

Д.О. Кожаметова*, Р.С. Бекбаева, Е.А. Оспанов, Д.Т. Беккасимова
Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТОРНЫМ БЛОКОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Аннотация: В статье приведены результаты эксперимента проведенного на реакторно – регенераторного блока установки каталитического крекинга нефтеперерабатывающего завода (НПЗ). При разработке математических моделей с целью решения задач управления режимами работы реальных химико-технологических систем (ХТС) часто возникают проблемы неопределенности, связанные с дефицитом и нечеткостью исходной информации. Для повышения эффективности процесса исследованы влияние основных параметров процесса крекинга на количество и качество вырабатываемой продукции – катализата. По результатам исследований и обработки собранной количественной и качественной информации построены статистические и комбинированные модели реактора и формализованы лингвистические модели, описывающие: влияние температуры реактора крекинга на выход катализата и стабильность катализатора; влияние скорости подачи сырья на количество и качество (октановое число) катализата.

Ключевые слова: каталитический крекинг, реакторно-регенераторный блок, математическое моделирование, системный анализ, нечеткая логика.

ВВЕДЕНИЕ

Особая роль в стратегии развития Казахстана до 2030 г. отведена нефтегазовой отрасли промышленности. Модернизация и реконструкция нефтеперерабатывающих заводов Казахстана является основой повышения конкурентоспособности нефтегазовой отрасли Республики Казахстан. Приоритетным направлением развития экономики Казахстана является разработка и внедрение технологий, адаптированных к сырьевым условиям республики Казахстан и позволяющих перерабатывать тяжелые, вязкие и высокосернистые нефти с получением моторного топлива и минеральных масел [1].

В настоящее время на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) Республики Казахстан практически завершил этап глубокой переработки нефти – превращение сырья вакуумного дистиллята в моторные топлива. В результате экономического роста за последние годы в Республики Казахстан складываются тенденции, аналогичные общемировым – рост потребления и изменения ассортимента потребляемых нефтепродуктов, ужесточение требований к качеству топлива, ужесточение экологических требований [2]. С целью обеспечения энергетической безопасности, повышение эффективности и производства по выпуску высококачественных нефтепродуктов, отвечающих экологическим стандартам ЕВРО-4 реализует проект модернизации заводов. Данный проект имеет экологическую направленность и обеспечит производство экологически чистых бензинов, то есть те канцерогенные вещества, которые мы сегодня вдыхаем вместе с парами выхлопных газов автомобилей, будут выделены отдельно, в виде сырья для нефтехимии.

Для эффективного исследования и оптимизации процессов и агрегатов нефтепереработки необходимо построить их математические модели, которые учитывают природу и состояние процесса, тип, природу и другие особенности объектов.

При разработке математических моделей с целью решения задач управления режимами работы реальных химико-технологических систем (ХТС) часто возникают проблемы неопределенности, связанные с дефицитом и нечеткостью исходной информации. Наиболее эффективным подходом к решению этих проблем неопределенности является применение системного подхода с целью использования доступной информации различного характера [3, 4]. Методы системного анализа играют

существенную роль при проектировании и совершенствовании сложных систем, управлении технологическими процессами [5].

Целью работы является разработка метода построения математических моделей реакторного блока установки каталитического крекинга на основе нечетких моделей представления экспертных знаний с функций принадлежности для значений лингвистических переменных в условиях неполной информации.

2. Краткое описание установки каталитического крекинга «R2R»

Одной из главных модернизации Атырауского нефтеперерабатывающего завода является возведение комплекса глубокой переработки нефти, позволяющего заметно увеличить выпуск светлых нефтепродуктов высокого качества. Комплекс глубокой переработки нефти, который будет интегрирован с существующими установками завода, состоит из нескольких установок.

