

Б.Б. Оразбаев¹, К.Н. Оразбаева², А.К. Жумадиллаева^{1*}, Г.Ж. Шуйтенов², М.Т. Зарыпхан¹

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
010008, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Пушкина, 11

²Esil university,
040005, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Жубанова, 7

*e-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ РЕАКТОРОВ БЛОКА ПРОИЗВОДСТВА СЕРЫ АТЫРАУСКОГО НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

Аннотация: Приведены результаты исследования по разработке системы моделей взаимосвязанных реакторов блока производства серы Атырауского нефтеперерабатывающего завода. Разработка моделей сложных технологических систем как блок производства серы усложнены из-за их сложности и неопределенности, связанные дефицитом и нечеткостью исходной информации. В связи с этим определена цель исследования – создание пакета моделей взаимосвязанных агрегатов сложных технологических систем при дефиците и нечеткости исходной информации на основе доступной информации различного характера. Основными результатами исследования являются: метод создания системы моделей взаимосвязанных агрегатов сложных химико-технологических систем, характеризующиеся дефицитом и нечеткостью исходной информации; системный анализ, экспертная оценка различных видов моделей и выбор эффективной модели основных агрегатов исследуемой установки производства серы; разработаны гибридные модели термореактора, реакторов Клауса и Cold Bed Absorption на основе доступных статистических данных, полученных пассивными, активными экспериментами и нечеткой информации, полученной от лица, принимающего решения и экспертов; создан пакет моделей, для системного моделирования и оптимизации режимов работы блока производства серы. Научная новизна полученных результатов заключается в развитии методов разработки математических моделей и системного моделирования сложных технологических систем в условиях неопределенности. Практическая значимость работы в том, что предложенный метод может быть использован для разработки пакета моделей различных технологических систем и системно моделировать их режимы работы для оптимизации их параметров.

Ключевые слова: системное моделирование; пакет моделей; оптимизация; установка производства серы; процесс Клауса.

Введение

Блок производства серы (БПС) предназначен для переработки вредных серосодержащих газов, выделяемых при переработке нефти, относятся к сложным химико-технологическим системам (ХТС), работы которых описываются множеством параметров [1, 2]. Такие ХТС, как БПС состоят из множества взаимосвязанных технологических агрегатов, действующие как единое целое часто в условиях неопределенности из-за вероятностного и нечеткого характера доступной информации об их параметрах и состояниях. Все это намного усложняют процесс разработки математических моделей таких ХТС, характеризующихся дефицитом и нечеткостью исходной информации. В связи с этим разработка моделей сложных ХТС в условиях дефицита и нечеткости исходной информации, как БПС является весьма актуальной научной-практической задачей.

В процессе работы БПС их реакторы, являющиеся основными агрегатами, взаимодействуют между собой различными потоками, на их работы влияют множества различных параметров. Поэтому для эффективного исследования, оптимизации и управления такими сложными ХТС, необходимо разработать систему математических моделей ее основных агрегатов, которая объединены в пакет моделей, позволяющий системно моделировать режимов работы БПС [3, 4]. Моделирование на основе системы моделей БПС позволяет исследовать, определять результаты различных режимов работы его работы, как все его агрегаты будут работать вместе. Как известно, при синтезе систему моделей необходимо будет учесть различные процессы, которые происходят в отдельных взаимосвязанных агрегатов технологической системы [5]. В данной работе предлагается и

используется метод разработки систему взаимосвязанных моделей технологических установок на примере блока производства серы, основанный на системный подход.

К исследованию и разработке математических моделей сложных технологических систем в последнее время посвящены множества работ, например [6-8]. Авторы работ [6, 7] проанализировали состояния моделирования сложных технических систем на основе компонентного подхода, исследовали проблемы моделирования сложных технических систем при их испытаниях. Подходы к моделированию сложных систем, состоящих из множества различных элементов, в том числе с использованием методов искусственного интеллекта, позволяющие создать более эффективные модели сложных систем в условиях неопределенности исследованы в работе [8]. В этих и других анализированных работах по теме исследования недостаточно рассмотрены и решены проблемы разработки взаимосвязанной системы моделей сложных ХТС в условиях дефицита и нечеткости исходной информации для системного моделирования их работы. Не решены проблемы разработки системы моделей взаимосвязанных элементов сложных ХТС в условиях дефицита и нечеткости на основе доступной информации различного характера, позволяющая системно моделировать и оптимизировать их режимов работы. В этой связи данное исследование фокусируется на разработку метода синтеза систему моделей взаимосвязанных агрегатов сложных, плохо формализуемых ХТС на основе доступной информации различного характера, современных достижений научных методов и средств информационных технологий.

Условия и методы исследования

Исследование проведено в следующих условиях. При выборе и разработке систему моделей конкретного объекта, например технологического блока производства серы, в качестве материалов исследования использованы:

- технологическая схема блока производства серы и его регламент работы [9];
- теоретические сведения о процессах производства серы, экспериментально-статистические данные, полученные на основе пассивных и активных экспериментов, проведенных на БПС;
- нечеткая информация о значениях параметров (качественные показатели серы), которые не измеряются, а оцениваются нечетко, собираемая, формализуемая и обрабатываемая на основе методов экспертных оценок и теорий нечетких множеств. При этом нечеткая информация представляет собой знания, опыт и интуиции ЛПР, специалистов-экспертов предметной области, выражаемая на их естественном языке.

Объектом исследования в данной работе является БПС, состоящий из взаимосвязанных агрегатов. К основным взаимосвязанным агрегатам БПС, влияющие на режимы ее работы, на процессы получения серы относятся: реакторы (термореактор, реакторы Клауса и СВА (Cold Bed Absorption – абсорбция холодного слоя) и конденсаторы. Качественные показатели производимой в реакторах БПС серы характеризуются нечеткостью исходной информации, необходимой для разработки моделей оценки качества серы [9]. Такие качественные показатели серы как массовая доля серы, золы и воды в полученной сере на производстве измерительными приборами непосредственно не измеряются. Поэтому эти качественные показатели серы оцениваются нечетко опытными специалистами-экспертами центральной заводской лаборатории на основе различных анализов, с использованием своих знаний, опыта и интуиции на естественном языке. Поэтому для оценки качества серы приходится разработать нечеткие модели на основе собранной и обработанной нечеткой информации методами экспертной оценки и теорий нечетких множеств. Система моделей БПС создается путем объединения разных типов моделей основных его агрегатов, например, статистических, нечетких, в единую систему моделей с учетом их взаимосвязей.

