

**¹Б.Б. Оразбаев*, ¹А.К. Жумадиллаева, ¹М.Д. Кабибуллин,
²Ж.Н. Тулеуов, ³В.Е. Махатова**

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

²Казахский университет экономики, финансов и международной торговли, Нур-Султан, Казахстан

³Атырауский государственный университет им. Х.Досмухамедова, Атырау, Казахстан

*e-mail: batyr_o@mail.ru

РАЗРАБОТКА ЭВРИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ РИФОРМИНГА В НЕЧЕТКОЙ СРЕДЕ

Аннотация. Сформулирована и получена математическая постановка задачи управления процессом риформинга в нечеткой среде и на основе модификации принципов абсолютной (относительной) уступки и Парето оптимальности разработан эвристический метод поставленной задачи. Предложенный нечеткий подход к решению задачи управления в нечеткой среде основан на привлечение лица, принимающего решения, т.е. его знания и опыта в процессе принятия решений по управлению процессом в нечеткой среде. При этом опыт, знание, интуиция и предпочтение лица, принимающего решения, как правило, выражается в виде нечеткой информации. Математическая постановка задачи управления процессом риформинга конкретизирована для случая одного критерия (выход бензина) и вектора нечетких ограничений, когда можно не учитывать выход других второстепенных продуктов (углеводородных газов). Конкретизированная задача управления процессом риформинга решена с применением предложенного эвристического метода. Полученные результаты сравнены с известными результатами, полученными на основе детерминированного подхода и реальными данными. Показана преимущества и обоснована эффективность предложенного нечеткого подхода к решению задачи управления в нечеткой среде, который при решении задачи учитывает и максимально использует исходную нечеткую информацию. Новизна предлагаемого подхода к постановке и решению задачи управления в нечеткой среде заключается в повышении адекватности принимаемого решения на основе использования опыта, знания и интуиции лица, принимающего решения.

Ключевые слова: задача управления, процесс риформинга, нечеткая среда, нечеткое ограничение, катализат-бензин, эвристический метод, лицо, принимающее решение.

Введение. На практике химико-технологические системы (ХТС), например, технологические комплексы нефтепереработки, относятся к сложным системам, которые характеризуются множеством одновременно воздействующих на процесс параметрами и нечеткостью некоторой части исходной информации. В этой связи решения задачи управления такими ХТС в нечеткой среде и повышения эффективности их работы на основе автоматизированных систем управления с настоящее время являются весьма актуальными научно-технологическими задачами [1–3]. Для диверсификации и дальнейшего развития экономики Казахстана необходимо увеличивать долю перерабатывающих производств, в первую очередь, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Как известно, одному из важнейших процессов нефтепереработки и нефтехимии относится процесс каталитический риформинг. Процесс каталитического риформинга предназначен для производства высококачественных моторных топлив – высокооктанового автомобильного бензина, бытового газа и сырья для нефтехимического синтеза [4]. Известны ряд работ посвященные вопросам разработки и совершенствованию подходов к моделированию и управлению процессом каталитического риформинга [3, 5–8]. В известных системах управления процессом каталитического риформинга реализованы: оптимальное распределение температур на входе реакторов риформинга [9]; оптимизация технологических режимов работы блока риформинга [10], управление качеством катализата в блоке стабилизации установки каталитического риформинга [3]; ситуационное управление

процессом риформинга [11]. В этих и других работах недостаточно исследованы и решены вопросы моделирования и оптимизации процесса риформинга в нечеткой среде. Следует отметить, что в работе [12] получена постановка задачи управления процессом каталитического риформинга и разработана система управления процессом каталитического риформинга с учетом нечеткости. При этом в данной работе используется известный принцип Беллмана-Заде для учета нечеткости цели и ограничений. Но возникающие на практике различные производственные ситуации требуют разработки других подходов и принципов более эффективно решающие и проблемы нечеткости. В этой связи в качестве цели данной работы определена постановка задачи управления процессом риформинга в нечеткой среде в зависимости от сложившейся производственной ситуаций и имеющаяся информации и разработка методов их решения с привлечением человека - операторов-технологов. При этом операторы-технологи являются лицом, принимающим решения (ЛПР) по управлению процессом на основе своего опыта, знаний, интуиций и предпочтения в зависимости от производственной ситуации.

