

Сведения об авторах

Айжан Оразбеккызы Закенова* – магистрант кафедры «Информационные системы»; Казахский национальный университет имени аль-Фараби; e-mail: zakenova99@list.ru

Жанна Муратбековна Алимжанова – кандидат физико-математических наук, профессор; Казахский национальный университет имени аль-Фараби; e-mail: zhannamen@mail.ru

Information about the authors

Aizhan Orazbekkyzy Zakenova* – Master's student of the department of Information systems; Al-Farabi Kazakh National University; e-mail: zakenova99@list.ru

Zhanna Muratbekovna Alimzhanova – candidate of physics and mathematics, professor; Al-Farabi Kazakh National University; e-mail: zhannamen@mail.ru

Редакцияға енуі 24.04.2024

Өңдеуден кейін түсуі 07.10.2024

Жариялауға қабылданды 08.10.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4\(16\)-3](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-3)



FTAXP: 50.43.15

Д.О. Кожаметова*, А.Ж. Адылканова, Р.Н. Назаров

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

*e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru

АЙҚЫН ЕМЕС ОРТАДА МҰНАЙДЫ ТЕРЕҢ ӨҢДЕУ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ НЫСАННЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ

Андатпа: Мақалада қондырғы жұмысын басқаруды оптимизациялау үшін көпкритерийлік жағдайында модельдеу әдістері мен тәсілдері қарастырылды. Мұнайды терең өңдеу технологиялық кешендерінің тиімділігін математикалық модельдеу негізінде шешім қабылдау арқылы арттыру тәсілдері келтірілді. Мамандардан келіп түскен ақпаратты алып өңдеу әдісіні expertтік бағалау тәсілінің құрылымдық сұлбасы құрылып, зерттеу нысанына талдау жасалынды.

Айқын емес ортада технологиялық кешеннің математикалық сипатын жетілдіру кезінде, expertтер көрсеткішті көлемдік бағалай алмаған жағдайда, expertтік бағалау әдісін пайдалану мәселелері зерттелді. Лингвистикалық тәсіл негізінде, сапалы ақпарат көмегімен айқын емес ортада expertтік сауалнаманы ұйымдастырып жүргізуге мүмкіндік беретін expertтік бағалау әдісі қарастырылды.

Жинаған сапалы ақпарат және зерттеу нәтижелері негізінде реактордың математикалық моделі құрылып, құрылған модель негізінде технологиялық жүйенің тиімді жұмыс режимін таңдау үшін басқару тапсырмалары қалыптастырылды. Алынған expertтік ақпарат негізінде каталитикалық крекинг блогы реакторының кірістік параметр жұмысын сипаттайтын мәліметтер қоры ережесі құрылып лингвистикалық айнымалылары жасақталды.

Айқын емес ортада каталитикалық крекинг құрылғы қондырғысының технологиялық үрдісін басқару мысалында шешім қабылдаудың көпкритериалдық есебінің математикалық қойылымы алынды. Ұсынылып отырған, маман-expertтердің тәжірибесі мен білімі негізінде алынған алгоритм, шешім қабылдаушы тұлғаға процессті тиімді басқаруға және дұрыс жұмыс режимін таңдауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: Айқын емес логика, expertтік бағалау, шешім қабылдау, оптимизациялау алгоритмі, математикалық модель, каталитикалық крекинг.

Кіріспе

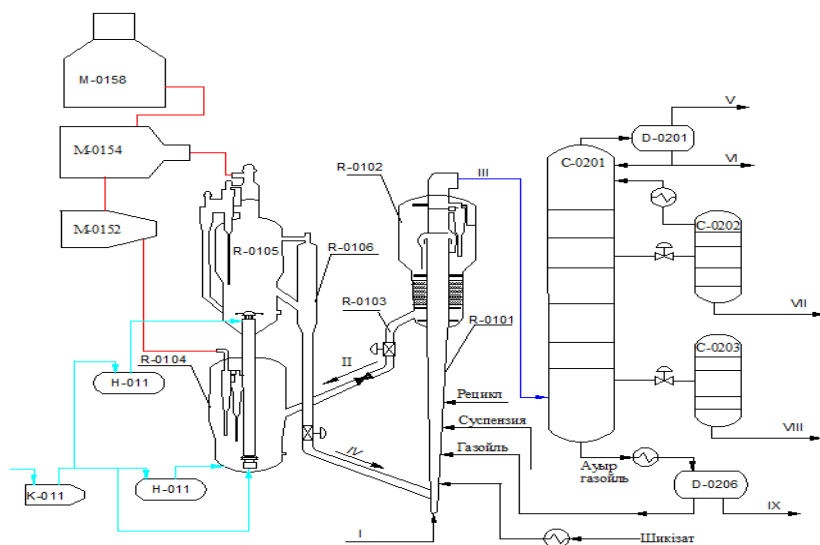
Қазақстанның экономикалық дамуына мұнай өңдеу және мұнай химиялық үрдістері маңызды роль атқарады. Елімізде соңғы жылдары октан саны жоғары бензинге сұраныс

артуда. Қазіргі таңда елімізде жоғары октанды бензинді тұтыну 3,5 млн. тоннаға шаққанда ай сайын 69% құрайды. Қазақстанның МӨЗ көмірсутек газын өңдеу соңғы жылдары біршама артқан 3348 мың.тонн. құрайды. Бұл дегеніміз, жоғары октанды бензинді пайдалану қажеттілігінің қалған 31% шет елдік импорт есебінен жабылады. Осыған байланысты еліміздегі мұнай өңдеу саласының қазіргі жағдайы, октан саны жоғары бензин өндіру көлемін ұлғайту қажеттілігін көрсетіп отыр.

Мұнайды терең өңдеу өндірісінің стратегиялық маңызды үрдістердің бірі ол каталитикалық крекинг қондырғысы болып табылады, оның басты мақсаты жоғары октандық бензин алу [1-4].

Мұнай өңдеу өндірісінің кешендері түрлі процестер (физикалық, физика-химиялық) өтетін өз-ара байланысқан түрлі технологиялық агрегаттардан тұратын күрделі жүйе болып табылады. Технологиялық үрдіс тиімділігін арттыру мақсатында зерттеу мен оптимизациялау үшін олардың қасиеті мен жағдайын, типін және басқа ерекшеліктерін ескеретін математикалық модельдерін құру керек. Мұндай модельдер компьютердің көмегімен, мұнай өңдеу жүйелері мен процестерін зерттеу барысын тездетеді және жеңілдеті алады. Ал зерттеу объектілерін тиімді оптимизациялау үшін, математикалық модельдер негізінде технологиялық кешендердің тиімді жұмыс режимдерін табуға мүмкіндік беретін оптимизациялау алгоритмдері қажет болады.

