования (УЗК), является самым качественным коксом, который используется в космической технике, электронике, электротехнике и многих других отраслях производства [1-2]. В настоящее время на мировом рынке спрос на нефтяной кокс интенсивно растет. В связи с этим проблемы эффективного управления процессом производства нефтяного кокса на УЗК на основе современных интеллектуализированных систем поддержки принятия решений является весьма актуальной научно-практической задачей.

При управлении процессом производства кокса важным моментом является обеспечения необходимых качественных показателей получаемого кокса. На практике основные качественные показатели как зольность и летучесть кокса непосредственно измерительными системами не измеряется [3]. Эти показатели качества кокса в производственных условиях оцениваются нечетко на основе знания, опыта и интуиции операторов-технологом – лица, принимающего решения (ЛПР), принимающие решения по управлению работой УЗК, специалистов-экспертов заводской лаборатории. Такое положение оценки качества кокса требует управлять процессом производства кокса на УЗК с применением системы поддержки принятия решений (СППР) с элементами интеллектуализации, позволяющие определить качественных показателей кокса в нечеткой среде. С учетом этого требования определена цель данного исследования, которая заключается в создании методики разработки интеллектуализированных систем поддержки принятия решений на примере СППР с элементами интеллектуализации для эффективного управления процессом производства кокса.

Вопросы проектирования и разработки систем поддержки принятия решений в том числе и интеллектуализированных СППР (ИСППР) для эффективного решения различных задач в условиях неопределенности исследованы в ряде работ. Например авторами работ [5-6] предложены подход к проектированию и разработки СППР для решения задачи в законодательстве и для проектирования различных приспособлений. В работе [7] проведен критический анализ результатов исследований СППР. Вопросы разработки СППР в медицине исследованы автором работы [8], а в работе [9] предложена методология разработки СППР на основе моделей запросов пользователей.

Авторами работы [10] исследованы общие вопросы создания интеллектуализированных СППР. Анализ процессов разработки ИСППР для решения задач в условиях неопределенности и перспективы их развития исследованы в работе [11]. В работах [12-13] предложены подходы к проектированию и разработке ИСППР для решения задач диагностики в медицине и эпидемиологии.

По результатам литературного анализа по теме исследования можно отметить, что в существующих исследованиях в основном не охвачены проблемы и особенности разработки СППР и ИСППР для управления технологическими процессами сложных производств. Для эффективного управления такими сложными технологическими процессами, как процессы производства кокса на УЗК, характеризующиеся нечеткостью, необходимо создать интеллектуализированные СППР, позволяющие эффективного решения задач принятия решений в для оптимального управления сложными технологическими процессами.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является УЗК Атырауского НПЗ в котором протекают процессы производства нефтяного кокса технологическая схема которой приведена на рисунке 1.

Основные качественные показатели производимого кокса как зольность и летучесть кокса оцениваются нечетко с участием ЛПР, специалистов-экспертов заводской лаборатории. Соответственно в качестве материалов, данных и методов исследования в данной работе используются:

- статистические данные, собранные методами пассивных и активных экспериментов [14] и обработанные вероятностными методами и методами математической статистики [15];
- нечеткая информация и качественных показателей кокса, собранная методами экспертной оценки [16] и обработанная методами теории нечетких множеств [17].

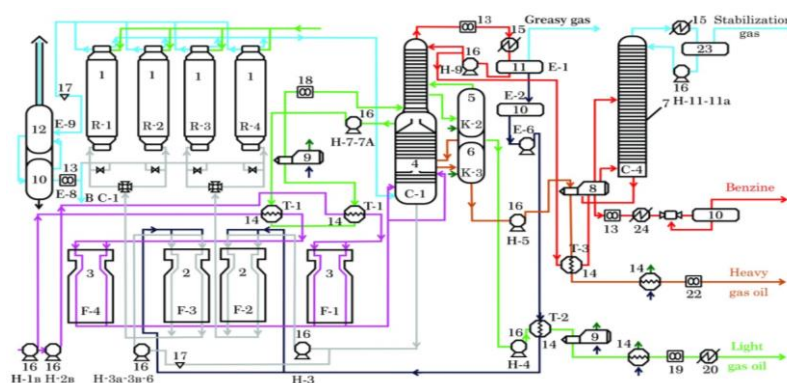


Рисунок 1 – Технологическая схема УЗК Атырауского НПЗ

Основные взаимосвязанные агрегаты УЗК, в которых протекают процессы производства кокса:

1 – coking reactors; 2, 3 – печи подогрева; 4 – the main rectification column

Кроме перечисленных методов для разработки эффективных моделей взаимосвязанных агрегатов УЗК на основе доступной информации различного характера системно применяются экспериментально-статистические методы [18] и методы разработки нечетких, лингвистических моделей [19] и их модификации. Процесс проектирования и разработки СППР с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса основывается на концепции создания ИСППР для управления режимами работы химико-технологических систем, предложенной в работе [20].

