

Торайғыров университетінің  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2020)

---

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

KZ19VRY00029272

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных  
и информационных систем, электромеханики  
и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/YYQF6740>

**Б. Б. Оразбаев<sup>1</sup>, А. К. Жумадиллаева<sup>2</sup>, К. Н. Оразбаева<sup>3</sup>,  
Л. Т. Курмангазиева<sup>4</sup>, Б. Е. Утенова<sup>5</sup>**

<sup>1,2</sup>Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

<sup>3</sup>Казахский университет Экономики, финансов и международной торговли,  
Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

<sup>4</sup>Атырауский университет им. Х. Досмухамедова,  
Республика Казахстан, г. Атырау;

<sup>5</sup>Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева,  
Республика Казахстан, г. Атырау

## **МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА**

*В статье исследованы проблемы разработки математических моделей взаимосвязанных объектов технологической системы при дефиците, нечеткости исходной информации и предложен подход к их решению. Для решения проблемы неопределенности и нехватки исходной информации для разработки математических моделей технологических объектов предложена методика построения системы математических моделей объектов с использованием нечеткой информации, а также доступных теоретических и статистических данных. Суть предлагаемой методики разработки математических моделей взаимосвязанных технологических агрегатов установки ЛГ заключается в применении методов системного анализа и теорий нечетких множеств, позволяющие использовать нечеткой информации и других доступных данных. Методика позволяет для каждого объекта определить наиболее подходящего типа модели для него и создать пакета моделей путем объединения разработанных моделей агрегатов в единую систему. Соответственно полученный пакет моделей может системно моделировать работу технологической установки и определить оптимальный режим работы. Работа выполнена*

*в рамках проекта грантового финансирования МОН РК «Интеллектуализированная система поддержки принятия решений для управления режимами работы установки каталитического риформинга» ИРН АР08855680.*

*Ключевые слова: математическая модель, установка каталитического риформинга, нечеткая модель, лингвистическая модель, экспертная оценка, системный анализ, лицо, принимающее решение.*

## **Введение**

В настоящее время во всех нефтеперерабатывающих заводах для производства высококачественного бензина используются технологические установки каталитического крекинга и каталитического риформинга, которые используют различные катализаторы и имеют в своем составе различные блоки и взаимосвязанные технологические агрегаты [1, 2].

В данной работе объектом исследования является установка каталитического риформинга модели ЛГ-35-11/300-95, функционирующая на Атырауском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) с 1971 года [3]. На установке ЛГ протекает процесс каталитического риформинга прямогонных бензинов с установки первичной переработки нефти, который является важнейшим технологическим процессом современной нефтепереработки и нефтехимии. Установка каталитического риформинга служит для производства высокооктанового автомобильных бензинов, ароматических углеводородов (сырья для нефтехимического синтеза) и водородосодержащего газа (ВСГ) ВСГ (технический водород), используется в гидрогенизационных процессах нефтепереработки. Такие установки ЛГ имеются почти на всех отечественных и зарубежных НПЗ [4–6].

Производительность установки ЛГ-35-11/300-95 по сырью 300,0 тыс.тн/год, использует катализаторы UOP – S-12T (блок гидроочистки) и UOP – R-56 (блок риформинга). Целевым продуктом установки является высокооктановый компонент товарных бензинов (с октановым числом до 95 пунктов по исследовательскому методу) и сжиженный бытовой газ [3, 7]. Установка ЛГ состоит из 4-х блоков, основными которых являются блок каталитического риформинга (для превращения нафтенных и парафиновых в ароматические углеводороды) и блок гидроочистки (для очистки бензина от органических соединений серы, кислорода и азота).

В производственных условиях некоторые важные параметры, характеризующие сложные процессы, как процесс риформинга, количественно трудно измеряются или не измеряются, но они могут быть оценены нечетко на естественном или языке. При разработке математических

моделей таких сложных технологических систем, возникают проблемы неопределенности из-за дефицита и нечеткости исходной информации [8, 9]. Но на практике часто за счет опыта, знания и интуиции оператора, технолога – лица, принимающего решения (ЛПР), формализуемого в виде нечеткой информации, задача выбора эффективных режимов работы и управления этими объектами успешно решается. Для нечетко описываемых технологических систем, типа установка ЛГ, методы исследования и разработки математических моделей с использованием нечеткой информации является весьма актуальной научно-технической задачей.

