

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

ӘОЖ 519.711.3:547.532

Қолжазба құқығында

**ОСПАНОВ ЕРБОЛ АМАНГАЗОВИЧ**

**Өндірістік нысандарды басқарудың интеллектуалдық жүйелерінің  
шешім қабылдау алгоритмдері мен математикалық моделін жете зерттеп  
жасау**

6D070200 – Автоматтандыру және басқару

Философия докторы (PhD)  
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілер  
техника ғылымдарының докторы,  
профессор  
Б.Б. Оразбаев

техника ғылымдарының докторы,  
профессор  
А.Ф. Тузовский  
(Ресей)

Қазақстан Республикасы  
Нұр-Сұлтан, 2019

## МАЗМҰНЫ

<b>НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР</b> .....	4
<b>АНЫҚТАМАЛАР</b> .....	5
<b>БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР</b> .....	8
<b>КІРІСПЕ</b> .....	9
<b>1 ӨНДІРІСТІК НЫСАНДАРДЫ БАСҚАРУ ҮШІН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ ЖАСАҚТАУ МӘСЕЛЕЛЕРІ МЕН ОЛАРДЫ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ</b> .....	16
1.1 Анықсыздық жағдайында эксперт-мамандардың және ШҚТ білімі мен тәжірибесінің негізінде өндірістік жүйелердің математикалық сипаттамасына жүйелі түрде қарау.....	16
1.2 Өндірістік нысандардың (ХТЖ) негізгі сипаттамалары, анықсыздық жағдайында оларды басқару мәселелері мен тәсілдері. Өндірістік жағдайлар.....	18
1.3 Эксперттік бағалау тәсілдерін қолдану. Айқын емес ортада эксперттік бағалауды ұйымдастыру және жүргізу.....	24
1.4 Бензол өндірісінің ХТЖ – зерттеу нысанының жүйелік талдауы және сипаты.....	32
1.5 Бөлімнің қорытындысы.....	35
<b>2 АНЫҚСЫЗДЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНДА ӨНДІРІСТІК НЫСАНДАРДЫң МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ БАСҚАРУ ҮШІН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ТӘСІЛДЕРІ</b> .....	36
2.1 Анықсыздық жағдайында түрлі ақпарат негізінде ХТЖ-дің модельдерін құру тәсілі және бензол өндіру кешені негізгі агрегаттарының модельдерін тұрғызу.....	36
2.2 Көп критерийлі өндірістік жүйелерді басқару үшін шешім қабылдау есептері.....	58
2.3 Айқын емес ортада көп критерийлі нысандарды басқару үшін шешім қабылдау есептерінің қойылымы.....	62
2.4 Айқын емес математикалық бағдарламалау (айқын емес ортадағы ШҚ) есептері мен оларды шешу тәсілдері.....	65
2.5 Бөлімнің қорытындысы.....	89
<b>3 ҚҰРЫЛҒАН МОДЕЛЬДЕР МЕН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ӘДІСТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДАНДЫРЫЛҒАН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІң НЕГІЗГІ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ БЛОКТАРЫ МЕН ҚҰРЫЛЫМЫН ТҰРҒЫЗУ</b> .....	91
3.1 ХТЖ-ні басқару кезінде шешім қабылдауды қолдау үшін интеллектуалды жүйелерді құру тәсілдемесі.....	91
3.2 ХТЖ интеллектуалды басқару жүйесінің құрылымы және оның негізгі функционалдық блоктары.....	93
3.3 Шешім қабылдау жүйесінің «интеллектуалдығын» жоғарылату	

тәсілдері.....	96
3.4 Бөлімнің қорытындысы .....	97
<b>4 ЖАСАҚТАЛҒАН АЛГОРИТМДЕРДІҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ ЖҮЙЕСІН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ.....</b>	<b>98</b>
4.1 Ұсынылатын алгоритмдердің қасиеттерін талдау үшін сынақтарды жүргізу тәсілдемесі.....	98
4.2 Алгоритмдердің дұрыстығы (корректность) және жұмыс қабілеттілігі.....	98
4.3 Алгоритмдердің жинақтылығы және шешімнің тұрақтылығы. Алгоритмдердің тиімділігін талдау.....	99
4.4 Бензол өндіру кешенін басқаруға арналған интеллектуалдық жүйенің модельдеу блогын бағдарламалық жүзеге асыру.....	101
4.5 Бөлімнің қорытындысы .....	107
<b>ҚОРЫТЫНДЫ.....</b>	<b>108</b>
<b>ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....</b>	<b>110</b>
<b>ҚОСЫМШАЛАР.....</b>	<b>117</b>

## НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі стандарттарға сілтемелер берілген:

Диссертацияларды және авторефераттарды рәсімдеу бойынша нұсқаулық ҚРБҒМ, Жоғарғы аттестаттау комитеті. – Алматы, 2004.