Сбор, обработка доступной информации различного характера производятся на основе следующих методов:

- пассивного и активного экспериментов и математической статистики при сборе и обработке статистических данных о состоянии и режимах работы реакторов БПС [10, 11];
- методы разработки статистических моделей на основе статистических данных и экспериментальных исследований [12, 13];
- методы экспертных оценок и теорий нечетких множеств для сбора и обработки нечеткой информации на основе системного подхода [14-16].

Основные этапы предлагаемого метода создания систему моделей взаимосвязанных агрегатов ХТС, для системного моделирования и оптимизации их режимов работы:

1) Определить цели использования разрабатываемых моделей, например для решения задачи оптимизации параметров объекта или для управления его режимами работы, так как в зависимости от цели моделирования требования к моделям тоже могут быть разными.

2) На основе системного анализа определить и описать связи между основными агрегатами ХТС и их взаимных влияний, учитываемые затем при создании пакета моделей;

3) Собрать и обработать доступных статистических данных о режимах работы и состоянии агрегатов ХТС на основе пассивных или активных экспериментов. А на основе методов экспертных оценок и теорий нечетких множеств собрать, формализовать и обработать нечеткую информации, которая используется для синтеза нечетких или лингвистических моделей в нечеткой среде.

4) Выбрать критериев выбора эффективного вида разрабатываемых моделей для каждого агрегата ХТС с учетом цели моделирования определенной в пункте 1. При этом основными критериями, на основе которых выбирается эффективный вид модели, могут быть: доступность и эффективность получения необходимой исходной информации для разработки выбираемого вида модели; адекватность разрабатываемой модели; цена разработки выбранной модели; возможность и эффективность использования модели по назначению. Для создания систему моделей в состав критериев также необходимо включить возможность и эффективность объединения разрабатываемых моделей основных элементов ХТС в единую систему моделей. Рекомендуемая форма оформления результатов экспертной оценки для оценки и выбора наиболее эффективного вида модели, разрабатываемой для основных агрегатов ХТС приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Форма оформления результатов экспертной оценки для выбора наиболее эффективного вида модели, разрабатываемой для основных агрегатов ХТС

Основные агрегаты (элементы) ХТС	Критерии оценки и выбора эффективного вида разрабатываемой модели	Виды моделей			
		Детермированные	Статистические	Нечеткие, лингвистические	Гибридные
1	1. Доступность и эффективность получения необходимой исходной информации	α_{111}	α_{121}	α_{131}	α_{141}
	2. Адекватность разрабатываемой модели	α_{211}	α_{221}	α_{231}	α_{241}
	3. Цена разработки выбираемой модели	α_{311}	α_{321}	α_{331}	α_{341}
	4. Возможность и эффективность использования модели по назначению	α_{411}	α_{421}	α_{431}	α_{441}
	5. Возможность и эффективность объединения получаемой модели в единый пакет моделей	α_{511}	α_{521}	α_{531}	α_{541}
	Интегрированный критерий $F = \sum_{i=1}^5 f_j(x_i), j = \overline{1, m}.$	$\sum a_{ijk}$	$\sum a_{ijk}$	$\sum a_{ijk}$	$\sum a_{ijk}$
...	...	...	...	...	...
N	1. Доступность и эффективность получения необходимой исходной информации	α_{11N}	α_{12N}	α_{13N}	α_{14N}
	2. Адекватность разрабатываемой модели	α_{21N}	α_{22N}	α_{23N}	α_{24N}
	3. Цена разработки выбираемой модели	α_{31N}	α_{32N}	α_{33N}	α_{34N}
	4. Возможность и эффективность использования модели по назначению	α_{41N}	α_{42N}	α_{43N}	α_{44N}
	5. Возможность и эффективность объединения получаемой модели в единый пакет моделей	α_{51N}	α_{52N}	α_{53N}	α_{54N}

	$F = \sum_{c=1}^5 f_j(x_i), j = \overline{1, m}.$	$\sum a_{ijk}$	$\sum a_{ijk}$	$\sum a_{ijk}$	$\sum a_{ijk}$
<i>Примечание:</i> $1, \dots, N$ – основных агрегатов технологической системы для которых разрабатываются модели; $a_{ijk}, i = \overline{1, 5}, j = \overline{1, 4}, k = \overline{1, N}$ – ранги по каждому критерию i для каждого вида модели j и для каждого агрегата k, определенные экспертами по балльной системе, например от 1 до 5; $f_i(x_i), i = \overline{1, m}$ – локальные критерии, оценивающие эффективности каждого вида моделей, разработка которых возможно для основных агрегатов и от их входных, режимных параметров.					

5) Провести экспертную оценку по выбранным критериям для оценки различных видов моделей, для каждого элемента ХТС. При этом для удобства дельнейшей обработки результатов экспертной оценки рекомендуется оценить по балльной шкале, например от 1 до 5. Затем по значению интегрированного критерия (ИК), определяемого путем суммирования значения соответствующих локальных критериев выбрать самого эффективного вида модели для каждого агрегата ХТС. Результаты экспертной оценки для удобства и наглядности рекомендуется оформить в виде таблицы 1. Данный этап предлагаемого метода создания пакета моделей взаимосвязанных агрегатов ХТС реализовать по следующим подэтапам:

5.1) Проверка условия «Значение ИК для выбранного агрегата разработка детерминированной модели является максимальным?». Если да, то на основе аналитических методов и теоретических сведений для этого агрегата разрабатывать детерминированных моделей. Для проверки адекватности полученных моделей перейти к этапу 9. Если данное условие не выполняется, то переход к следующему подэтапу 5.2.