**Объект исследования:** агрегаты установки каталитического риформинга

**Предмет исследования:** моделирование системы установок ЛГ на основе нечеткой информации

**Цель:** целью настоящей работы является создание методики разработки математических моделей взаимосвязанных технологических агрегатов на примере установки каталитического риформинга в условиях дефицита и нечеткости исходной информации.

**Задачи:**

- разработать методику построения математических моделей ее основных агрегатов с учетом нечеткости исходной информации;
- моделирование с целью принятия решений по выбору оптимального режима работы установки каталитического риформинга.

Для системного моделирования с целью принятия решений по выбору оптимального режима работы установки каталитического риформинга необходимо разработать методику построения математических моделей ее основных агрегатов с учетом нечеткости исходной информации. Разрабатываемая методика должна позволить построить адекватных математических моделей взаимосвязанных агрегатов установки ЛГ на основе нечеткой и другой доступной информации различного характера.

Для разработки методики построения математических моделей взаимосвязанных технологических объектов в условиях неопределенности с использованием нечеткой и доступной информации различного характера используются методы системного анализа [10], методы теории вероятностей и математической статистики [11, 12], методы разработки детерминированных моделей [4, 6, 13], а также методы теорий нечетких множеств и экспертной оценки [8, 9, 14].

**Методы и результаты исследования**

На основе методов системного анализа разрабатываем методику построения математических моделей взаимосвязанных агрегатов технологической системы, например, установки ЛГ на основе нечеткой информации и других доступных данных. Доступной исходной информацией

может быть статистические, экспериментальные данные, теоретические сведения и экспертная информация.

Методика разработки математических моделей технологической системы (ТС), состоящей из взаимосвязанных объектов, на основе доступной информации различного характера включает в себя следующие основные пункты:

1 Исследование и системный анализ ТС: сбор и обработка доступной информации, определение цели моделирования;

2 С учетом цели моделирования определить и выбрать критериев оценки и сравнения типов моделей, для каждого агрегата исследуемого технологического комплекса;

3 По выбранным критериям провести экспертную оценку каждого типа модели для агрегатов и по интегрированному критерию определить эффективного типа модели для каждого агрегата. Данный этап может иметь следующие подэтапы:

3.1 В случае достаточности теоретических сведений, описывающих работу отдельного агрегата и по интегрированному критерию детерминированный модель будет оптимальной, то для этого агрегата на основе аналитических методов строится детерминированная модель;

3.2 Если статистические данные, описывающие работу агрегата достаточны, либо их можно собрать на основе экспериментов, а также по интегрированному критерию экспериментально-статистическая модель является оптимальной, то на основе экспериментально-статистических методов разрабатывается статистическая модель агрегата;

3.3 На практике может иметь место случай, когда теоретическая и статистическая информация, описывающая работу исследуемого агрегата недостаточна, а сбор такой информации невозможно или экономически нецелесообразно. В этом случае, если имеется нечеткая информация и по интегрированному критерию оптимальной является нечеткая, лингвистическая модель, то с применением методов теорий нечетких множеств строится нечеткая или лингвистическая модель объекта. Для этого переход осуществляется к пункту 4;

3.4 Если теоретические, статистические данные и нечеткая информация, описывающая работу агрегата ТС недостаточно или их сбор экономически нецелесообразен, то строится комбинированная (гибридная) модель [9]. В этом случае комбинированная модель разрабатывается на основе доступной информации различного характера (теоретической, статистической, нечеткой). Для этого для описания конкретного параметра объекта, используется различные комбинации подпунктов 3.1, 3.2, 3.3.

4 Определение и выбор входных  $\tilde{x}_i \in \tilde{A}_i, i = \overline{1, n}$  и выходных  $\tilde{y}_j \in \tilde{B}_j, j = \overline{1, m}$  параметров (переменных) объекта, описывающие соответственно, входные, режимные параметры, и качество работы объекта. Эти параметры необходимы для построения модели и могут быть лингвистическими переменными:  $\tilde{A}_i \in X, \tilde{B}_j \in Y$  – нечеткие подмножества,  $X, Y$  – универсальные множества, входных и выходных параметров. Входные параметры могут быть четкими, т.е.  $x_i \in X_i, i = \overline{1, n}$ .

