

АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
AUTOMATION AND CONTROL

DOI 10.51885/1561-4212_2024_2_38
MFTAA 50.43.15

Д.О. Кожаметова¹, А.Ж. Адылканова², Д.Т. Курушбаева², И.Б. Карымсакова⁴

«Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КеАҚ, Семей қ, Қазақстан

¹E-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru*

²E-mail: aikoba8383@mail.ru

³E-mail: sh_din097@mail.ru

⁴E-mail: indviki@mail.ru

АЙҚЫН ЕМЕС ОРТАДА БАСҚАРУ АЛГОРИТМІ НЕГІЗІНДЕ КАТАЛИТИКАЛЫҚ КРЕКИНГ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҮРДІСІ ЕСЕБІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ

FORMATION OF THE PROBLEM OF A TECHNOLOGICAL PROCESS OF CATALYTIC CRACKING BASED ON A FUZZY CONTROL ALGORITHM

Аңдатпа. Мақалада Атырау мұнай өңдеу зауытының каталитикалық крекинг қондырғысы мысалында технологиялық үрдіс жұмыс режимін оптимизациялау есебі формализациясы қарастырылды. Бастапқы ақпараттың айқынсыздық жағдайына, көпкритерийлік мәселесін шешу үшін компромистік сұлба мен оптималдық принцип идеясы пайдаланылды. Атырау мұнайөңдеу зауытының каталитикалық крекинг қондырғысын басқару жүйесінде жүргізілген зерттеулер нәтижелері алынды. Логикалық «егер..., онда...» қорытынды түрінде технологиялық жағдайдың туындауы кезінде басқарудың мәліметтер ережесін пайдаланып, Matlab Fuzzy Logic Toolbox ортасында реакторды айқын емес ортада басқару есебі келтірілді.

Түйін сөздер: модельдеу; оптимизациялау; айқын емес орта; көпкритерийлік жүйе; каталитикалық крекинг; Fuzzy Logic.

Аннотация. В статье рассмотрена формализация расчета оптимизации режима работы технологического процесса на примере установки каталитического крекинга Атырауского нефтеперерабатывающего завода. Для решения проблемы нечеткой исходной информации, многокритериальности использовалась идея компромиссной схемы и принципы оптимальности. Представлены результаты исследований, проведенных в системе управления установкой каталитического крекинга Атырауского нефтеперерабатывающего завода. Приведен расчет управления реактором в нечеткой среде с использованием Matlab Fuzzy Logic Toolbox.

Ключевые слова: моделирование; оптимизация; нечеткая среда; многокритериальная система; каталитический крекинг; Fuzzy Logic.

Abstract. The article considers formalization of calculation of optimization of operating mode of technological process on example of installation of catalytic cracking of Atyrau oil refinery. To solve the problem of fuzzy source information, multi-criteria, the idea of compromise scheme and principles of optimality was used. The results of research conducted in the system of management of the catalytic cracking plant of Atyrau Refinery. Calculation of reactor control in fuzzy environment using Matlab Fuzzy Logic Toolbox is resulted.

Keywords: modeling; optimization; fuzzy environment; multi-criteria system; catalytic cracking; fuzzy logic.

Кіріспе. Қазіргі таңда ғылым мен техниканың дамуы мен мұнай өңдеу нысандарының технологиялық өндірістері, үзіліссіз күрделенуде және олар өзара байланысқан көптеген экономикалық, экологиялық сипаттағы критерийлермен сипатталады. Мұнай шикізаты-

ның каталитикалық крекингі технологиялық үрдісін автоматтандыру экономикалық тиімді болып табылады. Крекингты автоматты басқару жүйесі, мұнайөндеудің басқа үрдісіне қарағанда, пайыздық тұрғыдан жоғары [1].

Каталитикалық крекинг қондырғысының жұмысы технологиялық процесс параметрін қатаң сақтауды талап етеді. Технологиялық процесстің неғұрлым маңызды параметрлері көрсетілген параметрлерді автоматты реттеу көмегімен қолдап отырылады. Каталитикалық крекинг қондырғысында температураны мен қысымды, тағы басқада өлшеу аспаптарын бақылау және реттеу үшін жүйелік талдау негізінде басқару бойынша тиімді шешім қабылдау, көпкритерийлік оптимизациялау әдістері қолданылды [2].

Каталитикалық крекинг жүйесін басқаруға көптеген ғылыми жұмыстар жарық көрді. Алғашқы мақала каталитикалық крекинг қондырғысына басқару режимінде ЭЕМ қосу 1961 жылы жарық көрді. Standart oil of California фирмасына тиесілі зауытында қондырғыға автоматты басқару жүйесі енгізіліп, тәулігіне 6400 тонна өнім өндірілді. Жүйе ақпаратты жинап, өңдеп және үрдіс туралы ақпарат беріп отырды, сонымен қатар оператордың ақыл кеңесі режимінде қондырғы жұмысын оптимизациялауды жүзеге асырды.

Каталитикалық крекингтің автоматты басқару жүйесінің бұдан ары дамуы неғұрлым жетілдірілген техниканы қолданумен, жүйе функцияларының ұлғаюы қатар жүрді. Есептеу техникасы оператордың басқару режимінен цифрлық басқаруға тікелей көшті, маңызды дамулар жүйенің ақпараттық функцияларын алды [3, 4].

Мақалада Атырау мұнайөндеу зауытының каталитикалық крекинг қондырғысын басқару жүйесінде жүргізілген зерттеулер нәтижесінде алынған мысалдар келтірілген. Заманауи мұнай өндеу өндірістері жүретін үрдіс өз-ара байланысқан, көп режимді ішкі жүйелермен сипатталады.

Мұнай өндеудің технологиялық жүйесіне жүйелік математикалық модельдеу әдісін пайдалану кезінде нақты модельдеу мақсатын анықтап алу қажет. Шынайы қалыптасқан жүйені толық құру мүмкін емес – қойылған мәселеге қарай мұнай өндеудің зерттелетін технологиялық қондырғысының математикалық моделі құрылады. Осылайша, қажетті мақсатта модельдеу үшін құратын модельге қандай параметрлердің кіретінін, критерийларды таңдап, бағалауға мүмкіндік береді.

Іс жүзінде бастапқы ақпараттың айқынсыздығымен сипатталатын, көпкритерийлі технологиялық үрдістің оңтайлы жұмыс режимдерін таңдау туралы шешім қабылдай отырып, тиімді басқару қажеттілігі жиі туындайды. Шынайы технологиялық нысандардың өлшеу параметрлерінің көптігі мен көпкритерийлігі, бастапқы ақпараттың айқынсыздығы үрдісті тиімді басқаруды күрделендіреді.

Ұсынылған мақаланың мақсаты көпөлшемді технологиялық нысандардың бастапқы ақпаратының айқынсыздығын ескере отырып, эвристика негізінде диалогтық режимде жұмыс істейтін тиімді тәсіл қалыптастыру, шешім қабылдау міндеттерін рәсімдеу.