Мұнайды терең өңдеудің каталитикалық крекинг қондырғысы (ККҚ) технологиялық үрдістері арнайы құрастырылған агрегаттарда жүреді. Шығыстық өнім өзара байланысқан реактор, регенератор, фракциондау колоннасы, сепаратор сияқты технологиялық агрегаттардан тұратын кешеннен алынады сурет 1. Мұнай өңдеу өндірісінде мұндай кешен технологиялық қондырғы деп аталады. Осылайша, мұнайды өңдеу, шикі мұнайды өңдеуге дайындау, мұнай өнімін терең өңдеу сияқты үрдістерден тұратын, технологиялық қондырғыларда мұнай өңдеу зауыттарының (МӨЗ) физикалық және физика-химиялық үрдістерді жүзеге асыратын жиындардан тұрады [5].



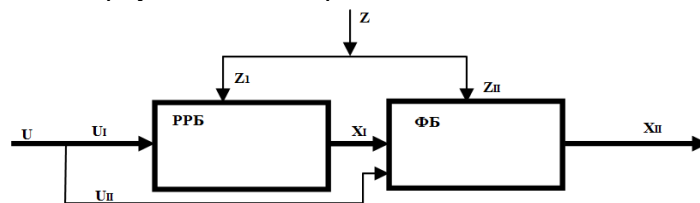
Сурет 1 – Каталитикалық крекинг қондырғысының технологиялық сұлбасы

R0101 – лифт-реактор, R0102 – реактор-сепаратор; R0104 – регенератордың I сатысы; R0105 – регенератордың II сатысы, C0201 – ректификациондау колоннасы; I – шикізат; II – коскатланған катализатор; III – реактордан шыққан өнім; IV – регенерацияланған катализатор; V – газ; VI – қышқыл су; VII – бензин; VIII – газойль; IX – 343°C жоғары қалдық

Каталитикалық крекинг үрдісінің негізгі параметрлері температура, қысым, шикізатты берудің көлемдік жылдамдығы, катализатор белсенділігі болып табылады. Барлық типтік қондырғыларда каталитикалық крекинг температура 470-550°C кезінде, қысымы 0,27 МПа, қондырғының типіне қарай шикізатты беру жылдамдығы (лифт-реакторлада) – 80-120 м³/шикізат; қайнау қабатымен жүйеде – 1-30 м³/шикізат жүреді. Катализатордың регенерациялау температурасы 600-760°C құрайды сурет 2 [5, 6].

Технологиялық қондырғыны басқару мақсаты оның тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету. ККҚ басқару есебін шешу оның негізгі агрегаттары реактор блогы мен фракциондау бөлігін (сурет 2) басқару есебіне әкеледі. Олар U – басқарушы әсер факторы, Z – ауытқу векторы, X – шығыстық шама векторы (критерийлер мен шектеулер компоненті). Реактор-регенератор

блогы (РРБ) мен фракциондау блогы (ФБ) арасындағы байланыс шикізат бойынша жүзеге асады: РРБ шығысында көмірсутекті газ ФБ үшін шикізат болып табылады.



Сурет 2 – Басқару нысаны ретінде КҚЖ жалпыланған құрылымдық сұлбасы

КҚЖ басқару нысаны ретінде кірістік және шығыстық айнымалылармен, басқарушы және ауытқу әсерімен (координаталар) сипатталады.

Шығыстық координаталар – ол критерийлер мен шектеулердің бақыланылатын компоненттері, ал аралық ол – кірістік әсерден тәуелді және шығыстық айнымалыларға әсер ететін параметрлер. Аралық координаталар – пеш, реактор мен регенератор араларын байланыстырып тұратын материалдық және энергетикалық ағынмен сипатталады. Оларға өнім көлемі мен оның температурасы, реактор – регенераторындағы қайнау қабатының деңгейі мен темеператруасы, циркуляцияланатын катализатор шығыны мен катализатордағы кокс көлемі жатады.

Материалдар мен әдістер.

Заманауи мұнай өңдеу өндірістері жүретін үрдіс өз-ара байланысқан, көп режимді ішкі жүйелермен сипатталады.

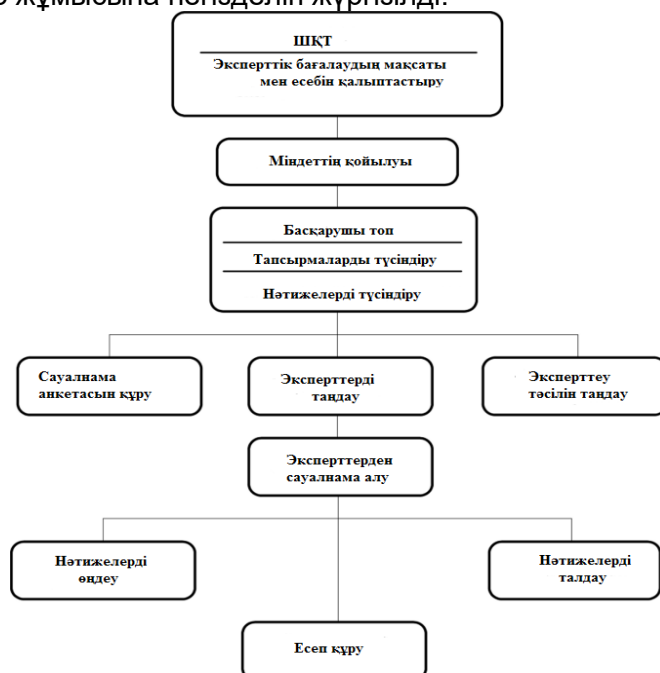
Мұнай өңдеудің технологиялық жүйесіне жүйелік математикалық модельдеу әдісін пайдалану кезінде нақты модельдеу мақсатын анықтап алу қажет. Шынайы қалыптасқан жүйені толық құру мүмкін емес – қойылған мәселеге қарай мұнай өңдеудің зерттелетін технологиялық қондырғысының математикалық моделі құрылады [7, 8].