Объектом исследования является установка каталитического риформинга типа ЛГ-35-11/300-95 Атырауского нефтеперерабатывающего завода (НПЗ), предназначенная для производства высококачественных бензинов с октановым числом до 95 пунктов по исследовательскому методу. Кроме того, на данной установке вырабатываются ароматические углеводороды, используемые как сырье для нефтехимического синтеза и водородсодержащие газы (ВСГ) [13].

Постановка задачи и методы исследования. Основными критериями при управлении процессом риформинга являются максимизация объема производимого бензин – y_1 и водородсодержащего газа (ВСГ) – y_2 улучшения качественных показателей бензина с учетом наложенных ограничений. На практике эти критерии (количество и качество бензина) в области эффективных решений являются противоречивыми. Так как качественные показатели бензина: октановое число (\tilde{y}_2); фракционный состав бензина, т.е. 10% отгонка (\tilde{y}_3) и 50% отгонка (\tilde{y}_4) прямо не измеряются, а определяются с участием человека (ЛПР), выражаются нечетко, например, с помощью термина «не менее» ($\tilde{\geq}$). В этой связи задачу управления процессом риформинга необходимо сформулировать с учетом нечеткости и необходимо разработать эвристический метод ее решения, основанный на учет опыт и знания ЛПР, его предпочтения при выборе решений.

В общем виде формализуем и приведем постановку задачи управления технологическим процессом риформинга на основе моделей блока риформинга в условиях многокритериальности и нечеткости.

Пусть $F(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}))$ вектор критериев, оценивающий качество работы, выход бензина и ВСГ; $\varphi_q(\mathbf{x}) \tilde{\geq} b_q, q = \overline{1,3}$ – нечеткие ограничения наложенные на качественные показатели бензина: на октановое число «более $\tilde{\geq} 92$ »; фракционный состав по ГОСТу 2177-82 – 10% отгонка «более $\tilde{\geq} 92$ »; «не выше $\tilde{\leq} 75$ »; и 50% «не выше $\tilde{\leq} 115$ »; отгонка [14]. Знак $\tilde{\cdot}$ означает нечеткость ограничений.

Каждый из локальных критериев зависит от вектора управления $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ (x_1 – расход сырья; x_2, x_3 и x_4 – соответственно, объемная скорость, температура и давление в реакторе риформинга Р-4,4а; x_5 – соотношение H_2 /сырье). Следует отметить, что некоторые из критериев и ограничений могут быть нечеткими. Режимные, управляющие параметры также имеют свои граничные значения, задаваемые технологическим регламентом установки:

$x_j \in \Omega \supset X$, $X = [x_j^{\min}, x_j^{\max}]$, $j = \overline{1,5}$, где x_j^{\min}, x_j^{\max} – нижний и верхний пределы изменения параметра x_j , $j = \overline{1,5}$. Эти ограничения, интервалы изменения могут быть нечеткими ($\tilde{>}, \tilde{<}, \tilde{=}$).

Требуется определить и выбрать такой режим работы блока риформинга, который обеспечивает оптимальное значение вектора критериев при выполнении заданных ограничений и нечеткости некоторых исходных данных, а также учитывающее предпочтения ЛПР.

Формализованную задачу управления в условиях многокритериальности и нечеткости можно записать в виде следующей задачи принятия решений:

$$\max_{\mathbf{x} \in X} f_i(\mathbf{x}), i = 1, 2, \quad (1)$$

$$X = \{ \mathbf{x} \in \Omega, \varphi_q(\mathbf{x}) \tilde{\geq} b_q, q = \overline{1,5} \} \quad (2)$$

Решением данной задачи является значение вектора управления $\mathbf{X}^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^5, x_5^*)$, обеспечивающее такие значения локальных критериев, которые удовлетворяют ЛПР и выполняются условия нечетких ограничений.