5 Если  $x_i \in X_i, i = \overline{1, n}$ , т.е. входные параметры четкие, то определить структуру нечетких моделей  $\tilde{y}_j = \tilde{f}_j(x_1, \dots, x_n, \tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n), j = \overline{1, m}$  (структурная идентификация моделей). Например, структура модели может быть определена в виде нечетких уравнений множественной регрессии:

$$\tilde{y}_j = \tilde{a}_{0j} + \sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=i}^n a_{ikj} x_{ij} x_{kj}, j = \overline{1, m}.$$

6 На основе методов экспертной оценки с привлечением ЛПП определить терм-множества  $T(\tilde{X}_i, \tilde{Y}_j)$ , описывающие параметры моделируемого объекта.

7 Построение функции принадлежности нечетких параметров объекта:  $\mu_A(\tilde{x}_i), \mu_B(\tilde{y}_j)$ .

На основе опыта моделирования технологических объектов нефтеперерабатывающего производства в нечеткой среде можно рекомендовать следующую адаптируемую структуру функции принадлежности:

$$\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j) = \exp(Q_{B_j}^p | (y_j - y_{mdj})^{N_{B_j}^p} |),$$

где  $\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j)$  – функция принадлежности, описывающие выходных нечетких параметров к нечеткому множеству  $\tilde{B}_j$ ;  $p$  – номер кванта (интервала дискретизации);  $Q_{B_j}^p$  – параметр (коэффициент), определяющий уровень нечеткости, который определяется при идентификации функции принадлежности;  $N_{B_j}^p$  – коэффициенты, определяющие область определения термов функции принадлежности нечетких параметров и позволяющие менять форму графика функции принадлежности;  $y_{mdj}^p$  – нечеткая переменная, наиболее соответствующая заданному терму на кванте  $p$ . Данная переменная определяется из следующего условия  $\mu_{B_j}(y_{mdj}^p) = \max_j \mu_{B_j}(y_j)$ .

8 Если входные и выходные параметры являются нечеткими, то необходимо определить связи между входными и выходными лингвистическими переменными, т.е. нечетких отображений  $R_{ij}$  между  $\tilde{x}_i$  и  $\tilde{y}_j$ .

Для удобства применения нечеткого отображения при вычислении определяется матрица связей с функциями принадлежности:

$$\mu_{R_{ij}}(\tilde{x}_i, \tilde{y}_j) = \min[\mu_{A_i}(\tilde{x}_i), \mu_{B_j}(\tilde{y}_j)], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}].$$

Затем строится лингвистическая модель, имеющая общую структуру:

IF  $\tilde{x}_1 \in \tilde{A}_1(\tilde{x}_2 \in \tilde{A}_2(\dots(\tilde{x}_n \in \tilde{A}_n), \dots))$  THEN  $\tilde{y}_j^M \in \tilde{B}_j, j = \overline{1, m}$  и перейти к пункту 10.

9 Если выполняется условие пункта 5, то с применением множества уровня  $\alpha$  и модифицированного метода наименьших квадратов определить значения нечетких коэффициентов  $(\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n)$  (параметрическая идентификация) и перейти к пункту 11.

10 Если выполняется условие пункта 8, то на основе композиционного правила вывода  $\tilde{B}_j = \tilde{A}_i \circ R_{ij}$  определить нечетких значений выходных параметров объекта, затем из нечетких решений определяется числовые значения выходных параметров.

В этом пункте с помощью композиционного правила вывода определяется выходные параметры объекта, определяющие качества его работы, например с применением максиминного произведения.