Өр-түрлі қолданбалы есептерді шешу әдістерінің бірі модельдеу және математикалық әдістерді пайдалану болып табылады. Көптеген есептерді толық талдап математикалық формализациялау және күрделі жүйелерді басқару, өндірістік нысандардың күрделілігі мен ақпараттың сапалы сипатымен жүзеге асыру мүмкін болмайды. Өндірістің дамуымен қатар оларды басқару күрделілігі өсіп қана қоймай, шешім қабылдау сапасына да талап күшейеді. Олардың нәтижесіне әсер ететін көптеген факторларды ескеріп шешім негізін жоғарлату үшін жетекші мамандардың, шешім қабылдайтын тұлға (ШҚТ) пікірлеріне дәлел, есептік түрде негізделген талдау қажет. Мамандардан келіп түскен ақпаратты алып өңдеу әдісінің бірі эксперттік бағалау болып табылады [9, 10].

Эксперттік бағалау тәсілінің әдістемелік негізі маман эксперттерден қажетті ақпаратты (сапалы бағаланаған түрде) алып, өңдеп және жиналған ақпаратты дайындап шешім қабылдаумен қорытындыланады. Көрсеткіштердің көпмәнділігі, көпөлшемділігі және сапалы өр-түрлілігі нысанның, жүйенің бағаланатын тиімділігіне қатысты шынайы кедергілер болып табылады. Мұндай жағдайда есептеулерді пайдалану мамандардың, ШҚТ пікірі негізінде жүзеге асады. Мәселенің қаншалықты күрделілігін сезіну, түсіну ШҚТ айқын емес жағдайда альтернативті көрсеткіш шамасын бағалауда, неғұрлым тиімді шешім қабылдауына мүмкіндік береді.

Элемент жиынтығы мен олардың арасындағы байланыс жүйе құрылымы жөнінде түсінік береді. Өндірістік жүйені математикалық негіздеуде жекелеген функциялар, яғни жүйеде жүретін үрдіс алгоритімі қарастырылады. Мұндай құрылым негіздемесі мақсатқа жетуге әкелетін функционалдық амалдарды, жүйе орындайтын бағалаушы функцияларды пайдаланғанда жүзеге асады. Кейбір салыстыру эталлондары болған жағдайда жүйенің сапалық және көлемдік сипаттамасын енгізуге болады. Көлемдік сипаттаманы енгізу үшін эталлон мен берілген сипаттама арасындағы қатынасты білдіретін сан енгізіледі. Жүйенің сапалық сипаттамасы эксперттік бағалау әдісі және айқын емес жиындар теориясы көмегімен анықталынады [11]. Өндірістік жағдайда көбінесе эксперттерге жағдайды, тәуелділікті, көлемдік параметрлер әсерін бағалауда қиындық туындайды. Мұндай жағдайларда айқын емес ортада эксперттік бағалауды жүргізуге тура келеді, яғни сапалық сараптама.

Эксперттік бағалауды келесідей негізгі этаптарға бөлуге болады (сурет 3). Технологиялық нысанның оптималды жұмыс режимін таңдау үшін шешім қабылдау үрдісінің негізі [12, 13] авторлар жұмысына негізделіп жүргізілді.



Сурет 3 – Эксперттік бағалаудың негізгі этаптарының құрылымдық сұлбасы

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. 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 қолданылады [14].

Эксперттік бағалау негізінде зерттелінетін нысан туралы жалпыланған ақпарат алынып, эксперттерге мақсат ретінде берілген нәтиже алынады. Эксперттердің жекелеген бағалауларын өңдеу кезінде сапалы (айқын емес) тәсілдер қолданылады. Белгілі бір тәсілді таңдау шешілетін мәселенің күрделілігіне, формасына, эксперттердің пікірлеріне сүйеніп алынады. Көп жағдайларда сауалнама нәтижелерін өңдеуде математикалық статистикалық тәсіл қолданылды.

1. Қалыптастыру қорытындысын бағалау. Эксперттер тобы белгілі бір нысанды бағалады делік, онда $x_j - j$ -ші экспертті бағалау, $j = \overline{1, m}$, мұнда m – эксперттер саны.

Сонымен эксперт тобының дәлдік бағалауы, орташа арифметика түрінде есептейміз:

$$x_{\text{э}} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m} \quad (1)$$

2. Нысанның қаншалықты маңыздылығын анықтау. Мұнда алып отырған фактордың қаншалықты маңыздылығы бағаланады. Бұл жағдайда әр-бір фактор салмағы (маңыздылығы) анықталынады. $x_{ij} - j$ -шы экспертпен i -ші факторды бағалау, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, n – салыстыратын факторлар саны, m – эксперттер саны. Бұл жағдайда барлық эксперттердің бағалауы (w_i) тең болады:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{m}, \quad (2)$$

мұнда w_{ij} – j -ші эксперттің бағалауы бойынша i -ші нысанның салмағы.

3. Эксперт пікірлерінің шартты үйлесімділік дәрежесі. Бірнеше эксперттердің ой пікірлері бір жерден шықпау мүмкін, бірақ ол айырмашылық шамасының маңызы зор. Топтық бағалау жекелеген мамандардың жауаптары бір жерден шыққан жағдайда ғана дәйекті болып саналады.

$$R = x_{\max} - x_{\min},$$

мұнда $x_{\max}$, $x_{\min}$ – нысанды максималды және минималды бағалалулар.

Орташа квадраттық ауытқуын анықтаймыз:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_{j\bar{x}} - \bar{x})^2}{m-1}} \quad (3)$$

мұнда x_j – j -ші эксперттің бағалауы; m – эксперттер саны.

Вариация коэффициенті (V), пайызбен өрнектеледі:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}_9} * 100\% \quad (4)$$

Эксперттік тәсілдерді қолданғанда әдетте бірден эксперттердің ой-пікірлері сәйкес келмейді. Сондықтан эксперттердің ой-пікірлерінің келісушілік (сәйкестік) өлшемін сандық бағалау және сәйкес келмеу себептерін анықтау қажет болады. Өрине, келусішілік өлшемі (шамасы) эксперттер тобының статистикалық деректері негізінде анықталады. Шамалар – *1ден +1ге* дейінгі диапазонда өзгеруі мүмкін. Толық үйлесімділік кезінде бағалау коэффициенті бірге тең.

Басқару құрылғысының y – шығыстық; $x = (x_1, \dots, x_n)$ – кірістік параметрлері. $x_i (i = \overline{1, n})$ үшін детерминді шама береміз, ал y -ке айқын емес шама береміз. Көрсетілген айнымалылар арасындағы математикалық тәуелділікті айқын емес регрессия теңдеуімен өрнектейміз:

$$\tilde{y}_j = \tilde{f}_j(x_1, \dots, x_n) \quad (5)$$

мұнда $\sim$ – айқын емес оператор.