5.2) Проверка условия «Значение ИК для выбранного агрегата разработка статистической модели является максимальным?». Если да, то на основе экспериментально-статистических методов и массива статистических данных для этого агрегата разрабатывать статистических моделей. Для проверки адекватности полученных моделей перейти к этапу 9. Если данное условие не выполняется, то переход к следующему подэтапу 5.3.

5.3) Проверить условие эффективности нечетких, лингвистических моделей. Если значение ИК для выбранного агрегата разработка нечетких или лингвистических моделей является максимальным, то в зависимости нечеткости входных, режимных и выходных параметров агрегата, разрабатываются нечеткие или лингвистические модели исследуемого агрегата. При этом если нечеткими являются и входные, и выходные параметры агрегата, то синтезируются лингвистические модели объекта в этапах 7-8. А при четких входных и нечетких выходных параметрах исследуемого агрегата для разработки его нечетких моделей перейти этап 6.

5.4) В случае недостаточности теоретических сведений, статистических данных и нечеткой информации для разработки соответствующих моделей в подэтапах 5.1-5.3 и по значению ИК гибридные модели имеют максимальный балл, то используя доступную информацию различного типа на основе гибридного метода разрабатываются гибридные модели [17].

6) Если входные параметры агрегата $x_i \in X, i = \overline{1, n}$ и его выходные параметры $\tilde{y}_j \in \tilde{B}_j$, где $\tilde{B}_j \subset Y, j = \overline{1, m}$ – нечеткие ($\tilde{B}_j$ – нечеткие множества, Y – универсимум), то в общем виде структуру нечетких моделей можно представить как: $\tilde{y}_j = f_j(x_1, \dots, x_n, \tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n), j = \overline{1, m}$. При этом на основе для разработки нечетких моделей в виде нечетких уравнений множественной регрессии можно применить идею подхода последовательного включения регрессоров [18]. Затем идентификацию значения нечетких параметров $\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n$ моделей $\tilde{y}_j$, можно произвести на основе модифицированного метода наименьших квадратов [19] и множество уровня α . Функции принадлежности нечетких выходных параметров могут быть построены с использованием приложения Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB или другими методами построения функции принадлежности [20]. Затем для проверки адекватности синтезированных моделей осуществляется переход к этапу 9.

7) При нечетких значениях выходных и выходных параметров агрегата нечеткие: $\tilde{x}_i \in A_i \subset X, i = \overline{1, n}$ и $\tilde{y}_j \in \tilde{B}_j, \tilde{B}_j \subset Y, j = \overline{1, m}$, то для синтеза его лингвистических моделей формализуются нечеткие отображения $\tilde{R}_{ij}$, определяющие связи между $\tilde{x}_i$ и $\tilde{y}_j$. Здесь $\tilde{x}_i, \tilde{y}_j, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ являются лингвистическими переменными, которые характеризуют входных и выходных параметров агрегата.

8) С использованием правила композиционного вывода определить нечеткие множества, характеризующиеся нечеткие выходные параметры $\tilde{B}_j = \tilde{A}_i \circ \tilde{R}_{ij}$, где $\tilde{A}_i$ – нечеткие множества, которые описывают нечеткие входные параметры агрегата. Для удобства определения нечетких выходных параметров $\tilde{B}_j$ на компьютере формализовать их функции принадлежности:

$$\mu_{\tilde{B}_j}^t(\tilde{y}_j^*) = \max_{x_i \in X} \{ \min[\mu_{\tilde{A}_i}^t(\tilde{x}_i^*), \mu_{\tilde{R}_{ij}}^t(\tilde{x}_i^*, \tilde{y}_j^*)] \}, \quad (1)$$

где $\mu_{\tilde{B}_j}^t(\tilde{y}_j^*)$ – функция принадлежности нечетких выходных параметров; t – номер терма. Затем четкие значения выходных параметров агрегата из их нечеткого множества значений y_j^{**} можно определить на основе (1) в следующем виде: $y_j^{**} = \arg \max_{\tilde{y}_j^*} \mu_{\tilde{B}_j}^*(\tilde{y}_j^*)$.

Структура лингвистических моделей формализуется на основе нечетких правил условного вывода в виде:

$$IF \tilde{x}_1 \in \tilde{A}_1 \wedge \tilde{x}_2 \in \tilde{A}_2 \wedge \dots \wedge \tilde{x}_n \in \tilde{A}_m, THEN \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1 \wedge \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2 \wedge \dots \wedge \tilde{y}_m \in \tilde{B}_m, \quad (2)$$

где $\wedge$ – знак логических «и», требующие истинность всех выражений, связываемые через них; $\tilde{x}_i, i = \overline{1, n}$, $\tilde{y}_j, j = \overline{1, m}$ – рассмотренные выше лингвистические переменные, описывающие нечетких входных и выходных параметров агрегатов.

9) Проверка условия адекватности разработанных моделей, например по критерию

$$R = \min_j \sum_{j=1}^m (y_j^M - y_j^E)^2, \quad \text{где } y^M \text{ и } y^E \text{ – значения выходных параметров, полученных по модели } (y^M) \text{ и по результатам экспериментов } (y^E) \text{ при одинаковых значениях входных, режимных параметров.}$$

В случае нечетких и лингвистических моделях нечеткого критерия оценки их

$$\tilde{R} = \min_j \sum_{j=1}^m (\tilde{y}_j^M - \tilde{y}_j^E)^2,$$

адекватности можно записать в виде где $\tilde{y}^M$ и $\tilde{y}^E$ – соответственно, нечеткие значения выходных параметров, полученных по модели ($\tilde{y}^M$) и по результатам экспертных оценок ($\tilde{y}^E$). Для упрощения процедуры проверки адекватности нечетких и лингвистических моделей можно вместо $\tilde{y}^M$ и $\tilde{y}^E$ можно использовать их четкие значения y^M и y^E , полученных дефазификацией $\tilde{y}^M$ и $\tilde{y}^E$.

В случае выполнения условия адекватности, разработанные модели основных агрегатов ХТС, объединенные в единую систему, рекомендуются для применения на практике. Если данное условие не выполняется, то определяются причины неадекватности модели осуществляется переход к соответствующим предыдущим пунктам описанного метода для их устранения. Данная итерация повторяется до тех пор, пока не будет обеспечена адекватности разработанных моделей.