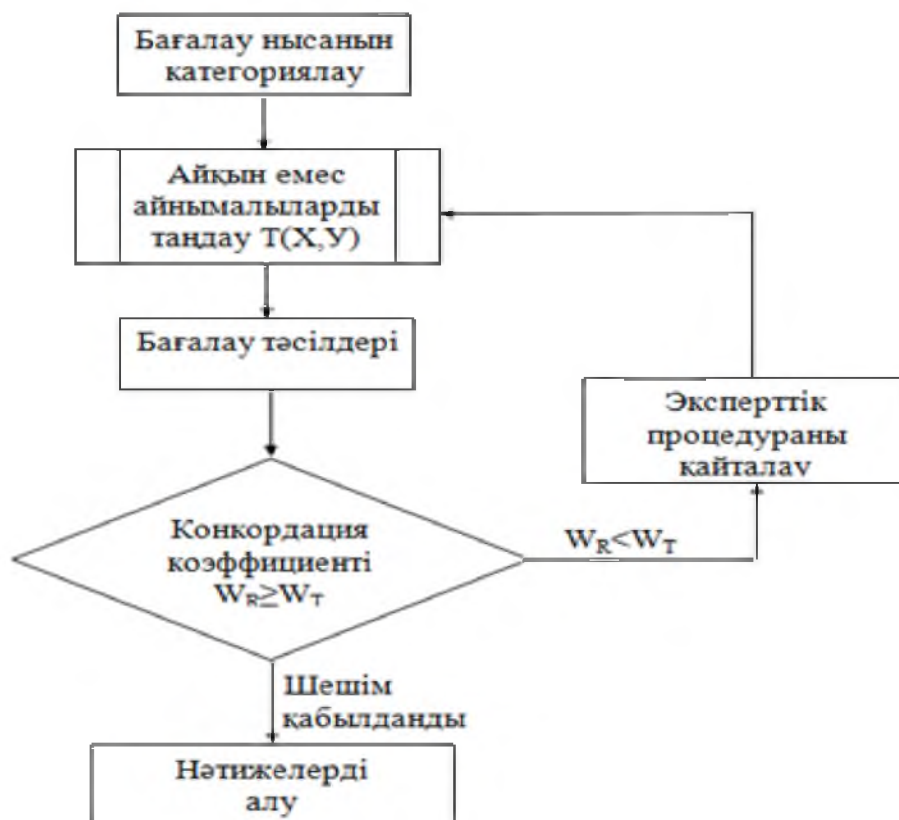
Өртүрлі қолданбалы есептерді шешуде математикалық әдістер мен модельдеуді пайдалану тиімді болып табылады. Күрделі өндірістік нысандарды тиімді басқару үшін жүйенің математикалық моделін құруда бастапқы айқын емес ақпараттың анықсыздығы мен жетіспеушілік мәселелері жиі туындайды. Заман талабына сай өндірістің дамуына қарай басқарудың күрделілігімен қатар, шешім қабылдау сапасына да талап күшейеді. Шешім негізін жоғарлату үшін және олардың нәтижесіне әсер ететін көптеген факторларды ескере отырып талдау жасау қажет. Мамандардан келін түсетін ақпаратты өндеу әдістерінің бірі эксперттік бағалау әдісі болып табылады. Технологиялық нысанның оптималды жұмыс режимін таңдау үшін шешім қабылдау үрдісінің негізі [5,6,7] авторлар жұмысына негізделіп жүргізілді.

Айқын емес ортада айқын емес жиындар теориясына негізделген шешім қабылдау (ШҚ) есебі алгоритм жұмысы сурет 1 келтірілген. Экспертаның барлық кезеңдерін

бағалау, есептер класстарын және операцияларды категоризациялау (категоризациялау), бағалау нысандары мен операциялар классына адекватты, терм-жиынды, айқын емес, лингвистикалық айнымалыларды таңдау, нысан мен есепті сипаттайтын шкала типтерін таңдап, бағалау тәсілін анықтай отырып бағалауды жүргізу. Зерттеу нысанын талдау негізінде «айқын емес» эксперименттердің толық жоспары құрылады. Бұл жоспар эксперименттерді математикалық жоспарлау тәсіліне сәйкес жасалады, мұнда сандық деректер орнына олардың жуықша мәндері айқын емес сан түрінде немесе лингвистикалық айнымалылардың мәні (терм) түрінде қолданылады [8,9,10].

Эксперттер өздерінің білімі мен практикалық тәжірибелері негізінде жоспардың практикада орындалмайтын немесе апаттық жағдайларға алып келетін нұсқалары болса, оларды жоспардан алып тастауға тиіс. Алып тасталған жоспардың әр вариантының нәтижесінен алынған себебі негізделуі қажет. Жоспарда қалған барлық варианттар бойынша эксперттер кіріс параметрлерінің берілген қатынасы нысанның шығыс параметрлеріне қалай әсер ететіні сапалық түрде бағалайды. Бағалау терм-жиындар негізінде орындалады. Егер эксперттер жоспардың кейбір нұсқаларын бағалауда сенімсіз болса, онда мүмкіндігінше бұл нұсқаларды жоспарға сәйкес жүзеге асырып, нәтижелерін бағалау қажет.

Эксперттік тәсілдерді қолданғанда әдетте бірден эксперттердің ой-пікірлері сәйкес келмейді. Сондықтан эксперттердің ой-пікірлерінің келушілік (сәйкестік) өлшемін сандық бағалау және сәйкес келмеу себептерін анықтау қажет болады. Әрине, келушілік өлшемі (шамасы) эксперттер тобының статистикалық деректері негізінде анықталады.



1-сурет. Айқын емес ортада эксперттік бағалау тәсілі алгоритмінің блок схемасы

Эксперттер ой-пікірлерінің келушілік (сәйкестік) шамасын бағалау үшін әдетте *конкордация коэффициенттері қолданылады*. Конкордация коэффициенті 0-ден 1-ге дейінгі мәнді қабылдайды, 0 болғанда эксперттер ой-пікірлері арасында келушілік жоқ, ал 1 болғанда толықтай келушілік бар. Егер дисперсиялық конкордация коэффициенті 0,5 артық болса, әдетте келушілік жеткілікті деп санауға болады. Энтропиялық конкордация коэффициенті де (басқаша оны келушілік коэффициенті деп атайды) 0-ден 1-ге дейінгі мәнді қабылдайды және келушілік коэффициенті үлкен болған сайын (1-ге жақындаған сайын) келушілік шамасы артады. Сонымен, эксперттердің пікірлері негізінен сәйкес келетін болса, яғни конкордация коэффициентінің мәні 1-ге жақын және $w_i \geq w_j$ болса, онда жоспарларды жүзеге асырып, алынған нәтижелерді өңдеуге өту қажет, мұнда w_i , w_j – сәйкесінше таңдалған деңгейде конкордация коэффициенттерінің есептік және кестелік мәндері.

Осылайша, көпкритерийлікпен сипатталатын, каталитикалық крекинг қондырғысын басқару және оптимизациялау мақсаты, тиімді шешім табуға мүмкіндік беретін, векторлық оптимизациялау есебін шешуге негізделеді. Ал соңғы таңдауды және шешім қабылдауды ШҚТ (біздің жағдайымызда қондырғы бастығы, технолог, бригадир, оператор) өзінің түйсігіне, үрдіс жағдайына, қолда бар ақпаратқа сүйеніп қабылдайды.

Материалдар мен зерттеу әдісі. Дәстүрлі жүйелерді талдау әдісі күрделі нысандар мен жүйелерді зерттеу үшін қажетті деңгейде жеткіліксіз, себебі олар адамның ойлау түйсігін математикалық айқынсыздықты формализациялау деңгейі жеткіліксіз. Сол себепті күрделі жүйені сапалы талдау үшін және олардың математикалық моделін құру үшін, айқын емес және анықсыздық әдістемелік сұлбасын падаланылатын дәлдігі жоғары тәсіл қажет.

Жұмыста каталитикалық крекинг қондырғысы (ККҚ) режимдерін басқару кезінде шешім қабылдау және модельдеудің негізгі мәселелері қарастырылған. ККҚ жоғары сапалы бензин, құрамында сутегі бар газ фракциялары мен мұнай-химия синтезіне арналған [4].

ККҚ негізгі агрегаттарын көпкритерийлі объектілерді басқару және оптимизациялау мақсатында анықтау қажет:

1. Каталитикалық крекинг қондырғысының негізгі агрегаттарын және олардың басқа нысанмен байланысын анықтау.