Более подробно раскрываем методы сбора, обработки и интерпретации экспериментальных данных. Сбор и обработка стохастических экспериментальных данных проводятся на основе методов пассивных и активных экспериментов, основанных на методы математического планирования экспериментов, а также методами теорий вероятностей и математической статистики. Для получения нечеткой информации используются методы экспертной оценки, а обработка полученной нечеткой информации осуществляется методами теорий нечетких множеств. Интерпретация, т.е. объяснение, осмысление полученных экспериментальных данных осуществляется на основе сопоставление с предыдущими экспериментами; выявления закономерностей – зависимостей между переменными технологического процесса производства кокса и тенденции и формулировкой выводов по полученным данным.

Результаты исследований

1. Основные интерфейсы созданной СППР для управления процессом производства кокса и их описания

Разработанная СППР с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса имеет удобный пользовательский интерфейс с помощью которого на понятном языке и удобной для ЛПР форме представляются результаты моделирования и принятия решений по управлению процессом производства кокса. При этом интеллектуализации СППР обеспечивается за учет использование интеллекта (знания, опыта, эвристики ЛПР, экспертов) при разработке моделей и принятия решений в нечеткой среде. Интерфейс ползователя системы позволяет ЛПР в удобном виде ввести и менять исходных данных для моделирования и параметров для принятия решений по управлению процессом производства кокса, а также менять параметров ограничений и произвести поиск эффективных режимов работы УЗК.

Приведем основные интерфейсы ИССПР для управления процессом производства нефтяного кокса и их краткое описание. При запуске ИСППР УЗК открывается главное меню интерфейса пользователя, в котором в интерактивном режиме представлена общая информация о ИСППР УЗК, об ее функциях, которая приведена на рисунке 2.

При выборе из приведенного интерфейса меню «Моделирование» открывается интфейс, позволяющий провести компьютерного моделирования режимов работы основных агрегатов УЗК: реактора коксования R-1-4; основной ректификационной колонны C-1; печей первичного F-1,4 и вторичного подогрева F-2,3. Моделирование режимов работы основных агрегатов УЗК: реактора коксования R-1,4; основной ректификационной колонны C-1; печей первичного F-1,4 и вторичного подогрева F-2,3, становится доступным при нажатии название соответствующих агрегатов.

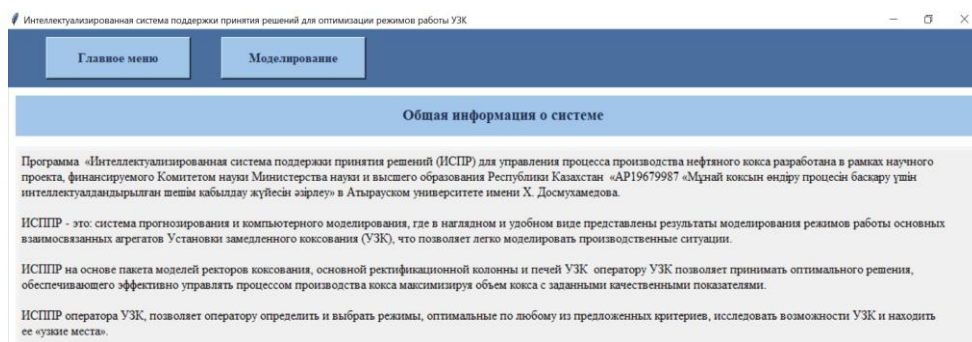


Рисунок 2 – Главное меню интерфейса ИСППР УЗК

На следующем рисунке 3 приведен интерфейс ИСППР УЗК, который открывается при выборе из меню «Моделирование» подменю Реактор коксования R-1–4 для моделирования режимов работы реактора коксования.

Начальные параметры		Результаты расчета	
Объем сырья (100-108 т/час)	107	Выход нефтяного кокса	25
Температура на входе (480-490 °C)	488	Летучесть кокса	9
Давление на входе (3.5-5.0 кг/см²)	4.7	Зольность кокса	0.3
Показатель коксования сырья (8.0-10.0 %)	9.8	Объем паров нефтепродуктов	5.4
Коэффициент рециркуляции (1.1-1.4)	1.37		
Рассчитать			
Очистить			

Рисунок 3 – Интерфейс ИСППР УЗК для моделирования и оптимизации режимов работы реактора коксования УЗК

Как видно из рисунка 3 при открытии интерфейса для моделирования режимов работы реактора коксования УЗК в поле «Начальные параметры» отражаются наименование входных, режимных параметров реактора коксования с указанием рабочей областей их изменения и единиц измерения. Пользователь ИСПР УЗК здесь может провести компьютерное моделирование режимов работы реактора коксования меняя значения его входных, режимных параметров: объема сырья в реактор; температуру и давления на входе реактора, а также показателя коксования сырья и коэффициента рециркуляции.