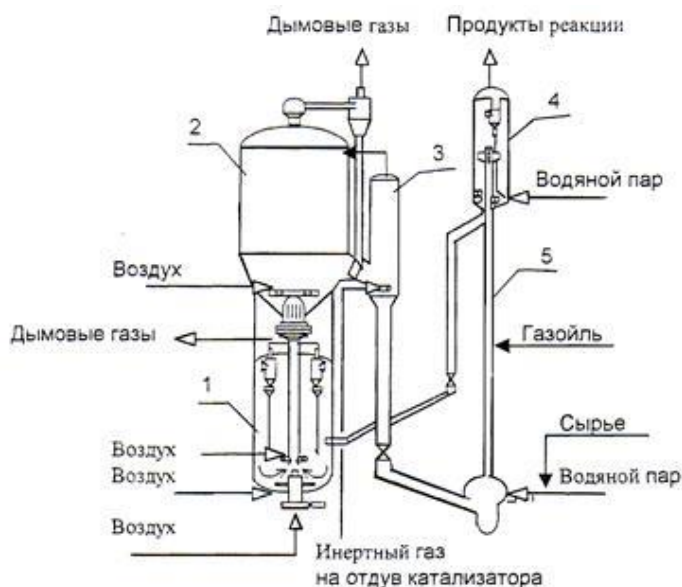
Реакторный блок;

Блок тонкой очистки и рекуперации дымовых газов;

Блок ректификации;

Блок стабилизации бензина и газофракционирования.

Установка предназначена для превращения остатка атмосферной перегонки (АР, мазут), тяжелого газойля, вакуумного газойля, тяжелого газойля с установки коксования, тяжелого рафината из Комплекса производства ароматики и тяжелых ароматических соединений из этого же комплекса в более ценные продукты, такие как сжиженный углеводородный газ, бензин и легкий газойль каткрекинга. Сущность процесса каталитического крекинга основана на расщеплении высокомолекулярных углеводородных соединений на более мелкие молекулы с перераспределением освобождающегося по месту разрыва связи “углерод – углерод” водорода в присутствии микросферического цеолитсодержащего катализатора. В итоге образуются газ, бензин, дистиллятные фракции и кокс, отлагающийся на поверхности катализатора. Сырьё впрыскивается в нижнюю часть лифт-реактора, где оно перемешивается с восходящим потоком горячего катализатора. Наверху лифт-реактора смесь проходит через сепаратор, где углеводородные пары отделяются от катализатора. Продукты крекинга направляются во фракционирующую колонну, где происходит разделение продуктов реакции (рис.1).



1 – регенератор первой ступени; 2 – регенератор второй ступени; 3 – секция отдува катализаторов от дымовых газов; 4 – реактор-сепаратор; 5 – лифт-реактор

Рисунок 1 – Схема реакторного блока установки R-2-R.

При этом регенерация проходит в два этапа – это отличительная особенность процесса R2R. В регенераторе первой ступени, работающем при температуре не выше 730°C, происходит частичный (~ 50-80%) выжиг углерода, остальное количество кокса выжигается во втором регенераторе. Воздух необходимый для горения подается при

помощи воздуходувки через системы коллекторов. Выше зоны ввода сырья предусмотрены форсунки для ввода тяжелого газойля каталитического крекинга, который предназначен для подачи циркулирующего потока углеводородов из главной колонны фракционирования. Тяжелый газойль каталитического крекинга принимается для увеличения конверсии остатка и регулирования коксовой нагрузки регенератора. Продукты реакции разделяются на целевые фракции в основной ректификационной колонне. Основным целевым продуктом – бензин каталитического крекинга, через блок стабилизации поступает на установку селективного гидрирования нефти каталитического крекинга.

Отличительными особенностями реакторно-регенераторного блока является наличие двух регенераторов с отдельной подачей воздуха и отводом дымовых газов. В первом (по ходу катализатора) регенераторе при температурах 680-700°C без дожигания СО или его частичном дожиге выжигают 50-80 % кокса, при этом защитная оболочка из кокса предохраняет катализатор от термопаровой дезактивации. Во втором регенераторе при температурах до 800°C, избытке воздуха и незначительном содержании водяных паров выжигают остальной кокс, что исключает термопаровую дезактивацию катализатора. Второй регенератор оборудован выносным циклоном и десорбером (зоной отдува катализатора от дымовых газов). Высокая температура в узле смешения (может быть на 40-100°C выше, чем в реакторе) обеспечивает быстрое и почти полное испарение сырья, снижает коксообразование.