Эксперттік бағалау нәтижесінде $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}, y_i)$ кірістік (шығыстық) айнымалыларының N шамасы алынды.

Идентификациялау тәсілі. Идентификациялаудың бастапқы этапында анықталынатын шама үрдістің сапалы талдауынан тұрады. Ал екінші этапта зерттелінетін нысанның талап етілетін қасиетін қамтамасыз ететін, бағалау тәсілін таңдау негізгі міндет болып табылады.

Регрессия жиынының айқын емес теңдеуі түрінде бейнеленген, математикалық модельді қарастырамыз:

$$\tilde{y}_j = \tilde{a}_{0j} + \sum_{i=1}^n \tilde{a}_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ijk} x_{ij} x_{kj}, \quad j = \overline{1, m} \quad (6)$$

мұнда $\tilde{y}_j$ – жүйенің айқын емес шығыстық параметрлері (локальды критерийлер); x_{ij} , x_{kj} – модельдейтін жүйенің өлшенетін кірістік параметрлері (басқарушы әсер); $\tilde{a}_{0j}, \tilde{a}_{ij}, \tilde{a}_{ikj}$ – бағаланатын айқын емес коэффициенттер.

Деңгей жиын түсінігін пайдалану, айқын емес регрессия теңдеуін қарапайым регрессия теңдеуіне келтіреді. Мұндай тәсіл көрсетілген есептерді шешу үшін классикалық регрессия әдісін пайдалануға мүмкіндік береді [15, 16].

Нәтижелер мен талқылау

Эксперименттік-статистикалық және эксперттік мәліметтерді өңдеу нәтижесінде, сондай-ақ айқын емес ортада модельдеу тәсілі негізінде регрессорларды тізбектей қосу тәсілінің идеясын қолдана отырып (структуралық идентификациялау), *R-0101* крекингтеу

реакторының модельдері болатын, келесі жиынтық айқын емес регрессия теңдеу жүйесі алынды [17]:

$$\tilde{y}_j = \tilde{a}_{0j} + \sum_{i=1}^5 \tilde{a}_{ij} x_{ij} + \sum_{l=1}^5 \sum_{j=1}^5 \tilde{a}_{ijk} x_{ij} x_{kj}, \quad j = \overline{2,4} \quad (7)$$

мұнда $\tilde{y}_2$ – крекинг өнімі құрамындағы қанықпаған көмірсутектер (1%-дан артық емес ($\lesssim$));

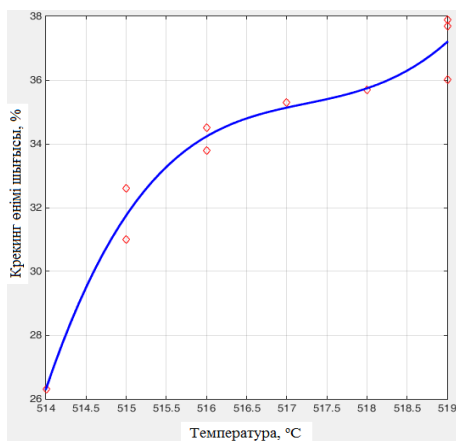
$\tilde{y}_3$ – крекинг өнімі құрамындағы күкірт ($\lesssim 0,00005\%$);

$\tilde{y}_4$ – крекинг өнімі құрамындағы суда еритін қышқылдар мен сілтілер (шамамен ($\cong$) 0%); x_1 – шикізат-тікелей айдалған бензин ($45 \div 80 \text{ м}^3/\text{сағ}$); x_2 – реактордағы қысым ($20 \div 35 \text{ кг/см}^2$); x_3 – температура ($500\text{-}510^\circ\text{C}$); x_4 – шикізат берудің көлемдік жылдамдығы ($0,5\text{-}тен\ 5 \text{ сағ}^{-1}$ дейін); x_5 – СҚГ айналымы – сутек/көмірсутек қатынасы ($200 \div 500 \text{ нм}^3, 1 \text{ м}^3$ шикізаттағы айналымды газ); $\tilde{a}_{0j}, \tilde{a}_{ij}, \tilde{a}_{ijk}$ – регрессияның анықталатын айқын емес коэффициенттері, рет бойынша: бос мүше; сызықтық әсер $x_{ij}, i=\overline{1,5}, j=\overline{1,4}$; квадратты және өз-ара әсер $x_{ij}, x_{kj}, i,k=\overline{1,5}, j=\overline{1,4}$ жақшаларда параметрлердің мүмкін болатын және қажетті мәндері көрсетілген.

Зерттеу және мәліметтер жинау барысында реактордың шығысындағы крекинг өнімі көлемін (y_1) бағалауға жеткілікті статистикалық мәліметтер алынды. Сондықтан y_1 ($43\text{-}78 \text{ м}^3/\text{сағ}$) мен кіріс, режимдік параметрлер $x_i, i=\overline{1,5}$ арасындағы математикалық байланыс жиынтық корреляция тәсілі арқылы анықталды. Крекинг өнімі көлемінің – y_1 (R-0101 реакторының шығысы) кіріс-режимдік параметрлерінен ($x_i, i=\overline{1,5}$) математикалық байланысы сызықтық емес жиынтық регрессия тәсілімен анықталды. Оның нөлдік (немесе нөлге жақын) коэффициенттері бар қосындыларды алып тастаған соң құрылымы келесідей:

$$\begin{aligned} y_1 = f_1(x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{51}) = & 7.00 + 0.233x_{11} + 0.130x_{21} + 0.011x_{31} + 2.333x_{41} - 0.0175x_{51} \\ & + 0.0031x_{11}^2 + 0.0048x_{21}^2 + 0.00003x_{31}^2 + 0.7778x_{41}^2 - 0.00004 \cdot x_{51}^2 + 0.0017x_{11}x_{21} \\ & + 0.00015x_{11}x_{31} + 0.03111x_{11}x_{41} - 0.00023x_{11}x_{51} + 0.08642 \cdot x_{21}x_{41} - 0.00065 \cdot x_{21}x_{51} \\ & + 0.00730 \cdot x_{31}x_{41} \end{aligned}$$