Результаты исследований

Приведем основные результаты, полученные на основе предложенного метода создания моделей взаимосвязанных агрегатов ХТС на примере выбранного объекта исследования.

3.1. Экспертная оценка различных видов моделей разрабатываемые для основных агрегатов УПС. Результаты экспертной оценки по выбору наиболее эффективного вида модели, разрабатываемой для основных агрегатов БПС оформлена в виде приведенной выше таблицы 1.

3.2. Разработанные модели термореактора, реакторов Клауса и СВА.

Гибридные модели термореактора (TR), реактора Клауса (RC-1) и реакторов СВА (RCBA-2, RCBA-3) разработаны на основе доступных статистических данных и нечеткой информации от ЛПР, экспертов. Используя обработанных экспериментально-статистических данных и экспертной информации и применяя идею метода последовательного включения регрессоров и предложенного метода создана, система моделей основных агрегатов БПС Атырауского НПЗ. В результате структурной идентификации структура моделей реакторов УПС получены в виде нелинейных уравнений множественной регрессии и нечетких нелинейных регрессионных уравнений.

Структура моделей, описывающие зависимость объемов продукции с выхода реакторов от входных режимных параметров, имеют вид множественной нелинейной

регрессии неизвестные параметры, которых идентифицированы на основе метода наименьших квадратов. А структура нечетких моделей, оценивающие качества серы идентифицированы в виде нечетких уравнений множественной регрессии, нечеткие параметры которых идентифицированы на основе множества уровня α и модифицированного метода наименьших квадратов.

Для идентификации неизвестных параметров полученных регрессионных моделей использованы массивы статистических данных и пакет программ REGRESS, реализующий метода наименьших квадратов. В результате получены следующие модели определения выхода продукции с выхода термореактора $y_{TR}(\mathbf{x})$ (полупродукт) и ректора $y_{RC-3}(\mathbf{x})$ (целевой продукт – сера), позволяющая моделировать и оптимизировать их режимов работы:

$$y_{TR}(\mathbf{x}) = 0.6868x_1 + 0.0125x_2 - 0.05200x_3 - 0.02600x_4 + 0.0259x_1^2 + 0.00001x_2^2 - 0.0002x_3^2 - 0.00005x_4^2 + 0.0005x_1x_2 - 0.0006x_1x_4 + 0.00003x_2x_4 - 0.00010x_3x_4, \quad (3)$$

$$y_{RCBA-3}(\mathbf{x}) = 0.6712x_5 + 0.0171x_6 - 0.0129x_7 + 0.0788x_5^2 + 0.00006x_6^2 - 0.00003x_7^2 - 0.0016x_5x_6 - 0.0006x_5x_7 + 0.00004x_6x_7. \quad (4)$$

В моделях (3), (4) $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$ – вектор входных, режимных параметров реакторов, компонентам которых являются для TR: x_1 – объем сырья; x_2 и x_3 – температура и давление в реакторах; x_4 – расход воздуха горения на термореакторе; для реактора RCBA-3: x_5 – объем сырья; x_6 – температура сырья на входе; x_7 – давление в реакторе.

На основе описанного выше идеи метода последовательного включения регрессоров и множества уровня α теорий нечетких множество идентифицирована структура нечеткой модели, оценивающей основное качества серы, т. е. массовой доли серы, с выхода ректора RCBA-3:

$$\tilde{y}_S^{nf}(\mathbf{x}) = \tilde{\alpha}_0 + \sum_{i=5}^7 \tilde{\alpha}_i x_i + \sum_{i=5}^7 \sum_{k=i}^7 \tilde{\alpha}_{ik} x_i x_k, \quad (5)$$

где $\mathbf{x} = (x_5, x_6, x_7)$ – вектор входных, режимных параметров реактора RCBA-3, компонентам которого являются: x_5 – объем сырья; x_6 – температура сырья на входе RCBA-3; x_7 – давление в RCBA-3; $\tilde{\alpha}_0, \tilde{\alpha}_i, \tilde{\alpha}_{ik}$ – идентифицируемые нечеткие параметры (коэффициенты регрессии) нечеткой модели (5).

На основе множества уровня α и с применением упомянутого пакета программ REGRESS, реализующий модифицированный метод наименьших квадратов. Полученные четкие значения нечетких регрессионных коэффициентов $a_i^{\alpha q}, i = \overline{5,7}, q = \overline{1,3}$ нечеткой модели (5), затем объединены по следующему выражению из теорий нечетких множеств:

$$\tilde{a}_i = \bigcup_{\alpha \in [0.5, 0.8, 1]} a_i^{\alpha q} \text{ or } \mu_{\tilde{a}_i}(\tilde{a}_i) = \sup_{\alpha \in [0.5, 1]} \min \{ \alpha, \mu_{\tilde{a}_i}(\tilde{a}_i) \}, \text{ где } a_i^{\alpha q} = \{ a_i | \mu_{\tilde{a}_i}(\tilde{a}_i) \geq \alpha \}. \quad (6)$$

Тогда нечеткую модель (5), описывающую нечеткую зависимость качества серы ($\tilde{y}_S^{nf}(\mathbf{x})$) на выходе реактора RCBA-3 в зависимости от вектора его входных, режимных параметров $\mathbf{x}$ можно записать как набор четких моделей на α уровнях. Затем, объединяя полученных четких значений коэффициентов нечеткой модели (5) по выражению (6) получена следующая модель, являющаяся удобной для компьютерного моделирования и определения значений $\tilde{y}_S^{nf}(\mathbf{x})$ в зависимости от x_5, x_6, x_7 в следующем виде:

$$\tilde{y}_S^{nf}(\mathbf{x}) = 0.03735x_5 + 0.07716x_6 - 0.16955x_7 + 0.000025x_5^2 + 0.000157x_6^2 - 0.00011x_7^2 + 0.000083x_5x_6 - 0.000075x_5x_7 - 0.000215x_6x_7. \quad (7)$$

Аналогично идентифицируя нечетких параметров нечеткой модели, описывающей массовой доли воды в сере полученной на реакторе RCBA-3 ($\tilde{y}_W^{nf}(\mathbf{x})$) на α уровнях и объединяя их по формуле (6) получена следующая модель, позволяющая определить значений $\tilde{y}_W^{nf}(\mathbf{x})$ в зависимости от x_5, x_6, x_7 , удобная для проведения компьютерного моделирования:

$$\tilde{y}_W^{nf}(\mathbf{x}) = 0.180000 + 0.000222x_5 + 0.000120x_6 + 0.000400x_7 + 0.0000008x_5^2 + 0.0000002x_6^2 + 0.0000007x_7^2 + 0.000075x_5x_6 - 0.000067x_5x_7 - 0.000078x_6x_7. \quad (8)$$

Сравним результатов моделирования, полученных на основе разработанных моделей, известных литературных источников и реальных данных, полученных экспериментальным путем на исследуемом БПС Атырауского НПЗ.