Используя идею принципов *абсолютной (относительной) уступки* (А(О)У) и *Парето оптимальности* (ПО) в условиях нечеткости, можно конкретизировать математическую постановку задачи (1) – (2):

$$\max_{\mathbf{x} \in X} \mu_0(\mathbf{x}), \mu_0(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^2 \gamma_i \mu_0^i(\mathbf{x}), \text{ или } \mu_0(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^2 (\mu_0^i(\mathbf{x}))^{\gamma_i} \quad (3)$$

$$X = \{ \mathbf{x} : \mathbf{x} \in \Omega \wedge \max_{\mathbf{x} \in \Omega} \sum_{q=1}^3 \beta_q \mu_q(\mathbf{x}) \wedge \sum_{q=1}^3 \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, q = \overline{1,3} \} \quad (4)$$

где \wedge – означает логический «и», требующий, чтобы все связываемые им утверждения были истинны, $\boldsymbol{\gamma} = (\gamma_1, \gamma_2)$ и $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ – соответственно, весовые векторы, отражающие взаимную важность критериев и ограничений. $\mu_q(\mathbf{x}), q = \overline{1,3}$ – функции принадлежности (ФП), описывающие степени выполнения нечетких ограничений. Таким образом для постановки и решения задачи принятия решений по управлению процессом риформинга в нечеткой среде используются методы теорий принятия решений [15], нечетких множеств и экспертных оценок [2, 4, 12, 15 – 17].

Результаты исследования: задача управления технологическим процессом риформинга и эвристический метода ее решения с учетом нечеткости ограничений. Для конкретизации и получения математической постановки задачи управления процессом риформинга в нечеткой среде примем следующие допущения и обозначения.

Пусть $f_1(\mathbf{x}) = \mu_0^1(\mathbf{x})$ – нормализованный главный критерий, т.е. объем производимого бензина (катализата). Так как на выход ВСГ особое требование не предъявляется, с целью упрощения задачи, его не рассматриваем. Допустим, что для каждого нечеткого ограничения, описывающего качественные показатели бензина $\varphi_q(\mathbf{x}) \tilde{\geq} b_q, q = \overline{1,3}$ построена ФП его выполнения $\mu_q(\mathbf{x}), q = \overline{1,3}$. Известен либо ряд приоритетов для ограничений $I_R = \{1,2,3\}$, либо весовой вектор, отражающий взаимную важность этих ограничений $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$. Как уже

отмечалось, критерий и ограничения зависят от параметров $x_j, j = \overline{1,5}$. Эти зависимости описывают математические модели реактора риформинга [4].

Модифицируя принципов А(О)У и ПО в условиях одного критерия и нечеткости, можно записать следующую постановку задачи управления процессом риформинга в виде задачи принятия решений ПР с нечеткими ограничениями:

$$\max_{\mathbf{x} \in X} \mu_0^1(\mathbf{x}) \quad (5)$$

$$X = \{\mathbf{x} : \mathbf{x} \in \Omega \wedge \arg \max_{\mathbf{x} \in \Omega} \sum_{q=1}^3 \beta_q \mu_q(\mathbf{x}) \wedge \sum_{q=1}^3 \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, q = \overline{1,3}\} \quad (6)$$

Для решения поставленной задачи (5)–(6) разработан эвристический метод А(О)У+ПО, основанный на привлечение ЛПР, т.е. его знания и опыт при выборе решения. Приведем результаты решения задачи (5)–(6) с применением предложенного метода А(О)У+ПО.

Метод А(О)У+ПО

1. Так как в нашем случае рассматривается один критерий, его вес равен 1 и необходимость определения весовых коэффициентов локальных критериев отпадает.

2. В поставленной задаче критерий $\mu_0^1(\mathbf{x})$ четко, поэтому для него не определяется $T(X, U)$ – терм-множество и функции принадлежности не строятся.

3. Определяется терм-множество, описывающие нечеткие ограничений. В результате экспертной оценки, ЛПР, экспертами для описания ограничения выбраны: терм «более» (для октанового числа) и «не выше» (для фракционного состава) и их производные, которые получаются с помощью различных модификаторов.

4. Строятся функции принадлежности выполнения ограничений $\mu_q(\mathbf{x}), q = \overline{1,3}$. На основе результатов исследований построены следующие функции принадлежности выполнения ограничений:

$$\begin{aligned} \mu_1(\mathbf{x}) &= \exp(82.0 | y_2 - 95 |^{0.78}); & \mu_2(\mathbf{x}) &= \exp(72.0 | y_3 - 70 |^{0.85}); \\ \mu_3(\mathbf{x}) &= \exp(110.0 | y_4 - 115 |^{0.50}) \end{aligned}$$

где y_2, y_3, y_4 – числовые значения нечетких показателей качества катализата, полученные при использовании множества уровня $\alpha=1$; 82.0, 72.0, 110.0 – параметры, которые определяются при идентифицируются и определяют уровень нечеткости при $\alpha=0.5$; 95, 70, 115 – параметры, определяющие нечеткую переменную, которая наиболее соответствует выбранному терму, для которой функция принадлежности принимает максимальное значение; 0.78, 0.85, 0.50 – коэффициенты для изменения области определения термов и формы графика функции принадлежности нечетких параметров.