Келтірілген теңдеулердегі белгісіз айқын емес коэффициенттерді $\tilde{a}_{ij}, i=\overline{0,5}, j=\overline{2,5}$ және $\tilde{a}_{ijk}, i=\overline{1,5}, k=\overline{1,5}, j=\overline{2,5}$ идентификациялау үшін, өнімнің сапа көрсеткіштерін сипаттайтын айқын емес жиындар келесі α -деңгейлі жиындарға бөлінді: $\alpha = 0,5; 0,85; 1$. Таңдап алынған деңгейге байланысты кіріс $x_{ij}, i=\overline{1,5}, j=\overline{1,5}$ және шығыс $\tilde{y}_2, \tilde{y}_3, \tilde{y}_4$ параметрлердің әр $\alpha_q (q=\overline{1,3})$, деңгейдегі мәндері бақыланды. Жиынтық регрессияның айқын емес теңдеулерінің әр α_q деңгейлерін, яғни R-0101 реакторының өнім сапасын анықтайтын модельдер жүйесі анықталды. Алынған өрнектер жиынтық регрессияның теңдеулер жүйесі болғандықтан, олардың коэффициенттерін $a_{ij}^{\alpha_q}, i=\overline{0,5}, j=\overline{2,4}, q=\overline{1,3}$ идентификациялау есептері, жиынтық регрессиялардың параметрлерін бағалаудың классикалық есептері ретінде шешіледі. Соңғы есептерді шешу үшін жиынтық регрессияның белгілі алгоритмдері мен ЭЕМ-ның математикалық қамтамасыздандыруына кіретін стандартты программаларын қолдану арқылы, крекинг өнімі шығысының реактор температурасына байланысын сипаттайтын графигі алынды (сурет 4).



Сурет 4 – Крекинг өнімі шығысының реактор температурасына байланысы

Параметрлердің ішінен (катализатор көлемін көбейту, мақсаттық өнім көлемінің азаюы, т.б.) біреуінің өзгерісі барлық қалған параметрлердің өзгерісіне әкеледі, ол өз кезегінде қондырғы жұмыс режимі регламентінің өзгерісіне әкелуі мүмкін.

Реактор-регенераторының экспериментті-статистикалық және эксперттік мәліметтерін өңдеу арқылы, сонымен қатар регрессорлардың тізбектей қосылу әдісін пайдаланып, айқын емес модель (АЕМ) [19] және логикалық модель (ЛМ) [20] алгоритмі негізінде айқын емес ортада математикалық модельді синтездеу арқылы келесідей жиынтықты, сапалы регрессия және шартты логикалық қорытындылау жүйе құрылымы алынды.

$$y_1^{R01} = a_0 + \sum_{i=1}^5 a_i x_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{k=i}^5 a_{ik} x_i x_k \quad (8)$$

$$y_1^{R02} = a_0 + \sum_{i=1}^5 a_i x_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{k=i}^5 a_{ik} x_i x_k \quad (9)$$

$$y_1^{R04} = a_0 + \sum_{i=1}^5 a_i x_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{k=i}^5 a_{ik} x_i x_k \quad (10)$$

$$\tilde{y}_j = \tilde{a}_{0j} + \sum_{i=1}^5 \tilde{a}_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \tilde{a}_{ijk} x_{ij} x_{kj}, \quad j = \overline{1,2} \quad (11)$$

$$\tilde{y}_j = \tilde{a}_{0j} + \sum_{i=1}^5 \tilde{a}_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \tilde{a}_{ijk} x_{ij} x_{kj}, \quad j = \overline{3,7} \quad (12)$$

мұнда $y_1^{R01}, y_1^{R02}, y_1^{R04}$ – рет бойынша, R-01, R-02 және R-04 реактор-регенератор шығысындағы катализат көлемі;

$y_j, j=1,2$ – рет бойынша, отындық газ және СҚГ көлемі;

$\tilde{y}_j, j = \overline{3,7}$ – крекинг өнімінің сапа көрсеткіштері, рет бойынша, октандық саны ($\tilde{y}_3$

– мотор тәсілі бойынша 86 кем емес), фракциялық құрам (бастапқы қайнау температурасы $\tilde{y}_4$ -350°C кем емес, соңғы қайнау температурасы $\tilde{y}_5$ - 500°C артық емес), құрамында күкірттің үлесі ($\tilde{y}_6$ – 0.5% мас, артық емес), 100 мл.

Реактор шығысындағы катализат ($y_1^{R01}, y_1^{R02}, y_1^{R04}$) және СҚГ көлемін (y_2) анықтайтын модельдерді параметрлік идентификациялау нәтижелері (2.21) – (2.22) түрінде келтірілген:

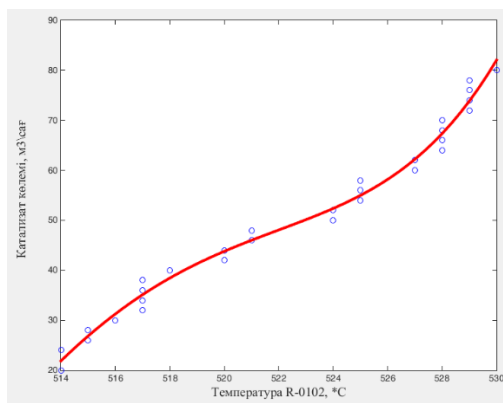
$$y_1^{R01} = f_1(x_1, x_2, \dots, x_5) = 0.39848x_1 + 12.15385x_2 + 0.03211x_3 - 0.98375x_4 + 0.01975x_5 + 0.00494x_1^2 + 9.34911x_2^2 - 0.00007x_3^2 - 0.03792x_4^2 + 0.00005x_5^2 + 0.22788x_1x_2 + 0.0001x_1x_3 + 0.00197x_1x_4 + 0.00049x_1x_5 + 0.03705x_2x_3 - 0.48615x_2x_4 - 0.00064x_3x_4 \quad (13)$$