При нажатии кнопки «Рассчитать» на правом поле «Результаты расчета» выводится результаты расчета выходных параметров (выход нефтяного кокса, его качественные показатели т.е. летучесть и зольность кокса, объем паров нефтепродуктов), т. е. результаты моделирования, полученные для выбранных значений входных режимных параметров реактора коксования. Таким образом данный интерфейс позволяет пользователю – ЛПР моделировать различных режимов работы реактора коксования меняя его входные, режимные параметры и выбрать эффективный режим его работы, который обеспечивает максимальный объем кокса с заданными качественными показателями. В зависимости от спроса на объем и требований к качеству кокса эффективным режимом работы может оказаться такой режим, который обеспечивает требуемый объем кокса с наилучшими качественными показателями.

Таким образом ЛПР при решении задачи принятия решений по управлению процессом производства кокса в зависимости от спроса и требований потребителей кокса может путем компьютерного моделирования может принимать решения по выбору наилучшего режима работы реактора R-1,4 УЗК.

Аналогично моделированию различных режимов работы реактора коксования и принятия решений по выбору его наилучшего режима работы для эффективного управления процессом производства кокса с помощью разрабатываемой ИСППР УЗК ЛПР может

моделировать и оптимизировать режимов работы других основных агрегатов УЗК: основной ректификационной колонны С-1 УЗК; печей первичного и вторичного подогрева F-1,4 и F-2,3 сырья.

Для этого пользователям необходимо из меню «Моделирование» выбрать соответственно подменю «Основная ректификационная колонна С-1 УЗК» или «Печи подогрева первичного F-1,4 и вторичного сырья F-2,3 сырья УЗК». Например, на рисунке 4 приведен интерфейс ИСППР УЗК при выборке подменю подменю «Основная ректификационная колонна С-1 УЗК», позволяющие провести компьютерное моделирование и оптимизации режимов работы основной ректификационной колонны УЗК.

Рисунок 4 – Интерфейс ИСППР УЗК для моделирования и оптимизации режимов работы основной ректификационной колонны УЗК

Процедура компьютерного моделирования и оптимизации режимов работы основной ректификационной колонны УЗК с использованием данного интерфейса системы аналогично описанной выше процедуре моделирования и выбора эффективного режима работы реактора коксования. Как видно из рисунка 4 при выборке подменю «Основная ректификационная колонна С-1 УЗК» из меню «Моделирование» В левой части интерфейса отображаются наименования входных, режимных параметров основной ректификационной колонны: объем сырья; объем паров; объем циркуляционного орошения; температура верха и вывода бензина из колонны, с указанием единиц измерений и рабочих областей изменения. А в правой части интерфейса приводятся результаты моделирования, т.е. значения выходных параметров основной ректификационной колонны полученных при выбранных значениях ее входных, режимных параметров.

Процедура компьютерного моделирования и оптимизации режимов работы печей первичного и вторичного подогрева F-1,4, F-2,3 аналогична описанным процедурам моделирования и принятия решений по оптимизации режимов работы реактора коксования и основной ректификационной колонны при управлении процессом производства кокса. Компьютерное моделирование и оптимизация режимов работы печей подогрева УЗК для эффективного управления процессом производства качественного нефтяного кокса реализуется при выборе подменю «Печи подогрева первичного F-1,4 и вторичного сырья F-2,3 сырья УЗК»

Таким образом разработанная ИСППР УЗК позволяет в удобном для ЛПР моделировать различных режимов работы основных агрегатов УЗК, на основе которых принимается решение для оптимального управления процессом производства кокса по разным критериям.

2. Результаты реализации разработанных моделей агрегатов УЗК и предложенного метода принятия решений и экспериментальных исследований

При разработке ИСППР УЗК для принятия решений по управлению режимами работы основных агрегатов УЗК используются разработанные авторами модели основных агрегатов УЗК и предложенные методы решения задач принятия решений, опубликованных в работах [21-22]. Статистические, нечеткие и лингвистические модели основных агрегатов разработаны с использованием доступной статистической и нечеткой информации на основе экспериментально-статистических методов, методов экспертной информации и теорий нечетких множеств. Разработанный эвристический метод принятия решений, который применяется для решения задач принятия решений в нечеткой среде по управлению режимами работы УЗК, основаны на использовании эвристики, знания, опыта и интуиции

опытных ЛПР и экспертов предметной области. Эвристический метод решения задач принятия решений для управления процессом производства кокса разработан путем модификации различных принципов оптимальности (в зависимости производственной ситуации и доступности необходимой информации) для работы в нечеткой среде.

Приведем более подробное описание алгоритма, правила принятия решений по управлению процессом производства кокса на основе модификации комбинации компромиссных схем Главного критерия (ГК) и Парето оптимальности (ПО).

Шаг 1. Для каждой q -й координаты ограничений определяется число шагов $p_q, q = \overline{1, L}$ и приоритет локальных критериев $I_C = \{1, \dots, m\}$. Приоритет главного критерия следует принять равным 1. Кроме того, вводится вектор весов $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_L)$, определяющий важность ограничений.

Шаг 2. ЛПР, эксперты назначают граничные значения локальным критериям $\mu_R^i, i = \overline{2, m}$, отличным от главного критерия.

Шаг 3. Величины шагов для изменения координат весового вектора ограничений рассчитываются по формуле $h_q = \frac{1}{p_q}, p = \overline{1, L}$.