Другая особенность процесса R-2-R – подача охлажденного циркулирующего газойля (фр.360-420°C) в лифт – реактор выше точки ввода сырья, что дает возможность регулировать температуру в лифт – реакторе независимо от температуры в узле смешения. Температура в реакторе около 510°C, время контакта около 1с. В реакторе процесса R-2-R для ввода сырья используют оригинальное устройство в виде распределительной головки, сопла Лавала или трубы Вентури, внутри которой при скоростях, близких к звуковой, возникает ударная (акустическая) волна, диспергирующая сырье на капли с размерами сопоставимыми или меньше размеров частиц катализатора (40-80 мкм), что способствует мгновенному теплообмену и испарению, и в совокупности с рециркуляцией холодного газойля, снижает газо- и коксообразование и способствует углублению крекинга. В процессе используется лифт-реактор, заканчивающийся устройством для быстрого отделения паров от катализатора. Отдув регенерированного катализатора снижает содержание инертных газов в сухом газе на 50 %.

3 Разработка метода проведения экспертных процедур в нечеткой среде

Проанализировав современное состояние проблем математического моделирования технологических объектов нефтеперерабатывающего производства, рассмотрены основные характеристики и вопросы повышения эффективности их функционирования по экономико-экологическим критериям, а также вопросы решения задач принятия решений (ПР) по выбору оптимальных режимов работы комплекса исследуемых объектов. Результаты исследования различных подходов к построению моделей технологических объектов нефтепереработки и оптимизации их работы показали, что применение традиционных методов моделирования и принятия решений в промышленных условиях зачастую неэффективно из-за отсутствия, труднодоступности достоверной информации о параметрах объектов. В этих условиях одним из перспективных средств получения и обработки исходной нечеткой информации (знания, опыт человека) с целью эффективного моделирования и выбора оптимальных режимов технологических объектов является методы экспертных оценок и теории нечетких множеств [6, 7].

Метод построения функций принадлежности с использованием статистических данных

В теории нечетких множеств функция принадлежности играет значительную роль, так как это основная характеристика нечеткого объекта, а все действия с нечеткими объектами производятся через операции с их функциями принадлежности. Определение функции принадлежности – это первая и очень важная стадия, позволяющая затем оперировать с нечеткими объектами [8]. В таблицах 3, 4 представлены терм-множества и функции принадлежности, оценивающие влияния входных и режимных параметров реакторного блока на выходные параметры. Для формирования базы знаний и правил были собраны знания опытного инженера-технолога и старшего инженера по приборам, работающего на заводе Атырауского НПЗ.

На основе правил логического вывода и приведенной выше лингвистической зависимости по предложенному методу получены следующие лингвистические модели, описывающие влияние температуры (x_3) и давления (x_4) реактора на выход катализата ($\tilde{y}_1$) с реакторов R_4, R_{4a} и на стабильность катализатора ($\tilde{y}_2$):

После синтеза базы правил и синтеза функций принадлежности для идентификации нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода с помощью пакеты Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB [9] можем посмотреть механизм синтеза общего вывода и поверхность (рис. 2-6).

Для переменной температуры в реакторе было взято пять термов, что позволяет контролировать как незначительные, так и значительные отклонения от нормального режима функционирования и формировать в соответствии с алгоритмом управление в выходе верхней и нижней зон реактора. При увеличении количества термов, растет число логических правил, что увеличивает вероятность ошибки принятия решения по управлению. Это может привести к снижению качества управления по алгоритму, использующему результаты идентификации объекта рассматриваемым методом.