$$y_1^{R02} = f_1(x_1, x_2, \dots, x_5) = 0.39500x_1 + 12.10769x_2 + 0.03186x_3 - 0.98375x_4 + 0.01967x_5 + 0.00504x_1^2 + 9.31361x_2^2 - 0.00006x_3^2 - 0.04099x_4^2 + 0.00005x_5^2 + 0.22989x_1x_2 - 0.00010x_1x_3 + 0.00207x_1x_4 + 0.00049x_1x_5 \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
& + 0.03676x_2x_3 - 0.50448x_2x_4 - 0.00066x_3x_4 \\
y_1^{R04} = f_1(x_1, x_2, \dots, x_5) = & 0.39898x_1 + 12.07692x_2 + 0.03158x_3 - 1.02391x_4 + \\
& + 0.01962x_5 + 0.00507x_1^2 + 9.28995x_2^2 - 0.00006x_3^2 - 0.04452x_4^2 + \\
& + 0.00005x_5^2 + 0.23018x_1x_2 - 0.00010x_1x_3 + 0.00217x_1x_4 + 0.00049x_1x_5 + \\
& + 0.03645x_2x_3 - 0.52508x_2x_4 - 0.00068x_3x_4
\end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_5) = & 500.0x_1 + 7142.8571x_2 + 10.101x_3 - 1458.3333x_4 + \\
& + 25.0x_5 + 6.25x_1^2 + 5102.0408x_2^2 + 0.0204x_3^2 - 60.7639x_4^2 + 0.0625x_5^2 + \\
& + 178.5714x_1x_2 + 0.2525x_1x_3 - 15.625x_1x_4 + 15.625x_1x_5 - 297.619x_2x_4 - \\
& + 2.5252x_3x_4 - 0.05051x_3x_5 - 1.0417x_4x_5
\end{aligned} \tag{16}$$

2.5-суретінде тізбектегі соңғы R-0102 реактор шығысындағы катализат көлемінің реактор температурасына қатынасы графигі тұрғызылған.



Сурет 5 – Катализат көлемінің реактор температурасына тәуелділігі

Қондырғыны басқару кезінде ШҚТ өзінің тәжірибесіне сүйенеді. Себебі реактор-регенератордағы температура шамасы өте жоғары жылдамдықпен өзгеруі мүмкін (минутына 20°C дейін), ол ШҚТ дер кезінде, қатесіз әрекетін қажет етеді. Сол себепті ККҚ басқаруда ШҚТ қалыптасқан (формализованный) жұмыс тәжірибесін пайдаланған тиімді. Жүргізілген эксперттік сауалнама мен бағалау нәтижелері қажетті параметрлерін өзгерте отырып, технологиялық үрдіс жүрісін дұрыс бағалауға мүмкіндік береді.

Келтірілген ККҚ негізгі агрегаттарының модельдері көмегімен кіріс параметрлерінің шығыс параметрлеріне, яғни өнімнің көлемі мен сапа көрсеткіштеріне әсерін модельдеу арқылы мақсатты өнімнің (жоғары сапалы бензин компоненттерінің) көлемі мен сапасын арттыратын режимді анықтауға болады.

Қорытынды

ККҚ мысалында технологиялық жүйені жүйелік модельдеу үшін модельдер кешені пакетін жасақтау сұрақтары зерттелінді, модельдер кешенін құру критерийлер анықталынды және ККҚ технологиялық кешенінің әрбір агрегаттарының тиімді модельдер типі таңдалынып, соның негізінде кесте тұрғызылды. Модельдер кешенін тұрғызу әдісі, лингвистикалық тәсіл негізінде, қолжетімді түрлі сипаттағы ақпаратты ескере отырып, әр-түрлі типтегі (детерминделген, статистикалы, айқын емес, аралас) агрегат моделін құру және оларды бір пакетке жасақтау ұсынылды. Ұсынылған тәсіл ККҚ негізгі агрегаттарының модельдер пакетін құру кезінде жүзеге асырылды.

Айқын емес кірістік және шығыстық параметрлер жағдайында, мұнай өңдеу технологиялық кешені ККҚ технологиялық үрдісін тиімді басқару алгоритмі жасақталынып, айқын емес ортада технологиялық кешеннің математикалық сипатын жетілдіру кезінде, эксперттер көрсеткішті көлемдік бағалай алмаған жағдайда, эксперттік бағалау әдісін пайдалану мәселелері зерттелді. Лингвистикалық тәсіл негізінде, сапалы ақпарат көмегімен айқын емес ортада эксперттік сауалнаманы ұйымдастырып жүргізуге мүмкіндік беретін эксперттік бағалау әдісі ұсынылды.

Крекингтеу үрдісі негізгі параметрлерінің өңделетін өнім – катализаттың сандық және сапалық әсері зерттелінді. Зерттеу нәтижелері мен жиналған сандық және сапалы ақпаратты

өңдеу бойынша R-0101, R-0102, R-0104, R-0105 реактор-регенераторларының құрама модельдері құрылды.

Әдебиеттер тізімі

1. Оразбаева К.Н. Мұнай өңдеу және мұнай химиясы кешендерінің тиімділігін арттыру тәсілдері / К.Н. Оразбаева, Б.Б. Оразбаев, Д.О. Кожакметова. – Алматы: Эверо, 2018. – 263 б.
2. Сериков Т.П. Современное состояние технологии переработки нефти Казахстана / Т.П. Сериков, З.Ф. Серикова, К.Н. Оразбаева. – Атырау; Ақтобе: Ер-Тостик-А-Полиграфия, 2008. – 206 с.
3. Измагамбетова Д.З. Современное состояние нефтегазовой отрасли в Республике Казахстан / Д.З. Измагамбетова // Молодой ученый. – 2018. – № 39 (225). – С. 72-75.
4. Карибаев А.А. Эконометрические методы моделирования планирования и прогнозирования добычи и реализации нефти и газа: научная монография / А.А. Карибаев. – М.: МАЭИБ, 2017. – С. 115.
5. Комплекс глубокой переработки нефти на Атырауском НПЗ. Технологический регламент установки каталитического крекинга нефтяных остатков в кипящем слое R2R / ТОО «Атырауский НПЗ». – Атырау, 2017. – 480 с.
6. Золотухин В.А. Новая технология для переработки тяжелой нефти и осадков нефтеперерабатывающих производств / В.А. Золотухин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2004. – № 10. – С. 8-11.
7. Марков Е.П. Формализация и переработка качественной информации в задачах моделирования и оптимизации химико-технологических процессов: на примере стекловаренной печи: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – М., 1981. – 178 с.
8. Надиров Н.К. Исследование экономико-экологических критериев установки каталитического риформинга, формализация задачи оптимизации и разработка алгоритма ее решения / Н.К. Надиров, К.Н. Оразбаева // Нефть и газ. – 2007. – № 2. – С. 86-93.
9. Рыков А.С. Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации / А.С. Рыков. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2009. – 608 с.
10. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии: применение нечетких множеств / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, Е.П. Марков. – М.: Наука, 1986. – 361 с.
11. Курмангазиева Л.Т. Организация и проведение экспертных оценок для разработки математических моделей технологических объектов нефтепереработки / Л.Т. Курмангазиева // Вестник КазНТУ им. К. Сатпаева. – 2008. – № 2. – С. 114-119.
12. Павлов А.Н. Методы обработки экспертной информации: учеб.-метод. пос. / А.Н. Павлов, Б.В. Соколов. – СПб.: ГУАП, 2005. – 45 с.
13. Карданская Н.Л. Принятие управленческого решения / Н.Л. Карданская. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 257 с.
14. Волкова В.Н. Моделирование систем и процессов / В.Н. Волкова. – М.: Юрайт, 2015. – 449 с.
15. Данелян Т.Я. Формальные методы экспертных оценок / Т.Я. Данелян // Экономика, Статистика и Информатика. – 2015. – № 1. – С. 183-188.
16. Оразбаев Б.Б. Методы моделирования и принятия решений для управления производством в нечеткой среде / Б.Б. Оразбаев, Астана, ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, 2016. – 350 с.
17. Валеев С.Т. Регрессионное моделирование при обработке наблюдений / С.Т. Валеев. – М.: Наука, 1991. – 272 с.
18. Рыков А.С. Системный анализ и исследование операций: методы исследования систем и разработки математических моделей в нечеткой среде / А.С. Рыков, Б.Б. Оразбаев. – М.: МИСиС, 1995. – 112 с.
19. Оразбаева К.Н. Теория и практика методов нечетких множеств / К.Н. Оразбаева. – Алматы: Бастау, 2014. – 488 с.
20. Оразбаева К.Н. Каталитикалық риформинг қондырғы-сының гидротазалау блогының негізгі агрегаттарының модельдерін құру // АТМГИ хабаршысы. – 2006. – № 8-9. – С. 85-92.