5. ЛПР вводится значение весового вектора ограничений $\beta = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$, учитывающее важность локальных ограничений. В нашей задаче ЛПР ввели следующие значения $\beta = 0.6, \beta = 0.2, \beta = 0.2$, т.е. $\beta = (0.6, 0.2, 0.2)$.

6. Решается задача максимизации критерия, т.е. выхода катализата $\max \mu_0(x)$ с учетом наложенных нечетких ограничений. Определяются текущие решения: $\mathbf{x}(\beta); \mu_0^1(\mathbf{x}(\beta))$ и $\mu_1(\mathbf{x}(\beta)), \mu_2(\mathbf{x}(\beta)), \mu_3(\mathbf{x}(\beta))$.

7. Решение предъявляется ЛПР. Если текущие результаты не удовлетворяют ЛПР, то им корректируются значения вектора β и осуществляется возврат к пункту 2. Иначе, перейти к пункту 8.

8. Поиск решения прекращается, выводятся результаты окончательного выбора ЛПР: значения вектора управления $\mathbf{x}^*(\beta)$; значение критерия $\mu_0^1(\mathbf{x}^*(\beta))$ и степень выполнения ограничений $\mu_1(\mathbf{x}^*(\beta))$, $\mu_2(\mathbf{x}^*(\beta))$, $\mu_3(\mathbf{x}^*(\beta))$. Эти результаты приведены в виде таблицы (см. таблицу 1).

Таблица 1. Сравнение результатов оптимизации по предложенному алгоритму, по детерминированному методу [3] и реальных данных

Значения критерия и ограничений	Детерминированный метод (лит. данные)	Предложенный метод (A(O)У+ПО)	Реальные данные (Атырауский НПЗ)
Выход бензина – критерий $y_1 = f_1(\mathbf{x})$, м ³ /час	77.0	79.0	78.5
Октановое число продукции, ($\tilde{y}_2 = \varphi_1(\mathbf{x})$)	86	87	(86) ^л
Фракционный состав катализата; 10% отгонка, °С ($\tilde{y}_3 = \varphi_2(\mathbf{x})$); 50% отгонка, °С ($\tilde{y}_4 = \varphi_3(\mathbf{x})$).	70 115	70 114	(70) ^л (114) ^л
ФП выполнения ограничения $\tilde{y}_2 = \mu_1(\mathbf{x}^*(\beta))$	-	1.0	-
ФП выполнения ограничения $\tilde{y}_3 = \mu_2(\mathbf{x}^*(\beta))$	-	1.0	-
ФП выполнения ограничения $\tilde{y}_4 = \mu_3(\mathbf{x}^*(\beta))$	-	0.98	-
Оптимальные значения входных и режимных параметров $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*)$: x_1^* - загрузка сырья; м ³ /час	80	80	80
x_2^* - объемная скорость в реакторах; час ⁻¹	1.7	1.3	1.5
x_3^* - температура в ректорах Р-4,4а; °С	500	493	495
x_4^* - давление в реакторах Р-4,4а; кг/см ²	26	25	25
x_5^* - отношение водород/углеводороды.	415	400	400

Примечание: ()^л означает, что соответствующие качественные показатели определяются лабораторным путем и требуют достаточного времени; (-) означает, что соответствующие показатели не определяются данным методом. Время поиска решения в сравниваемых методах почти одинаково: около одной минуты с учетом времени ввода или корректировки требуемых данных.