Пусть  $\tilde{x}_i^*$  – означает значения входных нечетких параметров объекта, оцененные экспертами. В этом случае множество текущих значений входных параметров определяется как нечеткое множество, в котором функции принадлежности входных параметров будут максимальными:  $\mu_{A_i}(\tilde{x}) = \max(\mu_{A_i}(\tilde{x}_i^*))$ . Тогда нечеткие значения выходных переменных определяются в виде функциями принадлежности, выражающая максиминного произведения:

$$\mu_{B_j}(\tilde{y}_j^*) = \max_{x_i \in X_i} \{\min[\mu_{A_i}(\tilde{x}_i^*) \mu_{R_{ij}}(x_i^*, \tilde{y}_j^*)]\}.$$

Количественных значений выходных параметров можно определить с помощью следующего выражения:

$$y_j^c = \arg \max_{\tilde{y}_j} \mu_{B_j}(\tilde{y}_j^*),$$

т.е., выбираются значения выходных параметров, в котором функции принадлежности достигают максимальных значений (если функции принадлежности нормальные то 1).

11 Проверка условие адекватности модели:  $R = \min \sum_{j=1}^m (y_j^M - y_j^E)^2 \leq R_D$ ,

где  $y_j^M$  – расчетные (модельные), а  $y_j^E$  – экспериментальные (реальное) значения выходных параметров объекта,  $R_D$  – допустимое отклонение. Если условие адекватности выполняется, то модель рекомендуется для моделирования определения оптимальных режимов работы объекта. В противном случае определяется причина неадекватности модели и переход осуществляется обратно в соответствующие пункты описанной методики. При этом причиной не адекватности модели могут быть: не включения в модели некоторых параметров, значительно влияющих на процесс; неправильная структурная и/или параметрическая идентификация модели и т.д.

Предлагаемая методика разработки математических моделей взаимосвязанных объектов в условиях дефицита и нечеткости исходной информации основана на методы системного анализа, экспертной оценки, теорий нечетких множеств, а также на традиционные методы разработки моделей. Методика позволяет в условиях неопределенности из-за дефицита и нечеткости доступной информации, построить систему математических моделей на основе доступной информации различного характера (теоретической, статистической, нечеткой), в том числе комбинируя доступной информации. При этом в зависимости характера используемой информации при построении моделей, могут быть разработаны различные типы моделей (детерминированные, статистические, нечеткие, лингвистические и комбинированные).

С целью определения наиболее подходящего типа модели для каждого агрегата технологической системы необходимо провести системный анализ, и оценка каждого типа моделей по выбранным критерия сравнения. Такими критериями могут быть, например, доступность исходной информации для разработки соответствующего типа модели; стоимость разработки; адекватность модели и др. Так как разработанных моделей еще необходимо объединить в единый пакет моделей для системного моделирования работы технологической установки, следует учесть возможность объединения выбранного типа модели в пакет.

### **Выводы**

Таким образом разработанная методика в условиях дефицита и нечеткости исходной информации позволяет создать систему математических моделей взаимосвязанных объектов на основе доступной информации различного характера. Данный подход может эффективно применен при разработке математических моделей сложных технологических систем, которые часто характеризуются неопределенностью. При этом условием применимости

предлагаемой методики является наличие опытных специалистов, ЛПР (экспертов), которые для многих функционирующих технологических объектов имеются. Математическим аппаратом сбор, формализации и применения нечеткой информации от экспертов, ЛПР является методы теорий нечетких множеств и экспертной оценки.

В работе исследованы проблемы разработки математических моделей сложных технологических комплексов, состоящих из множества взаимосвязанных агрегатов и предложен поход к их решению. Как известно основной проблемой при этом является проблемы неопределенности, возникающие из-за дефицита и нечеткости исходной информации. В статье в качестве объекта исследования описана установка каталитического риформинга модели ЛГ-35-11/300-95, который эксплуатируется на Атырауском НПЗ. Так как некоторые параметры, характеризующие качество производимой продукции, характеризуется нечеткостью, разработанная методика разработки основана на использование нечеткой информации и доступных данных другого характера.