References

1. Orazbaeva K.N. Mұnai өңдеу zhәне mұnai khimiyasy keshenderiniң tiimdiligini arttyru tәsilderi / K.N. Orazbaeva, B.B. Orazbaev, D.O. Kozhakhmetova. – Almaty: Ehvero, 2018. – 263 b. (In Kazakh).

2. Serikov T.P. Sovremennoe sostoyanie tekhnologii pererabotki neftei Kazakhstana / T.P. Serikov, Z.F. Serikova, K.N. Orazbaeva. – Atyrau; Aktobe: Er-Tostik-A-Poligrafiya, 2008. – 206 s. (In Russian).
3. Izmagambetova, D.Z. Sovremennoe sostoyanie neftegazovoi otrasli v Respublike Kazakhstan / D.Z. Izmagambetova // Molodoi uchenyi. – 2018. – № 39 (225). – S. 72-75. (In Russian).
4. Karibaev A.A. Ehkonometricheskie metody modelirovaniya planirovaniya i prognozirovaniya dobychi i realizatsii nefti i gaza: nauchnaya monografiya / A.A. Karibaev. – M.: MAEhIB, 2017. – s. 115. (In Russian).
5. Kompleks glubokoi pererabotki nefti na Atyrauskom NPZ. Tekhnologicheskii reglament ustanovki kataliticheskogo krekinga neftyanykh ostatkov v kipyashchem sloe R2R / TOO «Atyrauskii NPZ». – Atyrau, 2017. – 480 s. (In Russian).
6. Zolotukhin V.A. Novaya tekhnologiya dlya pererabotki tyazheloi nefti i osadkov neftepererabatyvayushchikh proizvodstv / V.A. Zolotukhin // Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2004. – № 10. – S. 8-11. (In Russian).
7. Markov E.P. Formalizatsiya i pererabotka kachestvennoi informatsii v zadachakh modelirovaniya i optimizatsii khimiko-tekhnologicheskikh protsessov: na primere steklovarennoi pechi: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.06. – M., 1981. – 178 s. (In Russian).
8. Nadirov N.K. Issledovanie ehkonomiko-ehkologicheskikh kriteriev ustanovki kataliticheskogo riforminga, formalizatsiya zadachi optimizatsii i razrabotka algoritma ee resheniya / N.K. Nadirov, K.N. Orazbaeva // Neft' i gaz. – 2007. – № 2. – S. 86-93. (In Russian).
9. Rykov A.S. Sistemnyi analiz: modeli i metody prinyatiya reshenii i poiskovoi optimizatsii / A.S. Rykov. – M.: Izdatel'skii Dom MISIS, 2009. – 608 s. (In Russian).
10. Kafarov V.V. Sistemnyi analiz protsessov khimicheskoi tekhnologii: primenenie nechetkikh mnozhestv / V.V. Kafarov, I.N. Dorokhov, E.P. Markov. – M.: Nauka, 1986. – 361 s. (In Russian).
11. Kurmangazieva L.T. Organizatsiya i provedenie ehkspertnykh otsenok dlya razrabotki matematicheskikh modelei tekhnologicheskikh ob"ektov neftepererabotki / L.T. Kurmangazieva // Vestnik KaZNTU im. K. Satpaeva. – 2008. – № 2. – S. 114-119 s. (In Russian).
12. Pavlov A.N. Metody obrabotki ehkspertnoi informatsii: ucheb.-metod. pos. / A.N. Pavlov, B.V. Sokolov. – SPb.: GUAP, 2005. – 45 s. (In Russian).
13. Kardanskaya N.L. Prinyatie upravlencheskogo resheniya / N.L. Kardanskaya. – M.: YUNITI, 1999. – 257 s. (In Russian).
14. Volkova V.N. Modelirovanie sistem i protsessov / V.N. Volkova, M.: Yurait, 2015. – 449 s. (In Russian).
15. Danelyan T.YA. Formal'nye metody ehkspertnykh otsenok / T.YA. Danelyan // Ehkonomika, Statistika i Informatika. – 2015. – № 1. – S. 183-188. (In Russian).
16. Orazbaev B.B. Metody modelirovaniya i prinyatiya reshenii dlya upravleniya proizvodstvom v nechetkoi srede / B.B. Orazbaev. – Astana, ENU im. L.N. Gumileva, 2016. – 350 s. (In Russian).
17. Valeev S.T. Regressionnoe modelirovanie pri obrabotke nablyudenii / S.T. Valeev. – M.: Nauka, 1991. – 272 s. (In Russian).
18. Rykov A.S. Sistemnyi analiz i issledovanie operatsii: metody issledovaniya sistem i razrabotki matematicheskikh modelei v nechetkoi srede / A.S. Rykov, B.B. Orazbaev. – M.: MISIS, 1995. – 112 s. (In Russian).
19. Orazbaeva K.N. Teoriya i praktika metodov nechetkikh mnozhestv / K.N. Orazbaeva, Almaty: Bastau, 2014. – 488 s. (In Russian).
20. Orazbaeva K.N. Katalitikalyқ riforming qondyrғы-synың gidrotazalau blogynың negizgi agregattarynың model'derin qyru / K.N. Orazbaeva // ATMGI khabarshysy. – 2006. – № 8-9. – S. 85-92. (In Kazakh).