2. Нысанның локальды критерийін анықтау, яғни оңтайландыратын жүйе және агрегаттар жұмысы көрсеткіштерін қажетті шамаға келтіру.

3. Өзгерте отырып критерийлі оптималды шамасына жетуге болатын, басқару параметрлерін анықтау.

4. Нысанды басқару және оптимизациялау есебін құру.

5. Локальды критерий шамасымен басқару әсері байланысын бейнелейтін үрдістің жүйелік моделін жүргізуге мүмкіндік беретін, өзара байланысқан қондырғының негізгі агрегаттарының математикалық модель кешенін жасақтау.

6. Технологиялық қондырғының басқару және оптимизациялау алгоритмін жасақтау.

7. Технологиялық кешенді басқару және оптимизациялаудың бағдарламалық камсыздандыру жүйесін жасақтау.

Агрегаттардың математикалық моделін жасақтау [10, 11, 12] автор жұмысында, байланысқан агрегаттар кешенінің математикалық моделін құру әдісі қарастырылған. Ұсынылған жұмыста осы әдіс негізінде Атырау МӨЗ ККҚ технологиялық агрегаттарының математикалық модельдеу жүйесі жетілдіріледі.

Технологиялық агрегаттар кешенінің оптималды жұмыс режимін таңдау бойынша шешім қабылдау есебінің формальды қойылымын қарастырайық. Технологиялық қондырғының байланысқан математикалық моделі болсын делік, яғни басқарушы

$x = (x_1, \dots, x_n)$ векторының шығыстық параметрлерге $y = (y_1, \dots, y_m)$ әсерін бағалайтын оператор.

$$y_j = f_j(x), \quad j = \overline{1, m} \quad (1)$$

Агрегаттар моделі (1), ақпараттың қолжетімділігі мен модельдеу мақсатына қарай, жоғарыда атап өткендей, әртүрлі жолмен алынуы мүмкін және жүйедегі жекелеген модельдерді бір модельдеу пакетіне жинау қарапайымдылығын анықтайтын, сонымен қатар қажетті талаптарды ескеруі қажет.

Локальды оптималдау критерийі немесе мақсаттық функция:

$$f_i(x, y) \geq 0, \quad i = \overline{1, m} \quad (2)$$

өндірістік жағдайға байланысты жүйенің белгілі бір жұмыс режиміне ШҚТ басымдылығын (приоритетін) білдіретін x, y векторлық аргументердің векторлық функциясына (егер басқару критерийі біреу болса, онда скалярлық функцияға, $i=1$) бірігеді. Мәселен, бірнеше өнімді өндіретін технологиялық кешендерде белгілі бір мақсаттық өнімнің санын немесе сапасын басқа өнімдердің көрсеткіштері есебінен арттыру есебі қойылуы мүмкін.

x, y мәндері берілген жағдайда функция f_i белгілі бір шаманы қабылдайды. Векторларын x, y таңдаудың себебі, кез келген $f_j \in f, j \in K$ критерийлерін жақсарту басқа біреуін $f_l \in f, l \in K, l \neq j$ нашарлату жағдайында мүмкін болатын, Паретто-жиын ауданын табу.

Мұнда K – индекстер жиынын білдіреді.

Теңдеу (1) сәйкес, мақсаттық функция басқару $f_i(x)$ әсерінен y векторы x векторын беру арқылы анықталынады. Онда технологиялық кешеннің оптималды жұмыс режимін таңдау үшін шешім қабылдау есебі басқару нысанының жұмыс режимін көпкритериалды оптимизациялау есебі түрінде қойылады: Басқаруға және критерийлерге қойылған шектеулерді орындай отырып қажетті сапа $f_i^*(x^*)$ локальды критерий шамасын қамтамасыз ететін $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ басқару векторын табу қажет.

Көпкритериалды есепті ШҚТ негізінде тиімді тәсіл мен шешімді таңдау қабылдау шешім қабылдау теориясында қарастырылады [12, 13].

Көпмақсатты басқару мәселелерін шешудегі басты қиындық оптималдау принципін құрумен байланысты. Векторлық оптимизациялау есебінде көптеген әр түрлі принциптер бар (басты критерий принципі, лексикографиктік критерийлі, салыстырмалы ымыра принципі), олардың әр қайсысы түрлі шешімдерге әкеледі. Бұл өз кезегінде оптималды принциптерін таңдау кезінде, басты сұраққа жауап беретін – өзге шешімдерден жақсы, оптималды шешім таңдауда елеулі ұсыныстарды талап етеді.

Технологиялық агрегаттардың оптималды жұмыс режимін таңдау кезінде туындайтын, ШҚ көпкритериалды есебін шешумен байланысты, негізгі мәселелерді қарастырайық.

1. Ымыралық ауданын анықтау мәселесі. Векторлық оптимизациялау есептерінде кейбір критерийлік арасында қарама-қайшылық болады. Осыған орай Ω_A рұқсат етілген ауданы екі қиылыспайтын бөлікке ыдырайды: сәйкесік ауданы Ω_A^c , мұнда критерийлер арасында қарама-қайшылық болмайды және Парето көпмүшесімен сәйкес келетін Ω_A^k ымыралық ауданы, яғни критерийлі қарама-қайшылығы бар, ол дегеніміз бір критериймен шешім сапасы жақсарса екіншісімен шешім сапасы нашарлайды. Қондырғының рационалды жұмыс режимі (оптималды шешімі) тек ымыра ауданында

жатуы мүмкін, яғни $\omega \in \Omega_A^k$, шешім ымыралық ауданында басқа бірнеше критерийлермен салыстырғанда неғұрлым жақсы болуы мүмкін. Осы этаптың рационалды жұмыс режимін іздеу-мүмкін болатын шешімдер адуны Парето жиынына дейін тарылады [14].

2. Басқару критерийлі түйінін құруға мүмкіндік беретін, ымыралық сұлбаны таңдау. Ымыралық ауданында қондырғының рационалды жұмыс режимін іздеу кейбір ымыралық сұлба негізінде ғана жүзеге асырылуы мүмкін. Себебі, ымыралық сұлбаның ықтимал сандарының мүмкіндігінің жоғары, нақты сұлбаны таңдау күрделі болып табылады және ШҚТ түйсігі негізінде шешіледі. Ымыра сұлбасын таңдау теңдеудегі *opt* оптимизациялау операторы мағынасын ашуына сәйкес келеді:

$$\text{opt}f(A) = \max_{\varphi(f(A))} \varphi(f(A)), A \in \Omega_A, A \in \Omega_A^c, A \in \Omega_A^k \quad (3)$$

мұнда, A мен f символдары арқылы балама (альтернатива) – A мәні мен оған сай f критерийлер векторының мәні, $\varphi(f)$ – f критерийлер векторының кейбір скалярлық функциялары (локальды критерийлердің түйінді функциясы) белгіленген.

Осылайша, қайсібір оптималдау принципін таңдау векторлық есебін оптимизациялаудың эквивалентті скалярлы шамасына әкеледі.

3. Критерийлік қалыптастыру. Бұл мәселе, локальды критерийлердің өлшем бірліктері әртүрлі болған жағдайда туындайды. Критерийді қалыпқа келтіру қажет, яғни бірдей өлшемге келтіру, я болмаса өлшемсіз масштабқа келтіру. Осы уақытқа дейін бірқатар қалыпқа келтіру сұлбалары белгілі.

4. Критерийлердің басымдығын ескеру мәселесі. Критерийлердің басымдығын ескеру көптеген әдістерді түйіндеу жолымен критерийлердің $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m)$ маңыздылық вектор коэффициенттерін беру жолымен жүзеге асады, мұндағы $\gamma_i - f_i$ критерийі салмағы.