Шаг 4. Меняя в интервале $[0, 1]$ величиной h_q рассчитанном на предыдущем шаге определяется набор весовых векторов $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^N, N = (p_1 + 1)(p_2 + 1) \dots (p_L + 1)$.

Шаг 5. Определяются термы и терм-множество, нечетко определяющие выполнение нечетких ограничений, и строятся функции принадлежности $\mu_q(\mathbf{x}), q = \overline{1, L}$ для каждого терма.

Шаг 6. С учётом ограничений, определяемых множестве допустимых решений максимизируется главный критерий. Для этого можно использовать методы оптимизации условно оптимизации, например, методов штрафных функций, позволяющий эффективно решать полученную однокритериальную задачу с дополнительными ограничениями. В результате определяются следующие текущие решения: $\mathbf{x}(\mu_R^i, \beta); \mu_C^1(\mathbf{x}(\mu_R^i, \beta)), \mu_C^2(\mathbf{x}(\mu_R^i, \beta)), \dots, \mu_0^m(\mathbf{x}(\mu_R^i, \beta)); \mu_1(\mathbf{x}(\mu_R^i, \beta)), \dots, \mu_L(\mathbf{x}(\mu_R^i, \beta)), i = \overline{2, m}$.

Шаг 7. Текущие решения, полученные на предыдущем шаге, предоставляются в ЛПР. Если текущие решения не удовлетворяют ЛПР, он вносит изменения для улучшения решений $\mu_R^i, i = \overline{2, m}$ и/или значений β . Затем задача решается снова, начиная с шага 3, для получения лучших решений. В противном случае, если полученное решение удовлетворяет ЛПР, переход осуществляется к следующему шагу 8.

Шаг 8. Процесс улучшения решения останавливается, и выводятся окончательные наилучшие решения, выбранные ЛПР и удовлетворяющие его:

$\mu_C^1(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \beta))$ – максимальное значение главного критерия, в нашем случае объем кокса с требуемыми качественными показателями;

$\mu_C^1(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \beta)), \dots, \mu_C^m(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \beta))$ – значения остальных критериев, удовлетворяющие заданным граничным значениям;

$\mu_1(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \beta)), \dots, \mu_L(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \beta))$ – обеспечивающие максимальных степеней выполнения нечетких ограничений оптимальные значения входных, режимных параметров объекта $\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \beta)$, которые является принятым ЛПР решением.

Предложенный и описанный эвристический алгоритм решения задачи принятия решений в условиях нечеткости эффективен в случаях, когда ЛПР может выделить главного критерия из множества критериев и ввести весовые коэффициенты, определяющие значимость нечетких ограничений. В других случаях, в зависимости от доступности информации и условий производства и рынка, возможна формулировка задач принятия

решений на основе модификации других компромиссных схем и разработка эвристических методов их решения.

Проведено сравнение результатов моделирования на основе разработанных моделей с учетом доступной нечеткой информации, используемых в составе предложенной ИСПР УЗК, известных детерминированных моделей УЗК и реальных данных, полученных опытно-экспериментальным путем на УЗК Атырауского НПЗ. Результаты сравнения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты моделирования режимов работы УЗК с использованием доступной нечеткой информации в составе предложенной ИСПР УЗК, известных детерминированных моделей УЗК [23] и реальных данных, полученных экспериментальным путем на УЗК Атырауского НПЗ.

Выходные (критерии) параметры УЗК	Результаты моделирования по известным моделям	Результаты моделирования на основе разработанных моделей в нечеткой среде, используемые в ИСПР УЗК	Реальные данные, полученные экспериментальным путем на УЗК Атырауского НПЗ
Выход нефтяного кокса, y_1 , т/час	23.0	25.0	24.85
Летучесть кокса, $\tilde{y}_2$, %	–	9.0	(9.00) ^L
Зольность кокса, $\tilde{y}_3$, %	–	0.3	(0.28) ^L
Объем паров нефтепродуктов, y_4 , м ³ /час	5.35	5.40	5.40
Выход бензина, y_5 , т/час	9.70	10.75	10.60
Выход легкого газойля, y_6 , т/час	36.50	35.70	35.20
Выход тяжелого газойля, y_7 , т/час	32.80	27.20	30.50
Качество бензина, $\tilde{y}_8$, оС	–	51	(51.3) ^L
Качество легкого газойля, $\tilde{y}_9$, °С	–	175	(175) ^L
Качество тяжелого газойля, $\tilde{y}_{10}$, °С	–	230	(230) ^L

Примечание: входные, режимные параметры сравниваемых вариантов моделирования и экспериментов взяты одинаковыми, для реактора коксования: объем сырья 107 т/ч; температуру на входе 488 °С; давление на входе 4,7 кг/см²; показатель коксования сырья 9,8%; коэффициент рециркуляции 3.7; для основной ректификационной колонны С-1 УЗК: объем сырья 103 т/час; объем паров 5 м³/час; объем циркуляционного орошения 68 м³/час; температура верхней части С-1 115 °С; температура вывода бензина 180 °С; знак – означает, что эти параметры (показатели качества продукции) этим методом не определяются; (·)^L означает, что данные параметры не измеряются, а оцениваются путем лабораторных исследований и анализа с участием специалистов на основе их знаний и опыта.