Приведенные в таблице 2 результаты моделирования с помощью разработанных системы моделей основных агрегатов, сравнению с результатами известных детерминированных моделей, с высокой точностью совпадают с реальными данными, полученные опытными ЛПР при управлении объекта исследования. Кроме того, разработанная система моделей основных агрегатов БПС позволяет нечетко описываемых качественных показателей производимой серы, которые не определяются традиционными методами моделирования.

На основе данных таблицы 2, где приведены результаты разработанных моделей можно заключить, что они с достаточной точностью совпадают с реальными данными с объекта исследования. Объем конечного серы с выхода реакторов СВА по сравнению известными моделями более совпадает с реальными данными т.е. адекватность выше и выход серы больше на 2.45 т/сутки или 12.24%, что обеспечивает высокую эффективность работы БПС; Устойчивость разработанных моделей обоснована тем, что при многократном моделировании режимов работы БПС при одинаковых значения входных, режимных параметров, получены почти одни и те результаты. Результаты моделирования с применением разработанных моделей также были стабильными при других значениях входных, режимных параметров БПС.

Таблица 2 – Сравнение результатов моделирования на основе разработанных моделей, известных детерминированных моделей [21] и экспериментальных данных с объекта исследования, т.е. БПС Атырауского НПЗ

Объемы серы и выделяемого водорода и качественные показатели серы	Результаты моделирования на основе разработанных моделей	Результаты моделирования на основе известных детерминированных моделей [21]	Реальные данные полученные экспериментально
Объем серы с БПС, т/с (тн/сутки)	22	19.6	21.3
Объем водорода с БПС, т/с	1.6	1.5	1.6
Качественные показатели серы:			
Массовая доля серы, %	99.98	–	(99.97)л
Массовая доля золы, %	0.0068	–	(0.007)л
Массовая доля воды, %	0.005	–	(0.005)л
Входные, режимные параметры БПС:			
x_5^* – загрузка сырья в РСВА БПС, т/с	23	23	23
x_6^* – температура в РСВА БПС, оС	280	285	282
x_7^* – давление в РСВА БПС, кг/см ²	0.80	0.83	0.80
Примечание: входные и режимные параметры процесса взяты примерно одинаковые, (л) означает, что они получены лабораторным путем.			

Заключение

В процессе проведенного исследования получены следующие основные результаты:

- предложен метод разработки пакета моделей взаимосвязанных агрегатов ХТС, для системного моделирования и оптимизации режимов их работы. Предложенный метод разработки системы моделей ХТС в условиях дефицита и нечеткости исходной информации основана на использование доступной информации различного характера и позволяет создать пакет моделей сложных технологических ХТС в условиях дефицита и нечеткости исходной информации;

- проведены системный анализ и экспертная оценка различных видов моделей разрабатываемые для основных агрегатов БПС и выбраны эффективные модели для реакторов и конденсаторов БПС;

- разработаны гибридные модели термореактора, реакторов Клауса и СВА на основе доступной статистических данных и нечеткой информации, полученной от ЛПР, экспертов. При этом модели, определяющие выходы полупродуктов и серы с реакторов разработаны в виде статистических моделей, а модели, оценивающие качественных показателей серы – в виде нечетких моделей;

Новизна полученных результатов заключается в создании метода разработки системы моделей взаимосвязанных агрегатов ХТС на основе доступной информации различного

характера и системного подхода. Созданная система моделей основных агрегатов БПС позволяют системно моделировать взаимосвязанных реакторов и конденсаторов и определить оптимальные режимы их работы и работу БПС.

Возможным направлением для будущих исследований данной работы является разработка алгоритмов многокритериальной оптимизации, позволяющие на основе системы моделей произвести автоматизированную оптимизацию режимов работы БПС.