Нормализациялау және басымдықтары ескеру нәтижесінде A баламасының $f(A)$ бастапқы векторлық бағалауы орнына жана векторлық бағалау пайда болады:

$$\varphi(f(A)) = \gamma_1 f_1(A), \gamma_2 f_2(A), \dots, \gamma_m f_m(A) \quad (4)$$

мұндағы $f_i(A), i = \overline{1, m}$ – критерийлердің қалыптастырылған шамалары.

Осы және басқада ШҚ көпкритерийалдық есебін шешу және өндірістік нысандарды басқару жүйесін жетілдіру кезінде туындайтын мәселелерді шешу кезінде, эксперттер, ШҚТ маңызды роль атқаратын, әртүрлі типтегі эвристикалық процедуралар пайдалану қажет.

Ұсынылып отырған мақаланың мақсаты каталитикалық крекинг қондырғысы негізінде технологиялық үрдістің модельдеу әдістерін жетілдіріп, математикалық әдістердің және компьютерлік технологияның соңғы жетістіктерін пайдаланып оптималды шешім қабылдау.

Шешім қабылдайтын тұлға әртүрлі ымыралық сұлба модификациясы негізінде мәселенің көпкритерийлік пен айқын еместігін сақтай отыра, түрлендірусіз бастапқы айқын емес есебін шешуға және қалыптастыруға мүмкіндік беретін тәсіл ұсынылған.

Жоғарыда көрсетілгендей бастапқы ақпараттың анықсыздық мәселесі кезінде мұнай өңдеу өндірісі нысандарының, оптималды жұмыс режимін таңдау бойынша ШҚ көпкритерийлік мәселесінің жалпы қойылымы және шешу тәсілдерін қарастырайық.

Зерттелінетін өндірістік нысанның – мұнай өңдеу технологиялық кешенінің оптималды жұмыс режимін таңдап, бағалайтын, экономикалық-экологиялық сипаттағы локальды критерий $f_1(x), \dots, f_m(x)$ – берілсін делік. Әрбір критерийлер n кіріс-режимдік параметрінің векторына $x = (x_1, \dots, x_n)$ тәуелді болады және $\gamma_1, \dots, \gamma_m$ – маңыздылық коэффициенттерімен сипатталады.

Әр $f_i(x)$ локальды критерийі кірістік әсер шамаларымен байланысқан, осы тәуелділікті зерттелетін нысан моделі бейнелейді.

Бастапқы ақпараттың анықсыздығы мен көпкритерийлік сипатталатын, мұнай өңдеу нысан өндірісінің ШҚ мәселесі жалпы түрде, айқын емес математикалық программалау көпкритерийлік есебі түрінде келтіруге болады.

Мұнай өңдеу технологиялық кешенінің жұмыс режимін экономикалық көрсеткіштерін ескере отырып, бағалайтын $\mu_0(x) = \varphi(f_i(x))$, $\mu_0(x) = (\mu_0^1(x), \dots, \mu_0^m(x))$ – келтірілген критерийлер векторы. Маман эксперттермен, ШҚТ диалог нәтижесінде құрылған $\mu_q(x)$, $q = \overline{1, L}$ – өндірісті болатын түрлі шектеулердің $f_q(x) > bq$ орындалуының тиістілік функциясы. Онда айқын емес ортада ШҚ жалпы көпкритералдық есебін келесі түрде жазуға болады:

$$\max_{x \in X} \mu_0^i(x), i = \overline{1, m} \quad (5)$$

$$X = \{x : \arg \max_{x \in \Omega} \mu_q(x), q = \overline{1, L}\}. \quad (6)$$

Әртүрлі ымыралық сұлба негізінде шешім қабылдаудың, оптималдылық принциптерінің көпкритериалдық есебі қойылымын алуға және оларды шешуге нақты алгоритмді ұсынуға болады. Айқын емес ортада ШҚ көпкритериалдық есебінің нақты қойылымы, сонымен қатар пайдаланылатын, жетілдірілген алгоритмдер және олардың шешімі келтірілген.

Нәтижелері және оларды талқылау. Отандық мұнай өңдеу зауытында каталитикалық крекинг қондырғысы (ККК) қуаты жылына шамамен 2388,54 мың тоннаны құрайды, мысалы:

- Шикізат қуаттылығы 600 мың тонна/жылына өсті;
- Шығыстық өнім бензин көлемі 53 % салмақ, артты;
- Ауаға шығарылатын зиянды қалдықтар азаяды.

Каталитикалық крекинг «R2R» қондырғысы келесідей блоктардан тұрады:

- реакторлы блогы;
- түтіндік газдарды рекуперациялау және жұқа тазалау блогы;
- ректификация блогы;
- бензинді тұрақтандыру блогы.

ККК негізгі өнімі бензиндік фракция болып табылады, қалыптандырылғаннан кейін жоғары октанды автокөлік бензинін алу үшін пайдаланады, 2-суретте каталитикалық крекинг қондырғысынан алынатын өнім сұлбасы келтірілген.

«R2R» секциясының шығыстық қосымша өнімі төмендегілер болып табылады:

- Майлы газ;
- Тұрақтандырғыш рефлюкс;
- Жеңіл газойль;
- Ауыр газойль.



2-сурет. Каталитикалық крекинг қондырғысы өнім ағыны сұлбасы

ККҚ блоктар бойынша технологиялық процестер мен технологиялық схеманың сипаттамасын қарастырайық қондырғының жалпы технологиялық сұлбасы 3-суретте көрсетілген.

Реакторлы блогы 0100. Бұл блок «R2R» секциясындағы өнім қажетті конверсияға жеткенге дейін шикізатты ысытуды қамтамасыз етеді. Блок бір жұмыс режиміне есептелген, бензин өнімінің максимумын қамтамасыз ететін, әртүрлі сападағы өнімнің екі типін өңдейді (қыстық және жаздық) және «R2R» қондырғысының басты колоннасы фракциондау блогымен байланысқан. Шикізат вакуумдық газойлдың, атмосфералық газойлдың, атмосфералық айдау қалдығы (мазут), кокстаудың ауыр газойлы және ауыр рафинат қоспаларынан тұрады.