Новизна предлагаемой методики разработки математических моделей взаимосвязанных технологических агрегатов установки ЛГ заключается в применении системного подхода, использование нечеткой информации и других доступных данных, что позволяет решить проблемы неопределенности. Методика позволяет разрабатывать наиболее эффективного типа моделей для отдельных агрегатов технологической системы, создать пакет моделей и провести системное моделирование работы установки с целью определения оптимальных режимов ее работы. Практическая значимость результатов исследования в том, что предлагаемая методика может быть успешно применена при разработке математических моделей различных технологических установок нефтепереработки, нефтехимии и других производств.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Orazbayev, B., Kozhakhmetova, D., Wójtowicz, R., Krawczyk, J.** Modeling of a Catalytic Cracking in the Gasolin Production Installation with a Fuzzy Environment // *Energies*. – 2020. – 13. – 4736. – P. 1–13. doi: 10.3390/en13184736 [www.mdpi.com/journal/energies](http://www.mdpi.com/journal/energies).

2 **Ахметов, С. А.** Технология глубокой переработки нефти и газа : Учебное пособие для вузов. – Уфа : Гилем, 2002. – 672 с.

3 Технологический регламент установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95. – Атырау, 2018. – 135 с.

4 **Кондрашева, Н. К., Кондрашев, Д. О., Абдульминев, К. Д.** Технологические расчеты и теория каталитического риформинга бензина. – Уфа : ООО «Монография», 2018. 2-изд.– 212 с.

5 **Смидович, Е. В.** Технология переработки нефти и газа. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов. 4-е изд., стереотип. – М. : ИД Альянс, 2011. – С. 186–195.

6 **Adzamic, Z., Besic, S.** The impact of the catalytic reforming operation severity on cycle duration and product quality at the Rijeka oil refinery // *Fuels and lubricants*. – Vol. 42. – № 1. – 2013. – P. 83–87.

7 **Абдульминев, К. Г., Ахметов, А. Ф., Сайфуллин, Н. Р., Соловьев, А. С., Абдуллахи, Х. М.** Производство ароматических углеводородов и высокооктановых бензинов фракционированием катализаторов риформинга // Башкирский химический журнал. – 2017. – Т. 7. – № 2. – С. 47–50.

8 **Dubois, D.** The role of fuzzy sets indecision sciences: Old techniques and new directions // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2011. – Vol. 184. – P. 3–17.

9 **Orazbayev, B. B., Ospanov, E. A., Orazbayeva, K. N., Kurmangazieva, L. T.** A Hybrid Method for the Development of Mathematical Models of a Chemical Engineering System in Ambiguous Condition // *Mathematical Models and Computer Simulations*. – 2018. – Vol. 10. – P. 748–758.

10 **Pavlov, S. Yu., Kulov, N. N., Kerimov, R. M.** Improvement of Chemical Engineering Processes Using Systems Analysis // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. – 2016. – Vol. 53. – № 2. – P. 117–133.

11 **Гмурман, В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика: 12-е изд., перераб. – М. : Высшее образование, 2006. – 479 с.

12 **Zhao Zhi-Wen, Wang De-Hui.** Statistical inference for generalized random coefficient autoregressive model // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2012. – Vol. 6. – P. 152–166.

13 **Sharikov, Yu. V., Petrov, P. A.** Universal model for catalytic reforming // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2013. – Vol. 43. – № 9. – P. 580–597.

14 **Рыжов, А. П.** Теория нечетких множеств и ее приложений. – М. : МГУ, 2017. – 115 с.

15 **Sabzi, H. Z.** Developing an intelligent expert system for streamflow prediction, integrated in a dynamic decision support system for managing multiple reservoirs: a case study // *Expert systems with applications*. – 2017. – Vol. 82. – № 3. – P. 145–163.

## References

1 **Orazbayev, B., Kozhakhmetova, D., Wójtowicz, R., Krawczyk, J.** Modeling of a Catalytic Cracking in the Gasolin Production Installation with a

2 **Ahmetov, S. A.** *Technologia glubokoi pererabotki nefiti I gaza : Uchebnoe posobie dlia vuzov.* [Technology of deep processing of oil and gas : A textbook for universities]. – Ufa : Gilem, 2002. – 672 p.

3 *Technologicheskiiy reglament ustanovki kataliticheskogo riforminga LG-35-11/300-95* [Technological regulations of the LH catalytic reforming unit-35-11/300-95]. – Atyrau, 2018. – 135 p.