Список литературы

1. Edmonson N. Industrial sulfur demand: Analysis and prospect / N. Edmonson // Nat Resour Res. – 2020. – Vol. 3. – P. 205-215. <https://doi.org/10.1007/BF02259046>.
2. Ostrovsky G.M. Design of Chemical Engineering Systems with Chance Constraints / G.M. Ostrovsky, T.V. Lapteva, N.N. Ziyatdinov // Theor Found Chem Eng. – 2020. – Vol. 51, № 5. – P. 961-971. <https://doi.org/10.1134/S0040579517060136>.
3. Study and Design of Mathematical Models for Chemical-Technological Systems under Conditions of Uncertainty Based on the Systems Analysis / B.B. Orazbayev et al // Proceeding of the International Symposium on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM). Bristol, UK. – 2017. – № 140528. – P. 776-790.
4. Analysis of sulfur production by the Claus method at oil and gas enterprises / I.A. Golubeva et al // Oil and Gas Chemistry. – 2020. – № 3. – P. 10-18.
5. Ahmed M. Systems Modeling / M. Ahmed // Springer. – Singapore: 2020. – 217 p.
6. Protalinskii O.M. Analysis and Modelling of Complex Engineering Systems Based on the Component Approach / O.M. Protalinskii // World Applied Sciences Journal. – 2019. – Vol. 24, № 2. – P. 276-283.
7. Горшков П.С. Моделирование сложной технической системы как объекта испытаний / П.С. Горшков, А.В. Мухин, А.Г. Тригубович // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2020. – Т. 37. – С. 61-68.
8. Zhao T. Artificial Intelligence in Mathematical Modelling of Complex Systems / T. Zhao // EAI Endorsed Transactions on e-Learning. – 2024. – Vol. 10, № 3. – P. 2-12.
9. Тулеуов Ж.Н. Технологический регламент установки производства серы / Ж.Н. Тулеуов. – Атырау: Изд-во Атырауского университета нефти и газа, 2020. – 116 с.
10. Солодов В.С. Применение методов планирования активного эксперимента при разработке моделей / В.С. Солодов, Ю.И. Юдин // Известия МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2018. – Т. 9, № 2. – С. 187-190.
11. Воронина О.А. Эксперимент, планирование, реализация, анализ / О.А. Воронина. – Учебно-научный институт информационных технологий. М.: Физматиздат, 2020. – 292 с.
12. Pen R.Z. Statistical methods for modeling and optimization of technological processes / R.Z. Pen, V.R. Pen // International Journal of Experimental Education. – 2017. – Vol. 2. – P. 81-83. <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=11169> (date of access: 25/03/2025).
13. Карманов Ф.И. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCad / Ф.И. Карманов, В.А. Острейковский. – М.: Металлург, 2020. – 287 с.
14. Гуцыкова С. Метод экспертных оценок: Теория, практика / С. Гуцыкова. – М.: Когито-Центр, 2021. – 47 с.
15. Zimmermann H.-J. Fuzzy Set Theory – and Its Applications / H.-J. Zimmermann // Springer Science+Business Media, LLC. Fifth. Edition. – 2023. – 527 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0646-0>.
16. Aliev R.A. Production management with fuzzy initial information / R.A. Aliev, A.E. Tserkovny, G.A. Mamedova. – 3-edit. Energoatomizdat; Moscow, 2022. – 255 p.
17. A Hybrid Method for the development of Mathematical Models of a Chemical Engineering System in Ambiguous Condition / B.B. Orazbayev, E.A. Ospanov, K.N. Orazbayeva, L.T. Kurmangazieva // Mathematical Models and Computer Simulations. – 2018. – Vol. 10, № 6. – P. 748-758. <https://doi.org/10.1134/S2070048219010125>.
18. Валеев С.Г. Регрессионное моделирование в обработке наблюдений / С.Г. Валеев. – М.: Наука, 3-е изд., 2021. – 272 с.
19. Uncini A. Least Squares Method. In: Fundamentals of Adaptive Signal Processing / A. Uncini // Signals and Communication Technology. Springer, Cham. – 2020. – P. 143-204. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02807-1_4.

20. Aida-Zade K.R. Analysis of the Methods for Constructing Membership Functions Using Expert Data / K.R. Aida-Zade, P.S. Guliyeva, R.E. Ismibayli // Recent Developments and the New Directions of Research, Foundations, and Applications. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, Cham. – 2023. – Vol 422. – P. 361-365. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20153-0_29.
21. Шумский В.М. Инженерные задачи в нефтепереработке и нефтехимии / В.М. Шумский, Л.А. Зырянова. – М.: Химия, 3-е изд., 2023. – 478 с.

References

1. Edmonson N. Industrial sulfur demand: Analysis and prospect / N. Edmonson // Nat Resour Res. – 2020. – Vol. 3. – P. 205-215. <https://doi.org/10.1007/BF02259046>. (In English).
2. Ostrovsky G.M. Design of Chemical Engineering Systems with Chance Constraints / G.M. Ostrovsky, T.V. Lapteva, N.N. Ziyatdinov // Theor Found Chem Eng. – 2020. – Vol. 51, № 5. – P. 961-971. <https://doi.org/10.1134/S0040579517060136>. (In English).
3. Study and Design of Mathematical Models for Chemical-Technological Systems under Conditions of Uncertainty Based on the Systems Analysis / B.B. Orazbayev et al // Proceeding of the International Symposium on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM). Bristol, UK. – 2017. – № 140528. – P. 776-790. (In English).
4. Analysis of sulfur production by the Claus method at oil and gas enterprises / I.A. Golubeva et al // Oil and Gas Chemistry. – 2020. – № 3. – P. 10-18. (In English).
5. Ahmed M. Systems Modeling / M. Ahmed // Springer. – Singapore: 2020. – 217 p. (In English).
6. Protalinskii O.M. Analysis and Modelling of Complex Engineering Systems Based on the Component Approach / O.M. Protalinskii // World Applied Sciences Journal. – 2019. – Vol. 24, № 2. – P. 276-283. (In English).
7. Gorshkov P.S. Modelirovanie slozhnoi tekhnicheskoi sistemy kak ob"ekta ispytaniy / P.S. Gorshkov, A.V. Mukhin, A.G. Trigubovich // Vestnik MGTU im. N.EH. Bauman. – 2020. – T. 37. – S. 61-68. (In Russian).
8. Zhao T. Artificial Intelligence in Mathematical Modelling of Complex Systems / T. Zhao // EAI Endorsed Transactions on e-Learning. – 2024. – Vol. 10, № 3. – P. 2-12. (In English).
9. Tuleuov ZH.N. Tekhnologicheskii reglament ustanovki proizvodstva sery / ZH.N. Tuleuov. – Atyrau: Izd-vo Atyrauskogo universiteta nefti i gaza, 2020. – 116 s. (In Russian).
10. Solodov V.S. Primenenie metodov planirovaniya aktivnogo eksperimenta pri razrabotke modelei / V.S. Solodov, YU.I. Yudin // Izvestiya MGTU im. N. EH. Bauman. – 2018. – T. 9, № 2. – S. 187-190. (In Russian).
11. Voronina O.A. Eksperiment, planirovanie, realizatsiya, analiz / O.A. Voronina. – Uchebno-nauchnyi institut informatsionnykh tekhnologii. M.: Fizmatizdat, 2020. – 292 s. (In Russian).
12. Pen R.Z. Statistical methods for modeling and optimization of technological processes / R.Z. Pen, V.R. Pen // International Journal of Experimental Education. – 2017. – Vol. 2. – P. 81-83. <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=11169> (date of access: 25/03/2025). (In English).
13. Karmanov F.I. Statisticheskie metody obrabotki eksperimental'nykh dannykh s ispol'zovaniem paketa MathCad / F.I. Karmanov, V.A. Ostreikovskii. – M.: Metallurg, 2020. – 287 s. (In Russian).
14. Gutsykova S. Metod eksperimentnykh otsenok: Teoriya, praktika / S. Gutsykova. – M.: Kogito-Tsentr, 2021. – 47 s. (In Russian).
15. Zimmermann H.-J. Fuzzy Set Theory – and Its Applications / H.-J. Zimmermann // Springer Science+Business Media, LLC. Fifth. Edition. – 2023. – 527 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0646-0>. (In English).
16. Aliev R.A. Production management with fuzzy initial information / R.A. Aliev, A.E. Tserkovny, G.A. Mamedova. – 3-edit. Energoatomizdat; Moscow, 2022. – 255 p. (In English).
17. A Hybrid Method for the development of Mathematical Models of a Chemical Engineering System in Ambiguous Condition / B.B. Orazbayev, E.A. Ospanov, K.N. Orazbayeva, L.T. Kurmangazieva // Mathematical Models and Computer Simulations. – 2018. – Vol. 10, № 6. – P. 748-758. <https://doi.org/10.1134/S2070048219010125>. (In English).
18. Valeev S.G. Regressionnoe modelirovanie v obrabotke nablyudenii / S.G. Valeev. – M.: Nauka, 3-e izd., 2021. – 272 s. (In Russian).
19. Uncini A. Least Squares Method. In: Fundamentals of Adaptive Signal Processing / A. Uncini // Signals and Communication Technology. Springer, Cham. – 2020. – P. 143-204. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02807-1_4. (In English).