Обсуждение результатов. Сформулированная математическая постановка задачи управления процессом риформинга в нечеткой среде (5)–(6) конкретизирована на случай одного критерия (выход бензина) и 3-х нечетких ограничений. Нечеткие ограничения $\varphi_q(\mathbf{x}) \gtrsim b_q, q = \overline{1,3}$ позволяет учитывать качества бензина (октановое число и фракционный состав) в процессе максимизации объема производимого бензина. В случае нечеткости критериев или весовых коэффициентов для них необходимо определить терм-множество и строить функции принадлежности, которые позволяют учитывать их нечеткости. В предложенной постановке задачи управления (5)–(6) в виде задачи принятия решений, критерий представлен в нормализованном виде. Это позволяет обеспечить удобства применения методов нечетких множеств, так как критерий, как и функции принадлежности принимает значение в интервале [0, 1]. Значение критерия определяется на основе математических моделей реактора риформинга, построенные в [4] с учетом нечеткости исходной информации.

В результате анализа и обсуждения результатов, приведенных в таблице 1 можно отметить:

- предложенный эвристический метод более эффективен по сравнению детерминированным методом;
- при решении задачи управления на основе предложенного метода, повышается адекватность решения производственной задачи, так как, учитывается дополнительная качественная информация (опыт, знания ЛПР, экспертов) более полно описывающая реальную ситуацию без идеализации.
- предложенный и использованный эвристический метод позволяет определить и учитывать степени выполнения нечетких ограничений.

Предложенный эвристический метод на основе модификации принципов *абсолютной (относительной) уступки* и *Парето оптимальности* более эффективно применяется в случае возможности определения уступки и принципа Парето оптимальности (количество объектов в интервале 7 ± 2). В других ситуациях рекомендуется задачу ставить и решать на основе других принципов оптимальности, более подходящие для сложившейся на производстве ситуации.

Заключение. Задача управления технологическим процессом реформинга в условиях нечеткости некоторой части исходной информации сформулирована в виде задачи принятия решений в нечеткой среде. Для решения сформулированной задачи управления в условиях многокритериальности и нечеткости разработан на основе модификации принципов абсолютной (относительной) и Парето оптимальности разработан эвристический метод. Разработанный эвристический метод основан на привлечение ЛПР, т.е. его знания, опыт и интуиции в процессе принятия окончательного решения по управлению процессом реформинга.

Новизна предлагаемого нечеткого подхода к решению задачи управления в нечеткой среде заключается в постановке и решении задачи в нечеткой среде, не заменяя исходную задачу с четкими эквивалентами. В результате полного использования исходной нечеткой информации адекватность решения задачи в нечеткой среде значительно повышается.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08855680 - Интеллектуализированная система поддержки принятия решений для управления режимами работы установки каталитического реформинга).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Матвейкин В.Г., Дмитриевский Б.С., Дмитриева О.В., Разиева В.Р., Сивова М.В. Управление инновационным развитием наукоемкой производственной системы // Вопросы современной науки и практики. 2016. № 3 (61). –С. 146–152.
- [2] Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. –М.: Энергоатомиздат, 1991. 307 с.
- [3] Gumen M.I. Increasing of the Efficiency of the Reforming LG-35-11/300 // Petroleum Processing and Petrochemistry. 2001. № 11. –Р. 54–57.
- [4] Оразбаев Б.Б., Ураков А.М., Мырзашева А.Н., Шаждекеева Н.К. Разработка системы математических моделей реакторов реформинга установки ЛГ-35-11/309-95 Атырауского НПЗ в условиях неопределенности // Вестник КазНУ. ISSN 1680-9211. №2(126), 2018. –С. 178-184.
- [5] Панченков Г.М. Каталитические и радиационно-химические процессы нефтепереработки и нефтехимии. – М.: Химия, 1982. –152 с.
- [6] Рубекин Н.Ф. Системы автоматического оптимального управления каталитическими процессами платформинга и гидроочистки. –М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1992. –66 с.
- [7] Жоров Ю.М. Расчеты и исследования каталитических процессов нефтепереработки. –М.: Химия, -2-изд. 2017. –327 с.

- [8] Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Костенко А.В., Юрьев Е.М., Бесков В.С. Математическое моделирование каталитических процессов переработки углеводородного сырья // Катализ в промышленности. 2008. № 6. –С.41-46.
- [9] Coleman B., Babu J. Techniques of Model Based Control. –Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2002. –576 p.
- [10] Bequette W. Process Control Modeling Design and Simulation. – Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2003. –564 p.
- [11] Mircea C., Agachi S., Marimoiu V. Simulation and Model Predictive Control of a UOP Fluid Catalytic Cracking // Chemical Engineering and Processing. 2003. V. 42. –P. 67–75.
- [12] Matveykin V.G., Dmitrievsky B.S., Kokuev A.G., Dzhambekov A.M. Problem of control of catalytic reforming and method of its solutions // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2019. V. 330. 6. 59–67.
- [13] Технологический регламент установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95. –Атырау: 2018. –135 с.
- [14] 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.
- [15] Юдин Д.Б. Вычислительные методы теории принятия решений. –М.: Наука, 2015. –320 с.
- [16] Рыжов А.П. Теория нечетких множеств и ее приложений. –М.: МГУ. 2017. –115 с.
- [17] Гуцыкова С. Метод экспертных оценок. Теория и практика. –М.: Когито-Центр. 2017. –509 с.