Таблица 3 – Функции принадлежности лингвистических переменных, описывающие работу входных параметров реакторного блока установки КК

Параметры, лингвистические переменные	Терм-множество	Интервал изменения	Функции принадлежности
Входные параметры			
Объем загрузки сырья – x_1 , мЗ/ч	Low (L)	55–65	$\mu_{A1}^1 = \exp(Q_1^1 C_1^1 (x_1 - 60) ^{NA11})$
	Medium (M)	60–75	$\mu_{A1}^2 = \exp(Q_1^2 C_1^2 (x_1 - 67) ^{NA12})$
	High (H)	70–80	$\mu_{A1}^3 = \exp(Q_1^3 C_1^3 (x_1 - 75) ^{NA13})$
Объемная скорость в реакторах – x_2 , ч–1	Low (L)	1,0–1,2	$\mu_{A2}^1 = \exp(Q_2^1 C_2^1 (x_2 - 1,10) ^{NA21})$
	Medium (M)	1,1–1,4	$\mu_{A2}^2 = \exp(Q_2^2 C_2^2 (x_2 - 1,25) ^{NA22})$
	High (H)	1.3–1.5	$\mu_{A2}^3 = \exp(Q_2^3 C_2^3 (x_2 - 1,40) ^{NA23})$
Температура в реакторе первой ступени Р-2 – x_3 , °C	Low (L)	470–485	$\mu_{A3}^1 = \exp(Q_3^1 C_3^1 (x_3 - 477) ^{NA31})$
	Medium (M)	485–495	$\mu_{A3}^2 = \exp(Q_3^2 C_3^2 (x_3 - 490) ^{NA32})$
	High (H)	495–510	$\mu_{A3}^3 = \exp(Q_3^3 C_3^3 (x_3 - 500) ^{NA33})$
Температура в реакторе второй ступени Р-3 – x_4 , °C	Low (L)	480–495	$\mu_{A4}^1 = \exp(Q_4^1 C_4^1 (x_4 - 487) ^{NA41})$
	Medium (M)	495–505	$\mu_{A4}^2 = \exp(Q_4^2 C_4^2 (x_4 - 500) ^{NA42})$
	High (H)	505–520	$\mu_{A4}^3 = \exp(Q_4^3 C_4^3 (x_4 - 512) ^{NA43})$
Температура в регенераторе Р-4,4а, – x_5 °C	Low (L)	490–498	$\mu_{A5}^1 = \exp(Q_5^1 C_5^1 (x_5 - 494) ^{NA51})$
	Medium (M)	498–518	$\mu_{A5}^2 = \exp(Q_5^2 C_5^2 (x_5 - 503) ^{NA52})$
	High (H)	518–525	$\mu_{A5}^3 = \exp(Q_5^3 C_5^3 (x_5 - 522) ^{NA53})$

Таблица 4 – Функции принадлежности лингвистических переменных, описывающие работу выходных параметров реакторного блока установки КК

Параметры, лингвистические переменные	Терм-множество	Интервал изменения	Функции принадлежности
Выходные параметры			
Объем катализатора – y_1 , м ³ /ч	Low (L)	54–64	$\mu_{B1}^1 = \exp(Q_1^1 C_1^1 (y_1 - 59) ^{NB11})$
	Medium (M)	62–72	$\mu_{B1}^2 = \exp(Q_1^2 C_1^2 (y_1 - 67) ^{NB12})$
	High (H)	69–79	$\mu_{B1}^3 = \exp(Q_1^3 C_1^3 (y_1 - 74) ^{NB13})$
стабильность катализатора – y_2 (по моторному методу)	Low (L)	84–86	$\mu_{B2}^1 = \exp(Q_2^1 C_2^1 (y_2 - 85) ^{NA21})$
	Medium (M)	86–88	$\mu_{B2}^2 = \exp(Q_2^2 C_2^2 (y_2 - 87) ^{NB22})$
	High (H)	87–90	$\mu_{B3}^3 = \exp(Q_2^3 C_2^3 (y_2 - 90) ^{NB23})$