МЕСТ 7.32 2001. Ғылыми зерттеу жұмыстары туралы есеп. Рәсімдеудің ережесі мен құрылымы. Астана, 2001.

МЕСТ 7.1 2003. Библиографиялық жазба. Библиографиялық сипаттама. Құрастырудың жалпы талаптары мен заңдылығы.

МЕСТ 9572 93. Мұнай бензолы. Техникалық шарты

МЕСТ 2706.2 74. Бензол қатарының ароматикалық көмірсутектері. Бензол, толуол және ксилолдағы негізгі заттар мен қоспаларды анықтаудың хроматографиялық әдісі

МЕСТ 5955 75. Реактивтер. Бензол. Техникалық шарты.

МЕСТ 2706.2 95. Бензол қатарының ароматикалық көмірсутектері.

МЕСТ ISO 14714. Ароматикалық қосынды экстрактілер мен эфирлі майлар. Бензолдың қалдық құрамын анықтау.

## АНЫҚТАМАЛАР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі сәйкесінше анықтамалық терминдер қолданылады:

**Алгоритм** – қойылған есептерді шешу үшін орындалатын амалдар тізбегі.

**Айқын емес модельдер** – айқын емес теориясы мен эксперттік бағалау тәсілдерін қолдана отырып адамның, шешім қабылдаушы тұлғаның білімі мен ой-тұжырымына негізделген айқын емес (мағыналық, сөз, сөйлем түріндегі) ақпараттарды негізінде құрылатын математикалық модель.

**Ароматикалық көмірсутектер** – көміртек пен сутектен тұратын және бензолдық ядросы бар органикалық қосылыс. Қарапайым ароматты көмірсутектерге бензол мен оның гомологтары, метилбензол, немесе толуол, диметилбензол, немесе ксилол, т.б. жатады.

**Бензол** - органикалық химиялық қосынды. Химиялық формуласы  $C_6H_6$ . Бензол бензин құрамына кіреді, сонымен қатар дәрі, пластмасса, синтетикалық резина өндіру өнеркәсіптерінде кеңінен қолданылды.

**Білімдер және мәліметтер базасы** – сараптама жүргізген мамандардың, пәндік аймақтағы зерттеу жасайтын адамдардың қалыптастырылған білімдерін және өндіріс туралы статистикалық мәліметтерді сақтауға арналған.

**Дельфи тәсілі** – Эксперттік бағалау тәсілдерінің бірі - итеративті анкеттік сұрау тәсілі болып табылады. Мұнда эксперттер арасындағы жеке байланыстарды болдырмау және оларды әр турдан кейін бағалау, аргументтеу мен сынның анонимдігін сақтай отырып олардың нәтижелері жайлы толық ақпаратпен қамтамасыз ету талаптары жүзеге асырылады.

**Жиынтық регрессия** – тәуелсіз айнымалылардың көп болған жағдайында белгісіз, яғни айқынсыз функцияны жіктеу арқылы алынған модельдің құрылымы.

**Жүйелі модельдеу** – өз-ара байланысқан технологиялық агрегаттар кешенін олардың бір-біріне байланысы мен әсерін ескеретін модельдер пакеті арқылы модельдеу.

**Идентификациялау** – математикалық модельдерінің құрылымын және белгісіз коэффициенттерін анықтау.

**Интерфейс** – нысанды басқару үшін қолданушының компьютерлік жүйелерді ыңғайлы диалогтық режимдерінде қызмет етуін қамтамасыздандыруда, сонымен қатар компьютерлік тиімділік жүйелерінің басқа да функцияларын іс жүзінде пайдалануда қолданылады.

**Критерий** – өнімнің, процестің, объектінің санын, сапасын, қасиетін сипаттайтын көрсеткіш.

**Лингвистикалық модель** – кіріс және шығыс параметрлері лингвистикалық айнымалылар болатын модельдер.

**Математикалық модель** – зерттелетін процестің математикалық сипаттамасы (формулалар, теңдіктер мен теңсіздіктер). Математикалық модель белгілі бір алгоритмнің көмегімен кіріс және басқару параметрлері өзгергенде объектінің жұмыс барысын болжауға мүмкіндік беретін модельдеу объектісінде

жүретін процестер ерекшеліктерін бейнелейтін математикалық сипаттама жүйесін білдіреді.