REFERENCES

- [1] Matveikin V.G., Dmitrievskii B.S., Dmitrieva O.V., Razieva V.R., Sivova M.V. Upravlenie innovatsionnym razvitiem naukoemkoi proizvodstvennoi sistemy // Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. 2016. № 3 (61). –S. 146–152.
- [2] Aliev R.A., Tserkovnyi A.E., Mamedova G.A. Upravlenie proizvodstvom pri nechetkoi iskhodnoi informatsii. –М.: Energoatomizdat, 1991. 307 s.
- [3] Gumen M.I. Increasing of the Efficiency of the Reforming LG-35-11/300 // Petroleum Processing and Petrochemistry. 2001. № 11. –P. 54–57.
- [4] Orazbaev B.B., Urakov A.M., Myrzashева A.N., Shazhdekeeva N.K. Razrabotka sistemy matematicheskikh modelei reaktorov riforminga ustanovki LG-35-11/309-95 Atyrauskogo NPZ v usloviyakh neopredelennosti // Vestnik KazNITU. ISSN 1680-9211. №2(126), 2018. –S. 178-184.
- [5] Panchenkov G.M. Kataliticheskie i radiatsionno-khimicheskie protsessy neftepererabotki i neftekhimii. – М.: Khimiya, 1982. –152 s.
- [6] Rubekin N.F. Sistemy avtomaticheskogo optimal'nogo upravleniya kataliticheskimi protsessami platforminga i gidroochistki. –М.: TsNIITENEFTEKhim, 1992. –66 s.
- [7] Zhorov Yu.M. Raschety i issledovaniya kataliticheskikh protsessov neftepererabotki. – М.: Khimiya, -2-izd. 2017. –327 s.
- [8] Kravtsov A.V., Ivanchina E.D., Ivashkina E.N., Kostenko A.V., Yur'ev E.M., Beskov V.S. Matematicheskoe modelirovanie kataliticheskikh protsessov pererabotki uglevodorodnogo syr'ya // Kataliz v promyshlennosti. 2008. № 6. –S.41-46.
- [9] Coleman B., Babu J. Techniques of Model Based Control. –Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2002. –576 p.
- [10] Bequette W. Process Control Modeling Design and Simulation. – Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2003. –564 p.
- [11] Mircea C., Agachi S., Marimoiu V. Simulation and Model Predictive Control of a UOP Fluid Catalytic Cracking // Chemical Engineering and Processing. 2003. V. 42. –P. 67–75.
- [12] Matveykin V.G., Dmitrievsky B.S., Kokuev A.G., Dzhambekov A.M. Problem of control of catalytic reforming and method of its solutions // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2019. V. 330. 6. 59–67.
- [13] Tekhnologicheskii reglament ustanovki kataliticheskogo riforminga LG-35-11/300-95. –Атырау: 2018. –135 с.
- [14] 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.
- [15] Yudin D.B. Vychislitel'nye metody teorii prinyatiya reshenii. –М.: Nauka, 2015. –320 с.
- [16] Ryzhov A.P. Teoriya nechetkikh mnozhestv i ee prilozhenii. –М.: MGU. 2017. –115 с.
- [17] Gutsykova S. Metod ekspertnykh otsenok. Teoriya i praktika. –М.: Kogito-Tsentr. 2017. –509 с.