4 **Kondrasheva, N. K., Kondrashev, D. O., Abdulminev, K. D.** *Technologicheskiiye raschety I teoriya kataliticheskogo riforminga bensina.* [Technological calculations and theory of catalytic reforming of gasoline]. – Ufa : OOO «Monografiya», 2018. 2-ed. – 212 p.

5 **Smidovich, E. V.** *Technologia pererabotki nefiti i gasa. Kreking neftianogo syr'ia I pererabotka uglevodorodnykh gasov. 4-isd., stereotip.* [Technology of oil and gas processing. Cracking of crude oil and processing of hydrocarbon gases]. 4th ed., stereotype. – Moscow : Alliance ID, 2011. – P. 186–195.

6 **Adzamic, Z., Besic, S.** The impact of the catalytic reforming operation severity on cycle duration and product quality at the Rijeka oil refinery In *Fuels and lubricants.* – Vol. 42. – № 1. – 2013, – P. 83–87.

7 **Abdulminev, K. G., Ahmetov, A. F. Saifullin, N. R., Solovyev, A. S., Abdullahi, H. M.** *Proisvodstvo aromaticeskikh uglevodorodov i vysokooktanovykh bensinov frakcionirovaniem katalisatov riforminga* [Production of aromatic hydrocarbons and high-octane gasoline by fractionation of reforming catalysts]. In *Bashkirskiy khimicheskiiy jurnal.* [Bashkir chemical journal]. – 2017. – Vol. 7. – No. 2. – P. 47–50.

8 **Dubois D.** The role of fuzzy sets indecision sciences : Old techniques and new directions. In *Fuzzy Sets and Systems.* – 2011. – Vol. 184. – P. 3–17.

9 **Orazbayev, B. B., Ospanov, E. A., Orazbayeva, K. N., Kurmangazieva, L. T.** A Hybrid Method for the Development of Mathematical Models of a Chemical Engineering System in Ambiguous Condition In *Mathematical Models and Computer Simulations.* – 2018. – V. 10. – P. 748–758.

10 **Pavlov, S. Yu., Kulov, N. N., Kerimov, R. M.** Improvement of Chemical Engineering Processes Using Systems Analysis In *Theoretical Foundations of Chemical Engineering.* – 2016. – V. 53. – № 2. – P. 117–133.

11 **Gmurman, B. E.** *Teoria veroiatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability Theory and Mathematical Statistics]. 12th ed., reprint. – M. : Higher education, 2006. – 479 p.

12 **Zhao Zhi-Wen, Wang De-Hui.** Statistical inference for generalized random coefficient autoregressive model. In *Mathematical and Computer Modelling.* 2012. – Vol. 56. – P. 152–166.

13 **Sharikov, Yu. V., Petrov, P. A.** Universal model for catalytic reforming. In *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2013. – Vol. 43. – № 9, – P. 580–597.

14 **Ryzhov, A. P.** Teoria nechetkikh mnozhestv i ee prilozheniy. [Theory of fuzzy sets and its applications]. – Moscow : MSU, 2017. – 115 p.

15 **Sabzi, H. Z.** Developing an intelligent expert system for streamflow prediction, integrated in a dynamic decision support system for managing multiple reservoirs : a case study. In *Expert systems with applications*. – 2017. – Vol. 82. № 3. – P. 145–163.

Материал поступил в редакцию 30.09.20.

*В. Б. Оразбаев<sup>1</sup>, А. К. Жумадилаева<sup>2</sup>, К. Н. Оразбаева<sup>3</sup>,  
Л. Т. Курмангазиева<sup>4</sup>, Б. Е. Утенова<sup>5</sup>*

**Каталитикалық риформинг қондырғысының өзара байланысқан технологиялық агрегаттарының математикалық модельдерін құру әдістемесі**

<sup>1,2</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

<sup>3</sup>Қазақ экономика, қаржы және халықаралық сауда университеті,  
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

<sup>4</sup>Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті,  
Қазақстан Республикасы, Атырау қ.

<sup>5</sup>С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті,  
Қазақстан Республикасы, Атырау қ.

Материал 30.09.20 баспаға түсті.