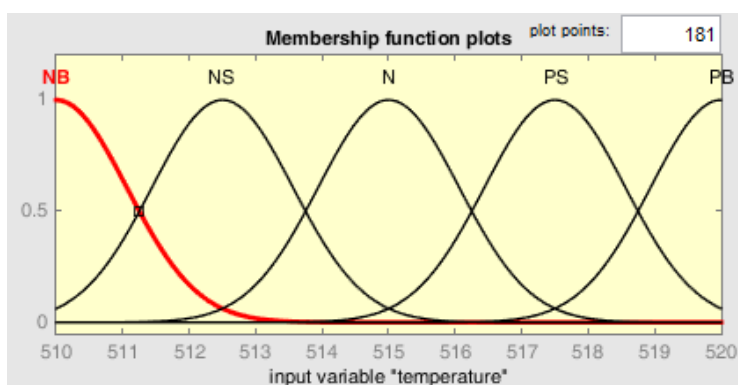


Рисунок 2 – Функция принадлежности для температуры в реакторе

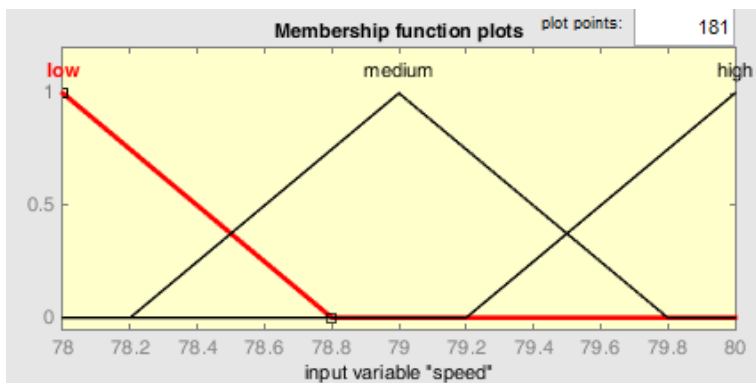


Рисунок 3 – Функция принадлежности для объема загрузки сырья

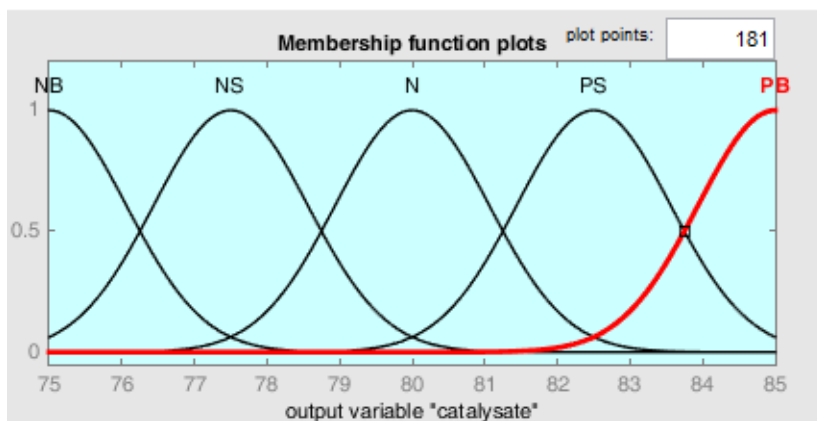


Рисунок 4 – Функция принадлежности для Объем катализатора

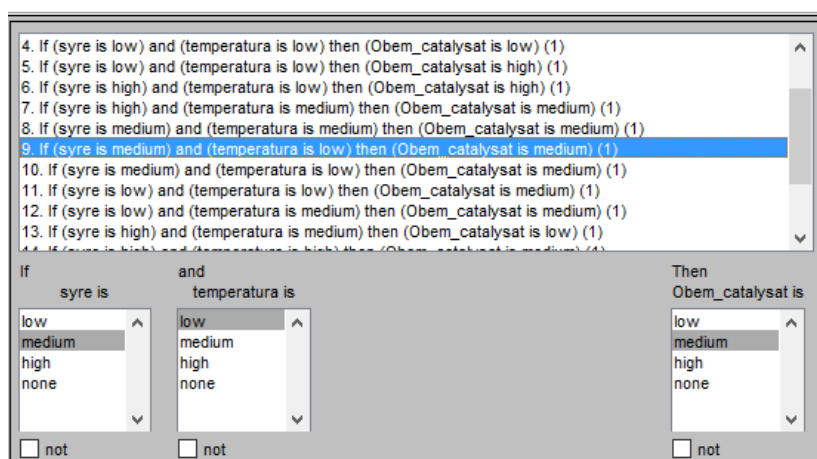


Рисунок 5 – Нечеткая база знаний входных и выходных параметров

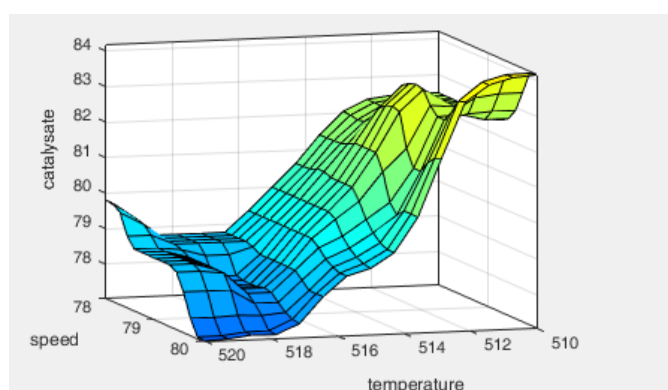


Рисунок 6 – Поверхность «Вход – выход» для база знаний

Заключение

В результате проведенного обзора литературы по математическим моделям процесса каталитического крекинга нефтяных фракций и крекингу вакуумного газойля в подвижном слое катализатора, а также анализа данных о функционировании промышленной установки определены входные, выходные, промежуточные и управляющие координаты объекта управления, основные возмущающие воздействия, влияющие на технологический процесс.

С использованием результатов математического моделирования проведена корректировка базы правил, оценена работоспособность алгоритма управления при внесении внешних возмущений со стороны изменения состава сырья, сопровождающегося изменением концентрации кокса, откладывающегося на катализаторе после реакции крекинга, и температуры.

Список литературы

1. Сейтенова Г.Ж., Назарова Г.Ю., Ивашкина Е.Н., Иванчина Э.Д., Бурумбаева Г.Р. Определение технологического режима работы установки каталитического крекинга комплекса КТ-1/1 для увеличения выхода жирного газа и бензина. // Материалы международной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVI Сатпаевские чтения» – 2016 (Том 24). – г. Павлодар. – С. 164-172.