¹Б.Б. Оразбаев*, ¹А.К. Жумадилаева, ¹М.Д. Кабибуллин,

²Ж.Н. Тулеуов, ³В.Е. Махатова

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

²Қазақ экономика, қаржы және халықаралық сауда университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

³Х.Досмухамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті, Атырау, Қазақстан

*e-mail: batyr_o@mail.ru

АЙҚЫН ЕМЕС ОРТАДА РИФОРМИНГ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУ БОЙЫНША ЕСЕБІН ШЕШУДІҢ ЭВРИСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛІН ЖАСАҚТАУ

Андатпа. Айқын емес ортада риформинг процесін басқару есебінің математикалық қойлымы алынған және абсолюттік (салыстырмалы) кеміту және Парето оптималдығы принциптерін модификациялау негізінде қойылған есепті шешудің эвристикалық тәсілі құрылған. Айқын емес ортада басқару есебін шешуге ұсынылған айқынсыз тәсілдеме шешім қабылдаушы тұлғаны қатыстыруға, айқын емес ортада процесі басқару бойынша шешім қабылдау процесінде оның білімі мен тәжірибесі қолдануға негізделген. Бұл кезде шешім қабылдаушы тұлғаның тәжірибесі, білімі, түйсігі және қалауы, әдетте, айқын емес ақпарат түрінде жинақталып, қолданады. Басқа қосымша өнімдердің (көмірсутек газдарының) шығуын ескермеуге болатын кезде бір критерий (бензин шығымы) және айқын емес шектеулер векторы үшін риформинг процесін басқаруға арналған есептің математикалық тұжырымы нақтыланған. Риформинг процесін басқарудың нақтыланған есебі ұсынылған эвристикалық тәсілді қолдану арқылы шешілген. Алынған нәтижелер белгілі детерминдік тәсіл мен шынайы мәліметтер негізінде алынған нәтижелермен салыстырылған. Айқын емес ортада басқару есебін шешуге ұсынылған, есепте шешу кезінде бастапқы айқын емес ақпаратты ескеретін және максималды пайдаланатын, ұсынылған айқынсыз тәсілдеме артықшылықтары көрсетілген және оның тиімділігі негізделген. Айқын емес ортада басқару есебін қою мен шешуге ұсынылған айқынсыз тәсілдеменің жаңашылдығы – шешім қабылдаушының тәжірибесін, білімі мен интуициясын қолдану негізінде айқынсыздықта қабылданған шешімнің адекваттығын арттыру болып табылады.

Негізгі сөздер: басқару есебі, риформинг процесі, айқын емес орта, айқын емес шектеу, катализат-бензин, эвристикалық тәсіл, шешім қабылдаушы тұлға.

¹B. Orazbayev*, ¹A. Zhumadillayeva, ¹M. Kabibullin, ²Zh. Tuleuov, ³V. Makhatova

¹L.N.Gumilyov Eurasian national university, Nur-Sultan, Kazakhstan

²Kazakh University of Economics, Finance and International Trade, Nur-Sultan, Kazakhstan

³Kh.Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan

*e-mail: batyr_o@mail.ru

DEVELOPMENT OF A HEURISTIC METHOD FOR SOLVING THE PROBLEM OF CONTROL OF REFORMING TECHNOLOGY PROCESS IN A FUZZY ENVIRONMENT

Abstract. A mathematical formulation of the problem of controlling the reforming process in a fuzzy environment has been formulated and obtained, and a heuristic method for the task has been developed based on the modification of the principles of absolute (relative) assignment and Pareto optimality. The proposed fuzzy approach to solving the control problem in a fuzzy environment is based on the involvement of a decision maker, i.e. his knowledge and experience in the decision-making process for process control in a fuzzy environment. In this case, the experience, knowledge, intuition and preference of the decision-maker, as a rule, is expressed in the form of fuzzy information. The mathematical formulation of the reforming process control problem is concretized for the case of one criterion (gasoline yield) and a vector of fuzzy constraints, when the yield of other minor products (hydrocarbon gases) can be ignored. The specific task of controlling the reforming process is solved using the proposed heuristic method. The results obtained are compared with the known results obtained on the basis of a deterministic approach and real data. The advantages are shown and the effectiveness of the proposed fuzzy approach to solving the control problem in a fuzzy environment is substantiated, which, when solving the problem, takes into account and makes the most of the initial fuzzy information. The novelty of the proposed approach to the formulation and solution of the control problem in a fuzzy environment lies in increasing the adequacy of the decision made based on the use of the experience, knowledge and intuition of the decision maker.

Keywords: control task, reforming process, fuzzy environment, fuzzy limitation, catalysis-gasoline, heuristic method, decision maker.