Проведен анализ погрешностей моделей для обоснования достоверности результатов моделирования и применимости моделей на практике. Как видно из данных приведенных в таблице 1 определенные разработанными моделями результаты отличаются от реальных данных полученных экспериментальным путем на УЗК Атырауского НПЗ отличаются на в среднем 4.4%. Так как допускается погрешность моделей производственных объектов от реальных производственных данных до 5%, средняя погрешность всех моделей являются вполне приемлемыми. Причем погрешность модели, определяющей объем целевого продукта т. е. кокса всего 0.6%, а погрешностей моделей определяющих более важных продуктов: бензина и легкого газойля не превышает 1.4%.

По данным приведенных выше в таблице 1 также проведено сопоставление результатов, полученным с использованием разработанных моделей, известных детерминированных моделей и реальных промышленных данных, полученных экспериментальным путем на УЗК Атырауского НПЗ. Сопоставляя этих сравниваемых результатов определены и обоснованы преимущества разработанных моделей с использованием доступной нечеткой информации, приведенные в следующем разделе «Обсуждение научных результатов».

Обсуждение научных результатов

Приведем основных результатов сопоставления и обсуждения полученных выше результатов исследования. Разработанная система моделей основных взаимосвязанных агрегатов УЗК и используя нечеткую информацию, представляющей собой опыты, знания и интуицию ЛПР, специалистов-экспертов предметной области, и используемая в ИСППР УЗК позволяет принимать наилучшие решения по управлению процессом производства кокса в нечеткой среде.

На основе полученных результатов моделирования с целью определения оптимального режима работы УЗК на основе известных и разработанных моделей с использованием нечеткой информации, приведенных в таблице 1 можно выделить следующие преимущества предложенного нечеткого подхода:

1. Предложенный подход к созданию ИСППР УЗК, использующий разработанных моделей с использованием нечеткой информации по сравнению известными моделями более адекватно описывает реальную ситуацию. При этом результаты предложенного метода создания ИСППР на основе моделей, разрабатываемых в нечеткой среде, по сравнению с результатами известных детерминированных моделей, более точно совпадает с реальными производственными данными, полученными экспериментально.

2. Предложенный подход к разработке моделей и к оптимизации режимов работы сложных, плохоформализуемых объектов как УЗК, позволяет определить более оптимальные режимы их работы. Например, на основе компьютерного моделирования и оптимизации с помощью разработанных моделей выход кокса увеличен 2 т/час или примерно на 8,7% за час. Выход бензина, являющегося также важным продуктом, увеличен на 1.05 т/ч или на 10.80 % за час. Соответственно это позволяет получить значительный экономический эффект от реализации целевых продуктов УЗК.

3. Очень важной задачей производственных объектов является определение и управление качеством производимой продукции. Разработанный ИСППР УЗК на основе предложенного подхода, эффективно работающий в нечеткой среде позволяет оценить качественных показателей производимых целевых продуктов: зольность и летучесть кокса, а также качества других нефтепродуктов, производимых на УЗК, которые не определяются известными методами. При этом качественные показатели целевой продукции оцениваются на основе опыта, знания и интуиции ЛПР, экспертов, что является важным преимуществом предложенного подхода.

Предлагаемая и описанная ИСППР УЗК реализована в среде Jupyter Notebook (Anaconda3), на языке программирования: Python.

Заключение

В работе приведены основные результаты разработки системы поддержки принятия решений с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса эффективно решающей задачу моделирования и оптимизации режимов работы УЗК. К основным полученным результатам можно отнести:

- на основе разработанных авторами моделей основных агрегатов УЗК создана СППР с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса, имеющей удобный пользовательский интерфейс. С помощью пользовательского интерфейса оператор-технолог, т.е. ЛПР на понятном ему языке и в удобной форме моделирует различных режимов работы УЗК и принимает оптимальное решение по управлению процессом производства кокса;

- приведены описания основных интерфейсов разработанный ИСППР УЗК, позволяющие моделировать режимов работы основных агрегатов УЗК для выбора их оптимальных режимов работы. При этом под оптимальным режимом работы понимается такой режим УЗК, который обеспечивает максимальный объем производимого кокса с требуемыми качественными показателями или заданный объем кокса с его наилучшими качественными показателями. Таким образом созданный ИСППР УЗК позволяет эффективно управлять процессом производства по разным критериям в зависимости от требований рынка сбыта нефтяного кокса с учетом спроса на объем кокса и требований к его качественным показателям;

– сравнены результаты моделирования на основе разработанных моделей с учетом нечеткой информации, которые используются в созданной ИСППР УЗК, известных детерминированных моделей УЗК и реальных данных, полученных экспериментальным путем на объекте исследования. Показаны преимущества предложенного нечеткого подхода для моделирования и управления процессом производства кокса в нечеткой среде.