2. G.Y. Nazarova, G.R. Burumbaeva, G.J. Seytenova. The testing of a kinetic model of catalytic cracking in the “C-200” section of the KT-1/1 installation of oil refining plants in Kazakhstan – Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, имени профессора Л.П. Кулёва, посвященной 120-летию Томского политехнического университета (г. Томск, 17-20 мая 2016 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – С. 513 – 515.

3. Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Оразбаева К.Н., Курмангазиева Л.Т. Гибридный метод разработки математических моделей химико-технологической системы в условиях неопределенности. Математическое моделирование. 2017. Т. 29. № 4. С. 30-44.
4. Aliyev R. A., Tserkovny A. E., Mamedova G. A. Production control with fuzzy source information. Moscow. Atomenergoizdat. Publ., 1991. Pages: 241.
5. Rykov A.S. Sistemnyj analiz: Modeli i metody prinyatiya resheni i poiskovoi optimizaci. – M.: MISiS Publ., 2009., Pages: 608.
6. Dzhambekov A.M., Sherbatov I.A. Control of catalytic reforming process based expert information. System. Methods. Technologies. 2014 – № 4, P. 103-111.
7. Rykov A.S., Orazbaev B.B., Kuznetsov A.C. A Fuzzy sets application for modelling and control of rectification technology. Preprints IFAC, International Symposium ADCHEM' 91. Toulouse, 1991. P. 95-99.
8. Shtovba S. D. Design of fuzzy systems by means of Matlab. Moscow. 2007
9. <http://www.matlab.ru> в разделе Fuzzy Logic Toolbox

Д.О. Кожаметова*, Р.С. Бекбаева, Е.А. Оспанов, Д.Т. Беккасимова
Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А
e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru