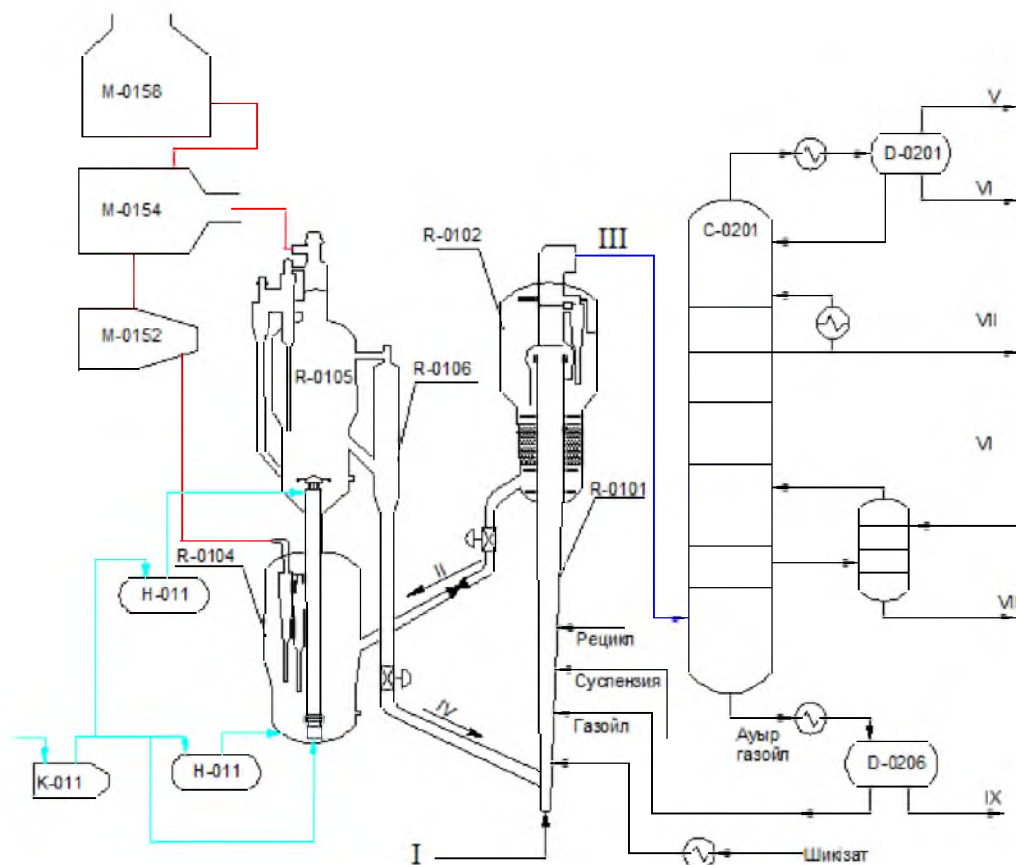
Блок ысыту жүйесінен, шикізатты енгізу жүйесінен лифт-реактордан, оның шығысында сепарациялау жүйесінен, сепаратор/буландыру зонасы, бірінші сатыдағы регенератор, екінші сатыдағы регенератор, катализаторды іріктеу бағанынан, шиберлі ысырмаларды (задвижка) басқару жүйесінен тұрады.

Блокта ысыту, лифт – реакторға шикізатты беру, шикізаттың каталитикалық крекингтеу реакциясының ультрақысқа уақыт ішінде өтуі және олардың басты фракциондау колоннасы блогына түсу операциялары жүзеге асырылады.

Реакторлы блок екі негізгі аппараттан тұрады – бірінші сатылы реактор R0101, екінші сатылы реактор R0102 және бірінші сатылы регенератор R0104, екінші сатылы R0105 регенераторынан тұрады (3-сурет).

Шикізат қоспасы ректификациялау блогынан шикізатқа арналған буферлік сыйымдылығынан сорғышы арқылы 180/200 °С температурада лифт – реактор R0101 астынан беріледі, онда регенератордан келген жоғары температурадағы катализатормен жанасады. Катализатор мен шикізаттың температурасын реттеу мақсатында жеңіл газойль мен каталитикалық крекингтің ауыр газойлы беріледі. Өнімнің температурасы мен шығыны әр форсункада орналастырылған реттеу датчиктерімен дабыл қаққыштар арқылы бақыланады. Шикізатты енгізу нүктесінде катализатор ағынының бірқалыпты және біркелкі ағымы тұрақтандыру бу форсункаларына су буын беру есебінен қамтамасыз етіледі.

Оптимизациялау міндеттерін шешуде жетілдірілген диалогты алгоритмдердің дұрыстығы ең бірінші тұтынушыдан ақпаратты сұраумен анықталынады. Осыған байланысты үрдістегі мәселені шешу үшін адам мен ЭЕМ арасындағы пайдаланылатын диалогта қатаң формализацияланған тілде түсініктілік көзі болып табылатын қарама-қайшы жағдайлар болмауы тиіс. Алынған эксперттік бағалау нәтижелері айқын еме жиындарды – лингвистикалық термдарды анықтауда, сәйкес келетін тиістілік функциясын таңдауда және айқын емес логикалық моделін құруда пайдаланылады.



3-сурет. Екі регенератормен (R2R) каталикалық крекинг қондырғысының технологиялық сұлбасы: R0101 – лифт-реактор, R0102 – реактор-сепаратор; R0104 – регенератордың I сатысы; R0105 – регенератордың II сатысы; C0201 – ректификациондау колоннасы; I – шикізат; II – коксталанған катализатор; III – реактордан шыққан өнім; IV – регенерирленген катализатор; V – газ; VI – қышқыл су; VII – бензин; VIII – газойл; IX – 343 °C жоғары қалдық

Басқарудың айқын емес алгоритмін құруда кірістік және шығыстық параметрлердің лингвистикалық термдары мен ережелерін «егер..., онда...» сияқты логикалық қорытындылау ережелерін құру қажет [15].

Басқару алгоритмін жүзеге асыру үшін келесідей мәселелерді шешу қажет:

1. Алгоритм бойынша басқару нысанының кірістік және шығыстық параметрлерінен тиістілік функциясын (ФП) құру;

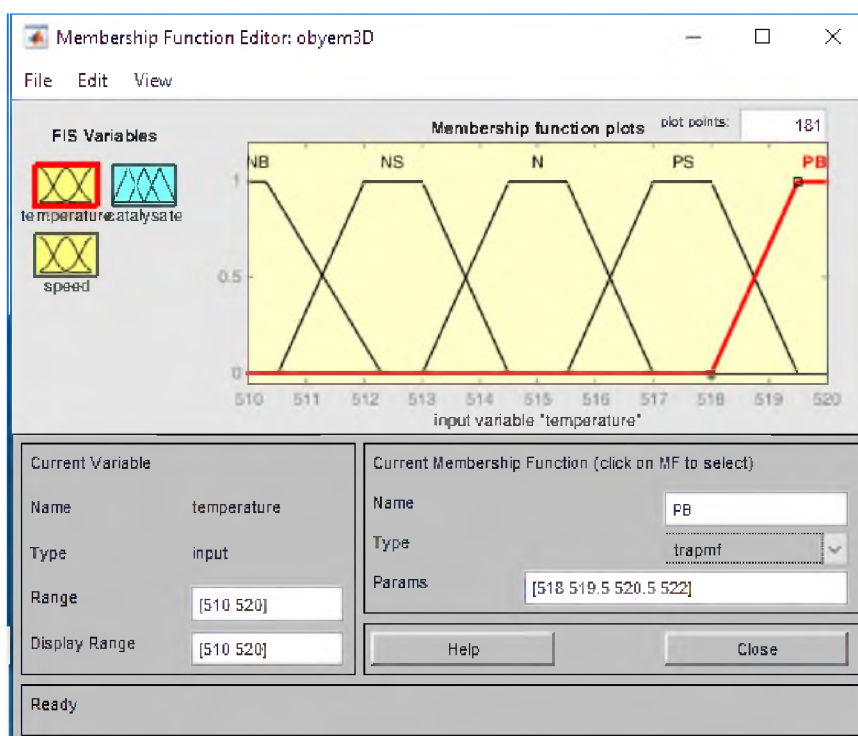
2. Кірістік параметрлердің әртүрлі шамасы кезінде нысан әрекетін лингвистикалық анықтайтын логикалық қорытындылау (вывод) ережесін жазып, құру.