*В. Orazbayev<sup>1</sup>, A. Zhumadillayeva<sup>2</sup>, K. Orazbayeva<sup>3</sup>, L. Kurmangaziyeva<sup>4</sup>,  
B. Utenova<sup>5</sup>*

**Methodology for developing mathematical models of interconnected process units of a catalytic reforming plant**

<sup>1,2</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University,  
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

<sup>3</sup>Kazakh University of Economics, Finance and International Trade,  
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

<sup>4</sup>H. Dosmukhamedov Atyrau University,  
Republic of Kazakhstan, Atyrau;

<sup>5</sup>S. Utebayev Atyrau University of Oil and Gas,  
Republic of Kazakhstan, Atyrau.

Material received on 30.09.20.

*Бастапқы ақпараттың жетіспеушілігі, айқынсыздығы кезінде технологиялық жүйенің өзара байланысқан нысандарының математикалық модельдерін құру мәселелері зерттеліп, оларды шешу тәсілдемесі ұсынылған. Технологиялық нысандардың математикалық модельдерін құруда бастапқы ақпараттың анықсыздығы мен жетіспеушілігі мәселелерін шешу үшін айқын емес және қолжетерлік теориялық мәліметтер мен статистикалық деректерді пайдалану арқылы шешу әдістемесі ұсынылған. ЛГ қондырғысының өзара байланысқан технологиялық агрегаттарының математикалық модельдерін құру тәсілдемесі айқын емес және басқа да сипаттағы ақпараттарды пайдалануға мүмкіндік беретін жүйелік талдау және айқын емес жиындар тәсілдерін қолдануға негізделген. Тәсілдеме жүйедегі әр нысанға құрылуы тиімді болатын модель типін анықтап, құруға және құрылған модельдерді бір жүйеге біріктіру арқылы модельдер пакетін құруға мүмкіндік береді. Сондықтан алынған модельдер пакетін технологиялық қондырғы жұмысын жүйелі модельдеп, оның оптимальді жұмыс режимін анықтауда қолдануға болады. Жұмыс ҚР БҒМ гранттық қаржыландырылатын АР08855680 «Каталитикалық риформинг қондырғысы жұмыс режимдерін басқару үшін шешім қабылдаудың интеллектуалдандырылған жүйесі» жобасы аясында орындалған.*

*Кілтті сөздер: математикалық модель, каталитикалық риформинг қондырғысы, анық емес модель, лингвистикалық модель, сараптамалық бағалау, жүйелік талдау, шешім қабылдаушы.*

*The problems of the development of mathematical models of interconnected objects of the technological system with a shortage, indistinctness of the initial information are investigated and an approach to their solution is proposed. To solve the problem of uncertainty and lack of initial information for the development of mathematical models of technological objects, a method is proposed for constructing a system of mathematical models of objects using fuzzy information, as well as available theoretical and statistical data. The essence of the proposed methodology for the development of mathematical models of interconnected technological units of the LG plant is to use the methods of system analysis and theories of fuzzy sets, allowing the use of fuzzy information and other available data. The technique allows for each object to determine the most suitable type of model for it and create a package of models by combining the developed models of aggregates into a single system. Accordingly, the resulting package of models can systematically simulate the operation of*

---

*a technological unit and determine the optimal operating mode. The work was carried out within the framework of the grant financing project of the MES RK AP08855680 «Intelligent decision support system for controlling the operating modes of the catalytic reforming unit».*

*Keywords: mathematical model, catalytic reforming unit, fuzzy model, linguistic model, expert assessment, system analysis, decision maker.*

Теруге 30.09.2020 ж. жіберілді. Басуға 14.10.2020 ж. қол қойылды.  
Электронды баспа  
2,99 Мб RAM  
Шартты баспа табағы 23,30. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы  
Корректор: А. Р. Омарова  
Тапсырыс № 3707

Сдано в набор 30.09.2020 г. Подписано в печать 14.10.2020 г.  
Электронное издание  
2,99 Мб RAM  
Усл. печ. л. 23,30. Тираж 300 экз. Цена договорная.  
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы  
Корректор: А. Р. Омарова  
Заказ № 3707

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған  
«Торайғыров университет»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы  
«Торайғыров университет»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
8 (7182) 67-36-69  
e-mail: kereku@tou.edu.kz  
www.vestnik.tou.edu.kz