АЙҚЫН ЕМЕС ЛОГИКА НЕГІЗІНДЕ РЕАКТОРЛЫҚ БЛОКТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аңдатпа: Мақалада мұнай өңдеу зауытының (МӨЗ) катализаторлық крекинг қондырғысының реакторлық – регенераторлық блогында жүргізілген эксперименттің нәтижелері келтірілген. Нақты химиялық-технологиялық жүйелердің (ХТС) жұмыс режимдерін басқару мәселелерін шешу үшін математикалық модельдерді жасау кезінде бастапқы ақпараттың жетіспеушілігі мен түсініксіздігіне байланысты белгісіздік проблемалары жиі туындайды. Процестің тиімділігін арттыру үшін крекинг процесінің негізгі параметрлерінің өндірілетін өнімнің – катализатордың саны мен сапасына әсері зерттелді. Зерттеулер мен жиналған сандық және сапалық ақпаратты өңдеу нәтижелері бойынша реактордың статистикалық және құрамдастырылған модельдері құрылды және мыналарды: крекинг реакторы температурасының катализатордың шығуына және катализатордың тұрақтылығына әсерін; шикізатты беру жылдамдығының катализатордың саны мен сапасына әсерін (октандық Сан) сипаттайтын лингвистикалық модельдер қалыптастырылды.

Түйін сөздер: катализаторлық крекинг, реактор-регенераторлық блок, математикалық модельдеу, жүйелік талдау, айқын емес логика.

D. Kozhakhmetova*, R. Bekbaeva, E. Ospanov, D. Bekkassimova
Shakarim University of Semey,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka str.
e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru

OPTIMIZATION OF THE REACTOR UNIT CONTROL SYSTEM USING FUZZY LOGIC

Abstract: The article presents the results of an experiment conducted on the reactor – regenerator unit of the catalytic cracking unit of an oil refinery (refinery). When developing mathematical models in order to solve problems of controlling the operating modes of real chemical-technological systems (HTS), uncertainty problems often arise associated with a shortage and vagueness of the initial information. To increase the efficiency of the process, the influence of the main parameters of the cracking process on the quantity and quality of the produced products – catalyzate – has been studied. Based on the results of research and processing of the collected quantitative and qualitative information, statistical and combined reactor models were constructed and linguistic models were formalized describing: the effect of the cracking reactor temperature on the output of the catalyzate and the stability of the catalyst; the effect of the feed rate on the quantity and quality (octane number) catalyzate.

Key words: *catalytic cracking, reactor-regenerator unit, mathematical modeling, system analysis, fuzzy logic.*

Авторлар туралы мәліметтер

Динара Ошанқызы Қожахметова* – PhD, меңгерушісі. автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қала құрылысы кафедрасы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; E-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4327-3899.

Роза Серікжанқызы Бекбаева – техника ғылымдарының кандидаты, автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қала құрылысы кафедрасының аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: 31-roza@mail.ru.

Ербол Амангазович Оспанов – автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қала құрылысы кафедрасының PhD; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: 78oea@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5342-274X.

Дана Талгатовна Беккасимова – "Ғылыми-практикалық білім және туризм орталығы" КММ қосымша білім беру педагогы; Қазақстан Республикасы; e-mail: beccasimova@mail.ru.

Сведения об авторах

Динара Ошановна Кожухметова* – PhD, зав. кафедрой автоматизации, информационных технологий и градостроительства; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4327-3899.

Роза Серикжановна Бекбаева – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автоматизации, информационных технологий и градостроительства; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: 31-roza@mail.ru.

Ербол Амангазович Оспанов – PhD кафедры автоматизации, информационных технологий и градостроительства; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: 78oea@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5342-274X.

Дана Талгатовна Беккасимова – педагог дополнительного образования КГУ «Центр научно-практического образования и туризма»; Республика Казахстан; e-mail: beccasimova@mail.ru.

Information about the authors

Dinara Oshanovna Kozhakhmetova* – PhD, Head of the Department of Automation, Information Technology and Urban Planning; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4327-3899.

Rosa Serikzhanovna Bekbaeva – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Automation, Information Technology and Urban Planning; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: 31-roza@mail.ru.

Yerbol Amangazovich Ospanov – PhD of the Department "Automation, Information Technologies and Urban Planning"; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: 78oea@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5342-274X.

Dana Talgatovna Bekkasimova – teacher of additional education, MSI "Center for scientific and practical education and tourism", lecturer of the Department "Automation, Information Technologies and Urban Planning"; Republic of Kazakhstan; e-mail: beccasimova@mail.ru.

Материал поступил в редакцию 03.03.2021 г.