ККҚ әртүрлі режимдегі технологиялық параметрлері және жетілдірілген модельдеу алгоритмін негізге ала отырып, эксперттік бағалау нәтижелерінде және жұмысында ұсынылған аналитикалық байланыстарын қолданып, айқын емес жиындарды сипаттайтын тиістілік функциялары анықталды:

- $\mu_1(T) = \exp((T-465)^{0.5})$ – реактордағы температура өте төмен;
- $\mu_2(T) = \exp((T-485)^{0.5})$ – реактордағы температура төмен;
- $\mu_3(T) = \exp(T-495)^{0.5}$ – реактордағы температура орташа;
- $\mu_4(T) = \exp(T-520)^{0.6}$ – реактордағы температура жоғары;
- $\mu_5(T) = \exp(T-545)^{0.7}$ – реактордағы температура өте жоғары;

- $\mu_B(y_1) = \exp(|y_1-65|^{0.4})$ – катализаттың шығысы төмен;
- $\mu_B(y_1) = \exp(|y_1-70|^{0.6})$ – катализаттың шығысы орташа;
- $\mu_B(y_1) = \exp(|y_1-75|^{0.7})$ – катализаттың шығысы орташадан жоғары;
- $\mu_B(y_1) = \exp(|y_1-67|^{0.5})$ – катализаттың шығысы орташадан төмен;
- $\mu_B(y_2) = \exp(|y_2-70|^{0.3})$ – катализатордың тұрақтылығы нормадан төмен;
- $\mu_B(y_2) = \exp(|y_2-90|^{0.5})$ – катализатордың тұрақтылығы нормада;
- $\mu_B(y_2) = \exp(|y_2-95|^{0.7})$ – катализатордың тұрақтылығы нормадан жоғары;

Реактордың байланысқан үрдістің шығыстық өнімге әсерін модельдеу және тиістілік функциясын Matlab программалау құралдарының Fuzzy Logic Toolbox пайдаланылып құрылды. Fuzzy Logic Toolbox қолданбалы программалау пакеті айқын емес эксперттік және басқарушы жүйелерді құрастыруға арналған [16]. Ең бірінші айқын емес қорытындылау параметрлері, кірістік және шығыстық параметрлерінің тиістілік функцияларын құру моделі жүргізілді (4-сурет).



4-сурет. Кірістік параметрдің тиістілік функциясы редакторлар терезесі

Кірістік параметрлерді сипаттайтын trapmf типті тиістілік функциясы таңдалынып алынды, ол термды 4 нүкте бойынша сипаттайды, яғни бірінші ол функцияның сол жақ иығының басы, екінші және үшінші ол функция ядросының шектеулері, төртінші ол оң жақ иықтың шеткі нүктесі. Шығыстық параметр үшін тиістілік функциясы осы бейнеде құрылады. Лингвистикалық модель тізбегі де осы ретпен құрылды.

Крекинг процесінің оптималды температурасын анықтау үшін жоғарыда ұсынылған технологиялық кешендердің модельдерін түрлі ақпараттар негізінде құру тәсілінің негізінде, каталитикалық крекинг реакторының температурасының катализат шығысына және катализатор тұрақтылығына әсерін сипаттайтын лингвистикалық модельдер тұрғызылды.

- Егер TR орташа болса, онда y_1 орташа, y_2 нормада;
 - Егер TR жоғары болса, онда y_1 орташадан жоғары, y_2 нормадан жоғары;
 - Егер TR өте жоғары болса, онда y_1 орташадан төмен, y_2 нормадан төмен»
 лингвистикалық байланысын сипаттайды, мұнда TR – реактордағы температура, y_1 – реактор шығысындағы катализат көлемі, y_2 – катализатордың тұрақтылығы.

Келтірілген лингвистикалық модельдің мазмұны мен құрылымын біздің жағдайға қолдана отырып ұсынылған тәсіл бойынша келесі лингвистикалық модель алынды:

$$\begin{aligned} \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(mn), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(mn), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(nm), \\ \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(op), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(op), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(np), \\ \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(жс), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(ож), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(нж), \\ \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(ож), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(от), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(нт), \end{aligned}$$

мұнда $tn, nt, op, np, жс, ож, нж, өж, от$ – рет бойынша, «төмен», «нормадан төмен», «орташа», «норма», «жоғары», «орташадан жоғары», «нормадан жоғары», «өте жоғары», «орташадан төмен» түсініктерін сипаттайтын айқын емес айнымалылар; $\tilde{x}, \tilde{y}_1, \tilde{y}_2$ – рет бойынша, реактордың температурасын, шығыстағы катализат көлемін және катализатор тұрақтылығын сипаттайтын кіріс және шығыс лингвистикалық айнымалылар; $\tilde{A}, \tilde{B}_j, \tilde{x}, \tilde{y}_j, j=1,2$ – кіріс, шығыс параметрлерін сипаттайтын айқын емес жиындар.

Лингвистикалық \tilde{x}_i және \tilde{y}_j шамалар арасындағы байланысты сипаттайтын айқын емес R_{ij} бейнелеуді формализацияланған.

Жоғарыда қолданылған методика бойынша шикізатты беру жылдамдығының крекинг блогының мақсатты өнімі – катализаттың көлемі мен сапасына (октандық санына) әсерін «шикізатты беру жылдамдығы артқан сайын, катализаттың октандық саны төмендейді, ал көлемі артады» логикалық қорытындысын сипаттайтын лингвистикалық модельді құрамыз:

$$\begin{aligned} \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(mn), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(жс), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(mn), \\ \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(op), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(op), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(op), \\ \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(жс), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(mn), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(жс). \end{aligned} \quad (7)$$

мұнда $tn, жс, op$ – рет бойынша: «төмен», «жоғары», «орташа» түсініктерін сипаттайтын айқын емес айнымалылар; $\tilde{x}, \tilde{y}_1, \tilde{y}_2$ – рет бойынша: шикізатты беру жылдамдығы, катализаттың октандық саны және көлемі кіріс-шығыс лингвистикалық айнымалылары.

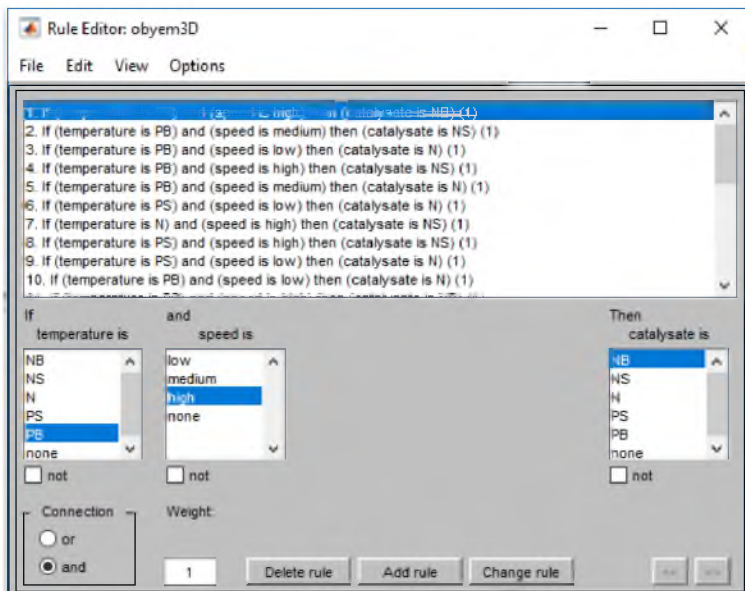
Зерттеу және эксперттік бағалау нәтижелерін өңдеу нәтижесінде реактордағы температураның катализат шығысына әсерін бағалайтын лингвистикалық модельдің келесі структурасы алынды:

$$\begin{aligned} \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(mn), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(жс), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(mn), \tilde{y}_3 \in \tilde{B}_3(mn), \\ \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(np), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(op), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(op), \tilde{y}_3 \in \tilde{B}_3(op), \\ \text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}(жс), \text{ then } \tilde{y}_1 \in \tilde{B}_1(mn), \tilde{y}_2 \in \tilde{B}_2(жс), \tilde{y}_3 \in \tilde{B}_3(ож). \end{aligned} \quad (8)$$

мұнда $tn, жс, np, op, ож$ – рет бойынша: «төмен», «жоғары», «норма», «орташа», «орташадан жоғары» түсініктерін сипаттайтын айқын емес айнымалылар; $\tilde{x}, \tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \tilde{y}_3$ –