В дальнейшем планируется в состав созданной ИСППР УЗК, добавить других эвристических методов решения задач принятия решений для оптимального управления процессом производства для разных ситуаций. Это позволяет автоматизировать процесс моделирования и принятия решений по оптимальному управлению режимами работы УЗК и намного ускорить процесс принятия решений с участием ЛПР, с учетом его предпочтений, различных производственных ситуаций, спроса и требований рынка сбыта кокса.

Список литературы

1. Cao L. Experimental Study of Petroleum Coke Ash in Concrete Applications / L. Cao // Chem. Technol. Fuels Oils. Innovative technologies of oil and gas. – 2025. – Vol. 61. – P. 280-290. <https://doi.org/10.1007/s10553-025-01860-9>. (In English).
2. Suchkov S.I. Hearth Gasification Using Petroleum Coke in Power Production / S.I. Suchkov // Power Technol. Eng. – 2021. – Vol. 55. – P. 600-606. <https://doi.org/10.1007/s10749-021-01404-1>. (In English).
3. Tuleuov Zh.N. Technological regulations for the delayed coking unit УЗК 21–10/6 of the Atyrau Oil Refinery / Zh.N. Tuleuov. – Atyrau, 2020. – 220 p. (In Russian).
4. Methods for Modeling and Optimizing the Delayed Coking Process in a Fuzzy Environment / B.Orazbayev et al // Processes. – 2023. – Vol. 1, № 2. – P. 1-19. <https://doi.org/10.3390/pr11020450>. (In English).
5. Meikle T. Design and development of a decision support system to support discretion in refugee law / T. Meikle, J. Yearwood // Research and Development in Intelligent Systems XVII – London: Springer, 2018. – P. 243-256. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0269-4_18. (In English).
6. Yadav M. Development of a Decision Support System for Fixture Design / M. Yadav, S. Mohite // Technology Systems and Management. Communications in Computer and Information Science. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2021. – Vol. 145. – P. 182-189. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20209-4_25. (In English).
7. Arnott D. A critical analysis of decision support systems research / D. Arnott, G. Pervan // Journal of Information Technology. – 2018. – Vol. 20, № 2. – P. 67-87. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jit.2000035>. (In English).
8. Pryor T.A. Development of Decision Support Systems // Decision Support Systems in Critical Care. Computers and Medicine / M.M. Shabot, R.M. Gardner (eds). – New York: Springer, 2020. – P. 61-73. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2698-7_4. (In English).
9. Arinze B. Decision Support Systems (DSS) development using a model of user inquiry types: Methodological proposals and a case study / B. Arinze // Systems Practice. – 2022. – Vol. 5. – P. 629-650. (In English).
10. Jatinder N.D. Intelligent Decision-making Support Systems / N.D. Jatinder, A.F. Guisseppi, M.T. Manuel; London: Springer, 2019. – 503 p. <https://doi.org/10.1007/1-84628-231-4>. (In English).
11. Gachet A. Development Processes of Intelligent Decision-making Support Systems: Review and Perspective / A. Gachet, P. Haettenschwiler // Intelligent Decision-making Support Systems. Decision Engineering. – London: Springer, 2018. – P. 97-121. https://doi.org/10.1007/1-84628-231-4_6. (In English).
12. Design and Development of an Intelligent Decision Support System Applied to the Diagnosis of Patients Susceptible to Heart Failure / A. Álvarez-Pazó et al // Proc. of TEEM 2023. Lecture Notes in Educational Technology. – Singapore: Springer, 2024. – P. 280-288. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1814-6_27. (In English).
13. Bazilevych K.O. Intelligent Decision-Support System for Epidemiological Diagnostics. II. Information Technologies Development / K.O. Bazilevych, D.I. Chumachenko, L.F. Hulianytskyi // Cybern. Syst. Anal. – 2022. – Vol. 58. – P. 499-509. <https://doi.org/10.1007/s10559-022-00484-9>. (In English).
14. Arvind K. Passive and active experimental methods / K. Arvind, P. Bernhard // 1th Int. Conf. PAM 2010, Zurich, Switzerland, Proceedings. – Springer, 2019. – P. 7-15. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12334-4>. (In English).