20. Aida-Zade K.R. Analysis of the Methods for Constructing Membership Functions Using Expert Data / K.R. Aida-Zade, P.S. Guliyeva, R.E. Ismibayli // Recent Developments and the New Directions of Research, Foundations, and Applications. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, Cham. – 2023. – Vol 422. – P. 361-365. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20153-0_29. (In English).
21. Shumskii V.M. Inzhenernye zadachi v neftepererabotke i neftekhimii / V.M. Shumskii, L.A. Zyryanova. – M.: Khimiya, 3-e izd., 2023. – 478 s. (In Russian).

Источник финансирования: Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP23490206 – Разработка системы поддержки принятия решений по управлению процессом производства серы).

Б.Б. Оразбаев¹, К.Н. Оразбаева², А.К. Жумадиллаева^{1*}, Г.Ж. Шуйтенов², М.Т. Зарыпхан¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университет,
010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Пушкин к-сі, 11

²Esil university,
040005, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жубанов к-сі, 7

*e-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz

АТЫРАУ МҰНАЙ ӨНДЕУ ЗАУЫТЫ КҮКІРТ ӨНДІРУ БЛОГЫНЫҢ ӨЗ АРА БАЙЛАНЫСҚАН РЕАКТОРЛАРЫНЫҢ МОДЕЛЬДЕРІ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ

Атырау мұнай өңдеу зауытының күкірт өндіру блогының өзара байланысқан реакторларының модельдері жүйесін құру бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Күкірт өндіру блогы сияқты күрделі технологиялық жүйелердің модельдерін құру олардың күрделілігімен қатар бастапқы ақпараттың тапшылығымен және айқын еместігіне байланысты белгісіздігімен күрделі болып табылады. Осы себептен зерттеудің мақсаты әртүрлі сипаттағы қолжетімді ақпарат негізінде бастапқы ақпараттың тапшылығы және айқын еместігі жағдайында күрделі технологиялық жүйелердің өзара байланысқан агрегаттарының модельдері пакетін құру ретінде анықталды. Зерттеудің негізгі нәтижелері: бастапқы ақпараттың тапшылығымен және айқын еместігімен сипатталатын күрделі химиялық-технологиялық жүйелердің өзара байланысқан агрегаттары модельдер жүйесін құру әдісі; жүйелік талдау, модельдердің түрлерін сараптамалық бағалау және зерттелетін күкірт өндіру блогының негізгі агрегатырының тиімді моделін таңдау; теормореактордың, Клаус реакторының және суық абсорбциялау реакторларының гибриді модельдерін қолжетімді пассивті және активті эксперименттер арқылы алынған статистикалық деректер және шешім қабылдаушы тұлғалар мен сарапшылардан алынған айқын емес ақпарат негізінде әзірленді; күкірт өндіру блогы жұмыс режимдерін жүйелік модельдеу және оптимизациялау үшін бұл блоктың реакторлары модельдерін бір модельдер пакетіне біріктіру схемасы ұсынылды. Алынған нәтижелердің ғылыми маңыздылығы белгісіздік жағдайында күрделі технологиялық жүйелерді жүйелік модельдеу үшін олардың агрегаттарының модельдері пакетін құрудың тиімді тәсілінің ұсынылуында. Жұмыстың практикалық маңыздылығы ұсынылып отырған тәсілді түрлі технологиялық жүйелердің модельдері пакетін құруға және оларды жүйелік модельдеу арқылы жұмыс режимдерін оптимизациялау үшін қолдану мүмкіндігінде.

Түйін сөздер: жүйелік модельдеу; модельдер пакеті; оптимизациялау; күкірт өндіру блогы; Клаус процесі.