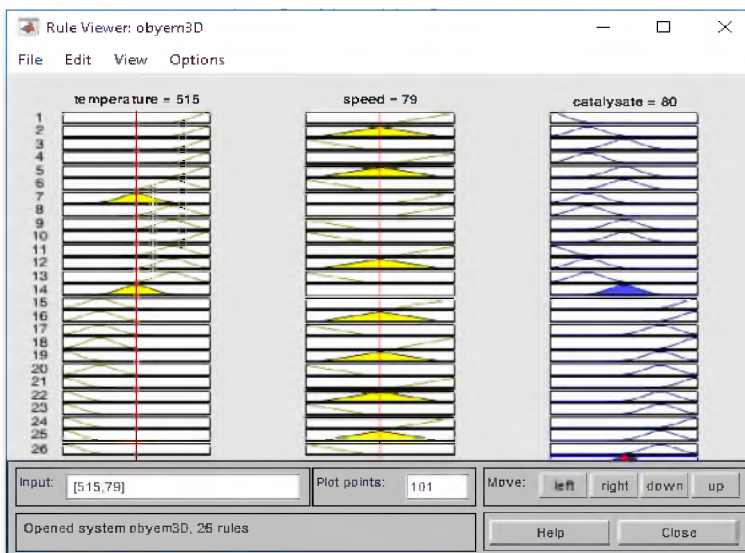
лингвистикалық кіріс және шығыс айнымалылары, рет бойынша: қысым (\tilde{x}), катализат (\tilde{y}_1) пен сутек (\tilde{y}_2) көлемі және катализат сапасы (\tilde{y}_3), \tilde{A} , \tilde{B}_j , \tilde{x} , \tilde{y}_j , $j = \overline{1,3}$ лингвистикалық айнымалыларын сипаттайтын айқын емес жиындар.

Ұсынылған лингвистикалық модель «База правил» редакторы көмегімен, ережелер қоры жүзеге асырылды (4-сурет).



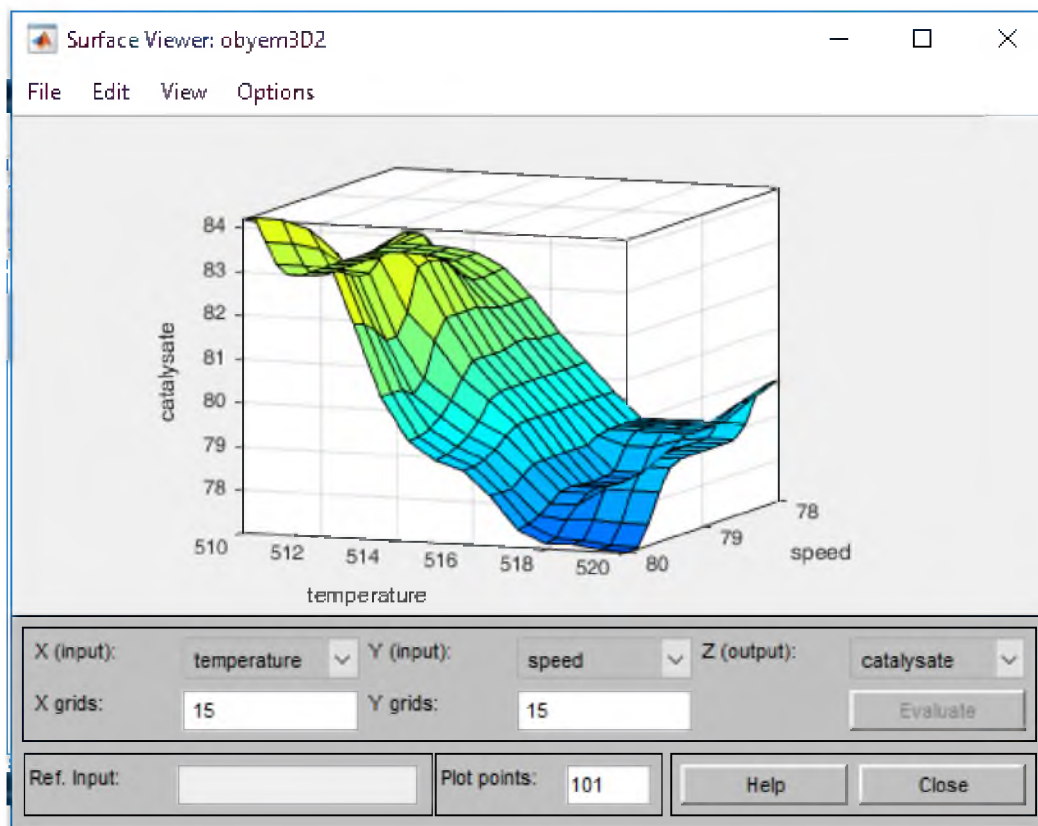
4-сурет. «Ережелер базасы» терезесі

Әр ереже бойынша айқын емес қорытындысын, нәтижелік айқын емес көпмүше және деффазификация процедурасының орындалуын ережелерді шолу (Rule Viewer) көмегімен көруге болады (5-сурет).



5-сурет. Ережелерді шолу (Rule Viewer) терезе көрінісі

Барлық антecedенттер мен консековентер жиын комбинациялары көрнекілік үшін үш өлшемді график түрінде көрсетілген (6-сурет).



6-сурет. Реактордағы температураның катализат шығысына әсері

Зерттеу жұмысым бойынша ККҚ реакторлы блогына технологиялық үрдістің өту заңдылығы мен олардың факторларының шығыстық өнімге әсері, сонымен қатар айқын емес ережелерін нақтылау, мақалада мұнай өңдеу зауыты каталитикалық крекинг қондырғысы (ККҚ) қолданыстағы өндірістік қондырғысының технологиялық режиміне бейімделіп, математикалық моделі жүзеге асырылды.

Қорытынды. Атырау мұнайөңдеу зауыты каталитикалық крекинг қондырғысы мысалында мұнай өңдеу технологиялық нысанының жұмыс режимін оптимизациялау есебі формализацияланды және осындай есептердің жаңа қойылымдары алынды. Маман эксперттардан алынған сапалы ақпарат негізінде оптимизациялау көпкритерийлік есебінің жанашылдылығы оларды детерминдік түрге түрлендірмей, айқын емес ортада қойылып және шешіледі, яғни сапалы қолжетімді ақпаратты пайдаланады. Маман-эксперт білімі мен тәжірибесі негізіндегі тәсіл күрделі өндірістік есептердің адекватты шешімін алуға мүмкіндік береді. Көпкритерийлік мәселесін шешу үшін компромистік сұлба мен оптималдық принцип идеясы пайдаланылды, олар бастапқы ақпараттың айқынсыздық жағдайына модифицирленген.

Логикалық «егер..., онда...» қорытынды түрінде технологиялық жағдайдың туындауы кезінде басқарудың мәліметтер ережесі құрылды. Реакторды айқын емес ортада басқару алгоритмі негізінде, Matlab Fuzzy Logic Toolbox ортасында оптимизациялау есебін шешу нәтижелеріне салыстыру жүргізілді.