15. Bronshtein I.N. Probability theory and mathematical statistics / I.N. Bronshtein, K.A. Semendyayev // Handbook of Mathematics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2019. – P. 598-635. https://doi.org/10.1007/978-3-662-25651-0_5. (In English).
16. Krivonogov A.A. Application of the Method of Expert Assessments in Determining the Level of Criticality of the Information Security Vulnerability of Smart Contracts / A.A. Krivonogov, Y.N. Philippovich, S.A. Kesel // Software Engineering Application in Systems Design. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – vol 596. – P. 512-530. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21435-6_45. (In English).
17. Methods Based on Fuzzy Set Theory / J.N. Mordeson et al // Linear Models in the Mathematics of Uncertainty. Studies in Computational Intelligence. – 2022. – vol. 463. – P. 163-175. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35224-9_10. (In English).
18. Tarczyński W. Selected Statistical Methods in Experimental Studies / W. Tarczyński // Selected Issues in Experimental Economics. Springer Proceedings in Business and Economics / Nermend K., Łatuszyńska M. (eds). – Cham: Springer, 2021. – P. 91-106. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28419-4_7. (In English).
19. Yazdi M. Linguistic Methods Under Fuzzy Information in System Safety and Reliability Analysis / M. Yazdi; Cham: Springer, 2022. – 200 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-93352-4>. (In English).
20. The concept of creating intelligent decision support for managing the operating modes of chemical engineering systems / B.B. Orazbayev et al; Astana: AS Innovation Publishing House, Eurasian National University, 2022. – 391 p. (In Russian).
21. Development of Coke Chambers Models of Delayed Coking Unit under uncertain initial information / B. Assanova et al // Proc. 7th Int. Symp. on Innovative Approaches in Smart Technologies (ISAS). – Istanbul, Turkiye, 2023. – P. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ISAS60782.2023.10391778>. (In English).
22. A fuzzy decision-making method for controlling operation modes of a hard-to-formalise rectification column of a delayed coking unit / B. Assanova et al // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2024. – № 1. – P. 17-30. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.362>. (In English).
23. Shumsky V.M. Engineering Tasks in Oil Refining and Petrochemistry. 2nd ed. / V.M. Shumsky, L.A. Zyryanova; Moscow: MPC Publication, 2023. – 375 p. (In Russian).

Финансирование. Данная работа была выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19679897 на финансирование данного исследования - Разработка интеллектуальной системы принятия решений для управления процессом производства нефтяного кокса).

Б. Асанова¹, Б. Оразбаев^{2*}, Ж. Молдашева¹, Ж. Шангитова¹, А. Кишубаева³

¹Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті,
Е01Y6P0, Қазақстан Республикасы, Атырау қ., Студенттер даңғ., 212

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
Z01A3D7, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қ. Сатпаев к-сі, 2

³Торайғыров Университет,
S14P3K7, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломов к-сі, 64

*e-mail: batyr_or@mail.ru

МҰНАЙ КОКСЫН ӨНДІРУ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУ ҮШІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДАНДЫРУ ЭЛЕМЕНТТЕРІ БАР ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІ.

Бұл зерттеуде эксперттердің айқын емес ақпаратын ескере отырып, баяу кокстеу қондырғысының (ББҚ) негізгі агрегаттарының құрылған модельдері негізінде мұнай коксын өндіру процесін басқару үшін интеллектуалдандырылған элементтері бар шешімдерді қолдау жүйесі құрылды. Құрылған интеллектуалдандырылған шешімдерді қолдау жүйесінің (ИШҚҚЖ) негізгі интерфейстерінің сипаттамасы берілген, оның көмегімен жүйені пайдаланушы БКҚ негізгі агрегаттарының түрлі жұмыс режимдерін модельдеу арқылы олардың параметрлерін оптимизациялауды және кокс өндіру процесін тиімді басқарады. Пайдаланушы құрылған ИШҚҚЖ көмегімен кокстың көлеміне сұраныс пен кокс сапасына қойылатын талаптарға байланысты әртүрлі критерийлер бойынша кокс өндіру процесін басқара алады. ИШҚҚЖ пайдалана отырып, пайдаланушысы қажетті сапа көрсеткіштерімен өндірілетін кокс көлемін барынша көбейтеді

немесе ең жақсы сапа көрсеткіштерімен қажетті кокс көлемін қамтамасыз етеді. Белгілі БҚЖ детерминделген модельдеріне негізделген басқа жүйелерден айырмашылығы, құрылған БҚЖ ИШҚҚЖ жұмыс режимдерін адекватты модельдеуге, тиімді оптимизациялауға және басқаруға мүмкіндік береді. БҚЖ жұмыс режимдерін құрылған ИШҚҚЖ және белгілі детерминді модельдеу мен оптимизациялау жүйелері арқылы алынған кокстеу процесін модельдеу және оптимизациялау нәтижелерін салыстыру негізінде құрылған жүйенің белгілі ұқсас жүйелермен салыстырғандағы артықшылықтары анықталып, келтірілген.

Түйін сөздер: айқын емес орта, айқын емес модельдер, шешім қабылдауды қолдау жүйесі, кокстеу процесі, пайдаланушы интерфейсі.

B. Assanova¹, B. Orazbayev^{2*}, Zh. Moldasheva¹, Zh. Shangitova¹, A. Kishubayeva³

¹Kh. Dosmukhamedov Atyrau University,
E01Y6P0, Republic of Kazakhstan, Atyrau, Student Ave., 212

²L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Z01A3D7, Republic of Kazakhstan, Astana, st. K. Satpayev, 2

³Toraighyrov University,
S14P3K7, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, st. Lomov, 64