Д.О. Кожаметова*, А.Ж. Адылканова, Р.Н. Назаров

Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Республика Казахстан, ул. Глиники, 20 А
*e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ В НЕЧЕТКОЙ СРЕДЕ

В статье рассмотрены методы моделирования в многокритериальных условиях для оптимизации управления установкой каталитического крекинга. Приведены пути повышения

эффективности технологических комплексов глубокой переработки нефти путем принятия решений на основе математического моделирования. Сформированы и получены математические постановки задачи оптимизации технологических систем на примере оптимизации режимов работы установки каталитического крекинга на основе методов теорий нечетких множеств и экспертной оценки, разработаны их решения.

На основе собранной качественной информации и результатов исследований создана математическая модель реактора и на основе созданной модели сформированы задачи управления по выбору эффективного режима работы технологической системы. На основе полученной экспертной информации созданы правила базы данных, описывающие работу входных параметров блока реактора каталитического крекинга.

Ключевые слова: нечеткая логика, экспертная оценка, принятие решения, алгоритм оптимизации, математическая модель, каталитический крекинг.

D. Kozhakhmetova*, A. Adykanova, R. Nazarov

Shakarim University of Semey,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street

*e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru

OPTIMIZATION OF THE OPERATING MODES OF A DEEP OIL PROCESSING PLANT IN A FUZZY ENVIRONMENT

The article considers methods of modeling in multi-criteria conditions for optimization of management of the installation of catalytic cracking. Ways of increase of efficiency of technological complexes of deep oil processing by making decisions on the basis of mathematical modeling have been given. Mathematical formulations of the problem of optimization of technological systems on the example of optimization of operating modes of the catalytic cracking installation on the basis of the methods of the theory of fuzzy sets and expert assessment have been formed and their solutions have been developed.

On the basis of the collected qualitative information and research results, a mathematical model of the reactor was created and on the basis of the created model, management tasks were formed to choose an effective mode of operation of the technological system. Based on the obtained expert information, database rules describing the operation of the input parameters of the reactor reactor catalytic cracking unit have been created.

Key words: fuzzy logic, expert evaluation, decision making, optimization algorithm, mathematical model, catalytic cracking.

Сведения об авторах

Динара Ошановна Кожаметова* – PhD, и.о. ассоциированного профессора кафедры «Автоматизация, информационные технологии и градостроительство»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4327-3899>.

Айнур Жарылкасыновна Адылканова – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматизация, информационные технологии и градостроительство»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: aiko8383@mail.ru.

Рашид Нагимович Назаров – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматизация, информационные технологии и градостроительство»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: naz-2009@yandex.ru/

Авторлар туралы мәліметтер

Динара Ошановна Кожаметова* – PhD, «Автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қалақұрылысы» кафедрасының ассоциирленген профессор міндетін атқарушы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан; e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4327-3899>.

Айнур Жарылкасыновна Адылканова – техника ғылымдарының магистры, «Автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қалақұрылысы» кафедрасының аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан; e-mail: aiko8383@mail.ru.

Рашид Нагимович Назаров – техника ғылымдарының магистры, «Автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қалақұрылысы» кафедрасының аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан; e-mail: naz-2009@yandex.ru.

Information about the authors

Dinara Kozhakhmetova* – PhD, Department of «Automation, Information Technologies and Urban Planning»; University of Semey named after Shakarim; Kazakstan; e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4327-3899>.

Ainur Adilkanova – master of technical sciences, Department of «Automation, Information Technologies and Urban Planning»; University of Semey named after Shakarim; Kazakstan; e-mail: aiko6a8383@mail.ru.

Rashid Nazarov – master of technical sciences, Department of «Automation, Information Technologies and Urban Planning»; University of Semey named after Shakarim; Kazakstan; e-mail: naz-2009@yandex.ru.

Редакцияға енуі 07.06.2024
Өңдеуден кейін түсуі 17.10.2024
Жариялауға қабылданды 21.10.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4\(16\)-4](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-4)

MPHTI: 50.47.29



Б.А. Майлыханова^{1*}, Ш.К. Кошимбаев²

¹Алматинский технологический университет,
050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Толе би, 100

²Satbayev University,
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

*e-mail: bulgyn@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТЬЮ РУДНОТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Аннотация: В статье рассматривается разработка интеллектуальной системы управления электрической мощностью руднотермических печей на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК). Управление электрической мощностью в руднотермических печах является сложной задачей, связанной с необходимостью оптимизации энергопотребления и повышения производительности при минимизации износа оборудования. Предложенная система управления базируется на применении ПЛК в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта, что позволяет осуществлять мониторинг и автоматическое регулирование рабочих параметров печи в реальном времени.

Целью данной работы является создание системы управления, которая способна адаптироваться к изменяющимся условиям работы печи, оптимизируя процесс потребления энергии и улучшая стабильность работы системы. В статье также представлены методы интеграции ПЛК с датчиками, обеспечивающими сбор данных, а также алгоритмы анализа и прогнозирования, основанные на нейросетевых технологиях. Исследование показывает, что внедрение такой системы управления позволяет значительно снизить энергопотребление, уменьшить нагрузку на электрооборудование и улучшить общую эффективность руднотермической печи.

Представлены экспериментальные данные и сравнительный анализ работы печи до и после внедрения интеллектуальной системы управления. Результаты показывают, что интеллектуальная система управления с использованием ПЛК способствует улучшению стабильности процесса, снижению эксплуатационных затрат и увеличению срока службы оборудования.

Ключевые слова. Руднотермические печи, программируемые логические контроллеры (ПЛК), управление электрической мощностью, автоматизация, оптимизация энергопотребления, системы управления, интеллектуальные системы, производственные процессы.

Введение

В условиях глобальной энергосберегающей политики и стремления к повышению эффективности производственных процессов, автоматизация управления крупногабаритными энергетическими установками, такими как руднотермические печи,