Әдебиеттер тізімі

1. Оразбаева Б.Б., Оразбаев Б.Б., Кожаметова Д.О. Монография: Мұнай өңдеу және мұнай химиясы кешендерінің тиімділігін арттыру тәсілдері. – Алматы: Эверо, 2018. – 263 б.
2. Sun, J., Yu, H., Yin, Z., Jiang, L., Wang, L., Hu, S., & Zhou, R. Process Simulation and Optimization of Fluid Catalytic Cracking Unit's Rich Gas Compression System and Absorption Stabilization System. *MDPI, Journal Processes* 2023, 11(7), Article 2140. <https://doi.org/10.3390/pr11072140>
3. Сериков Т.П., Серикова З.Ф., Оразбаева К.Н. Современное состояние технологии переработки нефтей Казахстана. – Атырау-Актобе: Ер-Тостик-А-Полиграфия, 2008. – 206 с.
4. Princewill N. Josiaha, Ipeghan J. Otarakub, Benson O. Evbuomwan. Servo and Regulatory Response of an Industrial Fluid Catalytic Cracking (FCC) Unit under Fuzzy Logic Supervisory Control. *Engineering and Technology Journal* 2023, 41 (09). – P. 1139-1151.
5. Zhang J., Lin J., Xu F., Luo X. Online Dynamic Optimization of Multi-Rate Processes with the Case of a Fluid Catalytic Cracking Unit. *MDPI, Journal Processes* 2023, 11, 3088. <https://doi.org/10.3390/pr11113088>
6. Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Orazbayeva K., Iskakova S., Utenova B., Gazizov F., Ilyashenko S., Afanaseva O. The System of Models and Optimization of Operating Modes of a Catalytic Reforming Unit Using Initial Fuzzy Information. *MDPI, Energies* 2022, 15, 1573. <https://doi.org/10.3390/en15041573>
7. Hossein Tootoonchy and Hassan H. Hashemi. Fuzzy Logic Modeling and Controller Design for a Fluidized Catalytic Cracking Unit. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2013 Vol II, 23-25 October, 2013, San Francisco, USA*
8. Оразбаева К.Н. Теория и практика методов нечетких множеств. МОН РК, изд.-во Бастау, – Алматы, 2014. – 488 с.
9. Batyr Orazbayev, Dinara Kozhakhmetova, Ryszard Wójtowicz, Janusz Krawczyk. Modeling of a Catalytic Cracking in the Gasoline Production Installation with a Fuzzy Environment. *MDPI, Energies* 2020, 13, 4736; doi:10.3390/en13184736
10. Brijet Z., Bharathi N. Design of type-2 fuzzy logic controller for fluid catalytic cracking unit. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 2021. – Vol. 35. – No. 1. – Pp. 51-68.
11. Jalali N., Razmi H., Doagou-Mojarrad H. Optimized fuzzy self-tuning PID controller design based on Tribe-DE optimization algorithm and rule weight adjustment method for load frequency control of interconnected multi-area power systems, *Appl. Soft Comput.*, 93, 2020, 106424. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106424>
12. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдооживленном слое катализатора: справочник по эксплуатации, проектированию и оптимизации установок ККФ. Санкт-Петербург: Профессия, 2014. – 383 с.
13. Оразбаев Б.Б. Методы моделирования и принятия решений для управления производством в нечеткой среде. Изд. ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, -Астана: 2016, 398 с.
14. Batyr Orazbayev, Dinara Kozhakhmetova, Kulman Orazbayeva, Balbupe Utenova. Approach to Modeling and Control of Operational Modes for Chemical and Engineering System Based on Various Information. *Applied Mathematics & Information Sciences An International Journal*. 2020. Vol.4(14). – Pp. 547-556.
15. Демидова Г.Л., Лукичев Д.В. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 81 с.
16. Peng Ni, Bin Liu and Ge He. An online optimization strategy for a fluid catalytic cracking process using a case-based reasoning method based on big data technology. *RSC Advances*, 2021, 11, p.28557-28564 DOI: 10.1039/D1RA03228C

References

1. Orazbaeva B.B., Orazbaev B.B., Kozhakhmetova D.O. Monografiya: Mұнай өңдеу және мұнай химиясы кешендерінің тиімділігін арттыру тәсілдері. – Алматы: Ehvero, 2018. – 263 b
 2. Sun, J., Yu, H., Yin, Z., Jiang, L., Wang, L., Hu, S., & Zhou, R. Process Simulation and Optimization of Fluid Catalytic Cracking Unit's Rich Gas Compression System and Absorption Stabilization System. MDPI, Journal Processes 2023, 11(7), Article 2140. <https://doi.org/10.3390/pr11072140>
 3. Serikov T.P., Serikova Z.F., Orazbaeva K.N. Sovremennoe sostoyanie tekhnologii pererabotki neftei Kazakhstana. -Atyrau-Aktobe: Er-Tostik-A-Poligrafiya, 2008. -206 s.
 4. Princewill N. Josiaha, Ipeghan J. Otarakub, Benson O. Evbuomwan. Servo and Regulatory Response of an Industrial Fluid Catalytic Cracking (FCC) Unit under Fuzzy Logic Supervisory Control. Engineering and Technology Journal 2023, 41 (09), p.1139- 1151.
 5. Zhang J., Lin J., Xu F., Luo X. Online Dynamic Optimization of Multi-Rate Processes with the Case of a Fluid Catalytic Cracking Unit. MDPI, Journal Processes 2023, 11, 3088. <https://doi.org/10.3390/pr11113088>
 6. Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Orazbayeva K., Iskakova S., Utenova B., Gazizov F., Ilyashenko S., Afanaseva O. The System of Models and Optimization of Operating Modes of a Catalytic Reforming Unit Using Initial Fuzzy Information. MDPI, Energies 2022, 15, 1573. <https://doi.org/10.3390/en15041573>
 7. Hossein Tootoonchy and Hassan H. Hashemi. Fuzzy Logic Modeling and Controller Design for a Fluidized Catalytic Cracking Unit. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2013 Vol II, 23-25 October, 2013, San Francisco, USA
 8. Orazbaeva K.N. Teoriya i praktika metodov nechetkikh mnozhestv. MON RK, izd.-vo Bastau, -Almaty, 2014, 488 s.
 9. Batyr Orazbayev, Dinara Kozhakhmetova, Ryszard Wójtowicz, Janusz Krawczyk. Modeling of a Catalytic Cracking in the Gasoline Production Installation with a Fuzzy Environment. MDPI, Energies 2020, 13, 4736; doi:10.3390/en13184736.
 10. Brijet Z., Bharathi N. Design of type-2 fuzzy logic controller for fluid catalytic cracking unit. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 2021. – Vol. 35. – No. 1. – Pp. 51-68.
 11. Jalali N., Razmi H., Doagou-Mojarrad H. Optimized fuzzy self-tuning PID controller design based on Tribe-DE optimization algorithm and rule weight adjustment method for load frequency control of interconnected multi-area power systems, Appl. Soft Comput., 93, 2020, 106424. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106424>
 12. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдооживленном слое катализатора: справочник по эксплуатации, проектированию и оптимизации установок ККФ. Санкт-Петербург: Профессия, 2014. – 383 с.
 13. Orazbaev B.B. Metody modelirovaniya i prinyatiya reshenii dlya upravleniya proizvodstvom v nechetkoi srede. Izd. ENU im. L.N.Gumileva. – Astana: 2016. – 398 s.
 14. Batyr Orazbayev, Dinara Kozhakhmetova, Kulman Orazbayeva, Balbupe Utenova. Approach to Modeling and Control of Operational Modes for Chemical and Engineering System Based on Various Information. Applied Mathematics & Information Sciences An International Journal. 2020. Vol.4(14), pp.547-556.
 15. Demidova G.L., Lukichev D.V. Regulatory na osnove nechetkoy logiki v sistemakh upravleniya tekhnicheskimi obyektami. – SPb: Universitet ITMO. 2017. – 81 s.
 16. Peng Ni, Bin Liu and Ge He. An online optimization strategy for a fluid catalytic cracking process using a case-based reasoning method based on big data technology. RSC Advances., 2021, 11, p.28557-28564 DOI: 10.1039/D1RA03228C.
-
-