B. Orazbayev¹, K. Orazbayeva², A. Zhumadillayeva^{1*}, G. Shuitenov², M. Zarypkhan¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University,
010008, Pushkin Street 11

²Esil university,
040005, Kazakhstan, Astana, Zhubanova street 7

*e-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz

DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF MODELS OF INTERCONNECTED REACTORS OF THE SULFUR PRODUCTION UNIT OF THE ATYRAU REFINERY

The results of the study on the development of a system of models of interconnected reactors of the sulfur production unit of the Atyrau Refinery are presented. The development of models of complex technological systems such as the sulfur production unit is complicated by their complexity and uncertainty associated with the shortage and ambiguity of the initial information. In this regard, the goal of the study was defined as the creation of a package of models of interconnected units of complex technological systems with a deficit and ambiguity of initial information based on available information of various natures. The main results of the study are: a method for creating a system of models of interconnected units of complex chemical-

technological systems characterized by a deficit and fuzzy initial information; system analysis, expert assessment of various types of models and selection of an effective model of the main units of the studied sulfur production unit; hybrid models of a thermal reactor, Claus reactors and Cold Bed Absorption were developed based on available statistical data obtained by passive, active experiments and fuzzy information received from the decision maker and experts; a scheme for combining models of reactors and condensers of the sulfur production unit into a single package of models was proposed, according to which a package for system modeling and optimization of the operating modes of this unit was created. The scientific importance of the obtained results lies in the development of methods for developing mathematical models and system modeling of complex technological systems under uncertainty. The practical significance of the work is that the proposed method can be used to develop a package of models of various technological systems and systematically model their operating modes to optimize their parameters.

Key words: system modeling; model package; optimization; sulfur production unit; Claus process.

Сведения об авторах

Батыр Бидайбекович Оразбаев – доктор технических наук, профессор кафедры «Системный анализ и управления»; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: batyr_o@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2109-6999>.

Кульман Нахановна Оразбаева – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и технологии»; Esil university, Республика Казахстан; e-mail: kulman_o@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1741-7553>.

Айнур Канадилловна Жумадиллаева* – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Компьютерная и программная инженерия»; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-0415>.

Габит Жумабаевич Шүйтенов – кандидат педагогических наук, доцент, проректор по стратегии и цифровизации Esil university, Республика Казахстан; e-mail: g.shuitenov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-0415>.

Зарыпхан Махамбет Талимулы – магистрант кафедры «Системный анализ и управление»; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: speedyaspid@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3408-5687>.

Авторлар туралы мәліметтер

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

Кульман Нахановна Оразбаева – техника ғылымдарының докторы, «Ақпараттық жүйлер және технологиялар» кафедрасының профессоры; Esil university; Қазақстан; e-mail: kulman_o@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1741-7553>.

Айнур Канадилловна Жумадиллаева* – техника ғылымдарының кандидаты, «Компьютерлік және бағдарламалық инженерия» кафедрасының қауымдасқан профессоры; Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті; Қазақстан; e-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-0415>.

Габит Жумабаевич Шүйтенов – педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, стратегия және цифрландыру бойынша проректор; Esil university; Қазақстан; e-mail: g.shuitenov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-0415>.

Зарыпхан Махамбет Тәлімұлы – «Жүйелік талдау және басқару» кафедрасының магистранты; Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті; Қазақстан; e-mail: speedyaspid@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3408-5687>.

Information about the authors

Batyr Orazbayev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of System Analysis and Management; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: batyr_o@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2109-6999>.

Kulman Orazbayeva – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Systems and Technologies; Esil University, Republic of Kazakhstan; e-mail: kulman_o@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1741-7553>.

Ainur Zhumadillayeva* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer and Software Engineering; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-0415>.

Gabit Shuitenov – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Strategy and Digitalization of Esil University, Republic of Kazakhstan; e-mail: g.shuitenov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-0415>.

Makhambet Zarypkhan – Master's student of the Department of System Analysis and Control; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: speedyaspid@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3408-5687>.

Поступила в редакцию 02.04.2025

Поступила после доработки 17.05.2025

Принята к публикации 19.05.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-10](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-10)



МРНТИ: 28.23.27

И.Б. Карымсакова^{1*}, З.С. Ерсултанова², Г.С. Енсебаева³, З.С. Ерсултанова⁴, Г.Т. Азиева⁵

¹Шәкәрім университет,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинка, 20 А

²Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы,

110000, Республика Казахстан, г. Костанай, ул. А. Байтұрсынова, 47,

³Alikhan Bokeikhan University,

071400, Республика Казахстан, г. Семей, улица Мәңгілік ел, 11,

⁴Университет «Туран-Астана»,

070100, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Ы. Дуkenулы, 29 А,

⁵Esil University,

070100, Республика Казахстан, г. Астана, ул. А. Жубанова, 7

*e-mail: dariy6a@mail.ru

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ РАКА ЛЕГКИХ

Аннотация: Онкологические заболевания являются одним самых смертоносных заболеваний в современном мире. Ранняя диагностика этих заболеваний способствует сохранению продолжительности жизни пациентов. Разработка мер и программ для ранней диагностики онкологических заболеваний является одной актуальных проблем на сегодняшний день. Применение методов интеллектуальных систем и искусственного интеллекта в диагностировании онкологических заболеваний является важным аспектом в данном вопросе. В таких случаях в основном применяются экспертные системы или системы поддержки принятия решений. В данной работе исследуется ранняя диагностика рака легких при помощи опроса по вопросам протокола и с учетом факторов региона. Исследования проводятся для жителей территории бывшего Семипалатинского ядерного полигона. Так как проведенные испытания оказывают влияние на здоровье граждан данного региона и по сегодняшний день. Регион входит в пятерку областей с самым высоким показателем заболеваемости онкологическими заболеваниями и по показателям смертности. Был проведен анализ существующих экспертных систем. За основу модели были взяты нейронные сети для систем поддержки принятия решений. Каждому параметру модели присваивается вес, относительно которого высчитывается значимость и даются предварительные указания по дальнейшим действиям опрошенного пациента. В результате были выявлены факторы, которые наиболее сильно влияют на заболеваемость раком легких.

Ключевые слова: экспертная система, информационные системы, искусственный интеллект, нейронные сети, сети Хемминга, анализ, интеллектуальные системы, базы данных.

Введение

На сегодняшний день одной из актуальных проблем является рост онкологических заболеваний. Ранняя диагностика позволяет провести операции по удалению опухолей и увеличить продолжительность жизни пациентов.

По заболеваемости онкологическими заболеваниями самыми частыми являются: рак молочной железы, рак легких, колоректальный рак. Рак легких стоит на первом месте по смертности среди других онкологических заболеваний. Большой процент заболеваемости выявляется у мужчин. В основном пациенты обращаются уже на поздних стадиях заболевания, потому что в легких человека нет нервных окончаний и человек не чувствует