*e-mail: batyr_or@mail.ru

DECISION SUPPORT SYSTEM WITH INTELLECTUALIZATION ELEMENTS FOR MANAGING THE PETROLEUM COKE PRODUCTION PROCES

In this study, a decision support system with intellectualization elements was created to control the petroleum coke production process based on the developed models of the main units of the delayed coking unit (Y3K) taking into account fuzzy information from experts. A description of the main interfaces of the created intelligent decision support system (IDSS) is given, with the help of which the user of the system models various operating modes of the main Y3K units, optimizes their parameters and effectively controls the coke production process. Using the created IDSS, the user can control the coke production process according to various criteria depending on the demand for volume and requirements for coke quality. Using the IDSS, the user of the system can maximize the volumes of coke produced with the required quality indicators or provide the required volume of coke with the best quality indicators. Unlike other systems based on known deterministic Y3K models, the created IDSS allows more adequate modeling, effective optimization and control of Y3K operating modes. Based on the comparison of the simulation results for optimizing the Y3K operating modes using the created ISPR, known systems of deterministic simulation and optimization, the advantages of the created system in comparison with known similar systems were established.

Key words: fuzzy environment, fuzzy models, decision support system, coking process, user interface.

Сведения об авторах

Бактыгул Асанова – ассоциированный профессор, PhD, декан факультета физики, математики и информационных технологий Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан; e-mail: baha1981_13@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1029-6266>.

Батыр Оразбаев* – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системный анализ и управление» Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: batyr_o@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2109-6999>.

Жадра Молдашева – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Программная инженерия» Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан; e-mail: zhadira1985@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>.

Жанна Шангитова – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Программная инженерия» Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан; e-mail: zhanna.shangitova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-5208>.

Алтынай Кишубаева – докторант Торайгыров Университета, Павлодар, Казахстан; e-mail: Altynai_999@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1125-8696>.

Авторлар туралы мәліметтер

Бактыгул Асанова – PhD, Х.Досмухамедов атындағы Атырау университет физика, математика және ақпараттық технологиялар факультетінің деканы, Атырау, Қазақстан; e-mail: baha1981_13@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1029-6266>.

Батыр Оразбаев* – техника ғылымдарының докторы, профессор Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті «Жүйелік талдау және басқару» кафедрасының профессоры, Астана, Қазақстан; e-mail: batyr_o@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2109-6999>.

Жадра Молдашева – PhD, Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті «Бағдарламалық инженерия» кафедрасының аға оқытушысы, Атырау, Қазақстан; e-mail: zhadira1985@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>.

Жанна Шангитова – PhD, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті «Бағдарламалық инженерия» кафедрасының аға оқытушысы, Атырау, Қазақстан; e-mail: zhanna.shangitova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-5208>.

Алтынай Кишубаева – Торайгыров Университеті докторанты, Қазақстан; e-mail: Altynai_999@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1125-8696>.

Information about the authors

Baktygyl Assanova – PhD, assoc.professor, dean of the Faculty of Physics, Mathematics and Information Technology, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; e-mail: baha1981_13@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1029-6266>.

Batyr Orazbayev* – Doctor of Science, Professor of Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: batyr_o@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2109-6999>.

Zhadra Moldasheva – PhD, assoc. prof. of Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; e-mail: zhadira1985@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>.

Zhanna Shangitova – PhD, assoc. prof. of Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; e-mail: zhanna.shangitova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-5208>.

Altynay Kishubayeva – doctoral student Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan; e-mail: Altynai_999@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1125-8696>.

Поступила в редакцию 27.06.2025

Поступила после доработки 10.08.2025

Принята к публикации 11.09.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3\(19\)-19](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-19)



МРНТИ: 20.01.

К.П. Аман, А.А. Мусина*, Д.Д. Елубаева

¹Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова,
030000, Республика Казахстан, г. Актобе, ул. А. Молдагуловой, 34А

*e-mail: alla.mussina@mail.ru

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СТАНКА РЕЗКИ ОРНАМЕНТОВ НА БАЗЕ МЕХАТРОНИКИ

Аннотация: В статье рассматривается связь теоретических основ мехатроники с современными научно-техническими направлениями, а также практическое применение полученных знаний. Основной целью мехатроники как научно-технической дисциплины является разработка новых функциональных модулей и систем, способных реализовывать двигательные функции в интеллектуальных машинах. В рамках проведённого исследования была разработана и реализована мехатронная система – специализированный станок для резки орнаментов, обладающий высокой точностью, адаптивностью и интеллектуальной системой управления. Устройство ориентировано на выполнение функциональных движений с учётом требований гибкости и миниатюризации. Методологическая основа проекта включает принципы автоматического управления, информатики, механики и микроэлектроники. Представленный станок демонстрирует практическую реализацию роботизированной «триады»: датчик – контроллер – актуатор, и может быть использован как пример междисциплинарной интеграции в современных мехатронных системах. Разработка отличается высокой степенью универсальности и может быть адаптирована под различные технологические задачи, включая создание декоративных элементов, обработку сложных контуров и персонализированных изделий. Это подтверждает актуальность применения мехатроники в малосерийном и индивидуализированном производстве, особенно в условиях цифровой трансформации промышленных процессов. Кроме того, данная работа демонстрирует эффективность интеграции академических исследований и инженерной практики.

Ключевые слова: мехатроника, робототехника, кибернетика, инновация, макро-наносистема, микро-наносистема.