**Модель** – материалдық объект немесе процесті математикалық тұрғыдан сипаттайтын өрнектер, немесе бастапқы объектінің көшірмесі, модель объектінің маңызды жақтарын бейнелейді.

**Модельдің адекваттығы** – математикалық модельдің дұрыстығы, яғни модельдеу арқылы алынған нәтижелердің, объектінің нақты мәндерімен сәйкес келуі.

**Модельдер жүйесі** – өз-ара байланысқан агрегаттардың жеке құрылған мате-матикалық модельдерінің бір-біріне байланыса отырылып бір жүйеге біріктірілуі.

**Модельдеу** – модельдің көмегімен объектіні, процесті зерттеу, оның тиімді параметрлерін іздеу.

**Мұнай** – негізінен - екі элементтің: көміртектің (79,5-87,5%) және сутектің (11,0-14,5%) синтезінен тұратын, жер қойнауынан өндірілетін өнім болып табылады.

**Мұнай өңдеу** – мұнай өңдеу зауыттарындағы шикі мұнайды өңдеуге дайындайтын, мұнайды және мұнай өнімдерін бастапқы және терең өңдеу процестерінен тұратын физикалық және физикалық-химиялық процестерді жүзеге асыратын кешен.

**Оптимизациялау** – өндіріс объектілерінің таңдалған критерийлері бойынша ең тиімді жұмыс режимін табу, мысалы, өнім көлемі мен сапасын барынша арттыру (максимизациялау), зиянды заттар мен шығындарды азайту (минимизациялау).

**Өндірістік жүйе** – өз-ара байланысқан және бір-біріне әсер ететін элементтер, мысалы технологиялық агрегаттар кешені.

**Параметрлік идентификациялау** – құрылымы анықталған математикалық модельдердің белгісіз коэффициенттерін анықтау тәсілдері.

**Парето жиыны** – компромисс аумағы, яғни критерийлер қарама-қайшы болады, бір критерий бойынша шешім сапасының жақсаруы басқалардың шешім сапасын нашарлатады.

**Парето оптималдық принципі** – бұл принцип бойынша критерийлер мен шектеулердің өз-ара маңыздылығын сипаттайтын салмақ векторын қолдана отырып ШҚТ өз білімі негізінде тиімді шешімдер жиынынан оптимальды шешімді қабылдайды.

**Регрессор** – регрессорлық теңдеулердің құрамындағы қосындылар.

**Салмақ векторы** – критерийлер мен шектеулердің өз-ара маңыздылықтарын сипаттайтын вектор:  $\gamma=(\gamma_1,\dots,\gamma_m)$ ;  $\beta=(\beta_1,\dots,\beta_L)$ ,  $\sum\gamma_i=1$ ,  $i=\overline{1,m}$   $\sum\beta_q=1$ ,  $q=\overline{1,L}$ .

**Статистикалық** (стохастикалық модельдер) – объект параметрлерінің кездейсоқ сипаты мен факторларын бейнелейтін, ықтималдар теориясы мен математикалық статистика тәсілдері негізінде құрылатын математикалық модельдер.

**Теңдік принципі** – бұл принцип критерийлер мен шектеулердің маңыздылықтары шамамен бір-біріне тең болған жағдайда қолданылады, мұнда критерийлер мен шектеулердің теңдіктерін қамтамасыздандыру үшін салмақ векторлары қолданылады.

**Терм-жиын** – лингвистикалық айнымалылардың мүмкін болатын барлық мәндердің жиыны.

**Тиістілік функциясы** – *тиістілік функциясы* деп, әмбебап жиынының кез келген элементінің айқын емес жиынға тиістілік деңгейін анықтауға мүмкіндік беретін функцияны атайды.

**Шектеулер** – өндіріс параметрлеріне қойылатын шектеулер, олар экономикалық, технологиялық, экологиялық т.б. тұрғыда болады.

**Шешім қабылдау** – оптимизациялаудың алынған нәтижелерін талдай отырып, тиімді альтернативті, яғни шешімді қабылдау.

**Эксперттік бағалау тәсілдері** – ақпараттың жетіспеушілік жағдайында адамнан, яғни эксперт-маманнан ақпарат алу және өңдеу мақсатында ұйымдастырылатын тәсілдер.

## БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

АЕМ	– айқын емес модельдеу
АЕМБ	– айқын емес математикалық бағдарламалау
АЕСБ	– айқын емес сызықтық бағдарламалау
БЖ	– басқару жүйесі
ҒЗЖ	– ғылыми зерттеу жұмысы
МӨЗ	– мұнай өңдеу зауыты
ӨЖ	– өндірістік жағдайлар
ХТЖ	– химия-технологиялық жүйелер
ШҚТ	– шешім қабылдаушы тұлға
ШҚ	– шешім қабылдау
ШҚИЖ	– шешім қабылдаудың интеллектуалды жүйелері



## КІРІСПЕ

**Зерттеу тақырыбының өзектілігі.** Қазіргі уақытта өндіріс нысандары, әдетте, қолда бар бастапқы ақпараттың айқынсыздығынан туындаған анықсыздық, көп факторлық және көп критерийлікпен сипатталатын күрделі жүйелер болып табылады. Осындай өндірістік жүйелерді басқару, оңтайландыру және зерттеу мәселелерін шешуде перспективалық тәсілдердің бірі ретінде, тиісті математикалық аппаратты қолдана отырып, ғылыми негізделген әдістерді әзірлеу және шешім қабылдау, жүйелік талдау әдіснамасы, шешім қабылдаушы тұлғаның (ШҚТ), сарапшы (эксперт)-мамандардың түйсінуді, білімін, тәжірибесін ескеруге мүмкіндік беретін эксперттік бағалау және айқын емес жиынтықтар теориясың әдістерін айтуға болады, яғни интеллектуалдандырылған жүйелерді құру және қолдану.

Бүгінгі таңда күрделі өндірістік нысандарды оптимизациялау және моделдеу әдістері, оларды басқарудағы шешімдерді қабылдау есептерін қалыптастыру және шешу бойынша бірнеше жұмыстар белгілі, қолданбалы сипаттағы көптеген есептер шешілді. Дегенмен, дәстүрлі тәсілдер шеңберінде шешілуі мүмкін емес немесе елеулі нәтижелер бермейтін әр түрлі өндірістік жағдайлар мен нысандар класы бар. Осындай нысандарға алғашқы мәліметтің айқын емес кезінде жұмыс атқаратын және де өндірісте болатын түрлі жағдайлардағы олардың тиімді жұмыс істеу мәселесін қалыпқа келтіру және оларды шешу мәселесі бар мұнай өнімдерін өңдеу, металлургиялық және тағы басқа өнеркәсіп нысандарын айтамыз. Алғашқы мәліметтің айқын емес болуынан басқа, басқару нысандарының бірнеше критерийлікті болуы және күрделі болуы мұндай есептердің шешуін қиындата түседі. Осыған қатысты қазіргі кезде алғашқы мәліметтің айқын емес болуынан басқа, басқару нысандарының бірнеше критерийлікті екенін еске ала отырып шешім қабылдауда шешім қабылдаушы тұлғаның тәжірибесі мен білімдеріне негізделген шешімдерді қабылдаудың интеллектуалдандырылған жүйесін құру, ақпараттық технологиялардың әдістерін және құралдарын қолдана отырып, өндірістік нысандарды тиімді басқару бойынша зерттеулер мен шешімдер қабылдау міндеттерін шешу *ғылым мен өндірістің өте өзекті мәселелердің бірі* болып табылады.

**Зерттеу жұмысының мақсаты.** *Зерттеу* жұмысының мақсаты бастапқы ақпараттың жетіспеушілігі кезінде таңдалған өндірістік нысанның (зерттеу нысанының) моделін тұрғызу, көпкритерийлі таңдау әдістерін жасақтау және солардың негізінде әр түрлі өндірістік жағдайлар кезінде нысанның ұтымды жұмыс режимін таңдауға мүмкіндік беретін интеллектуалдандырылған жүйенің функционалдық блоктарын құру.

**Зерттеу міндеттері.** Қойылған *мақсатқа* сәйкес мынадай *ғылыми міндеттер* қойылып, *шешіледі*:

– бастапқы ақпараттың айқынсыздығы және анықсыздық шартында жұмыс істейтін химиялық-технологиялық жүйесін (ХТЖ), нақты өндірістік нысанын таңдау және зерттеу;

– айқын емес ортада өндірістік нысандарды басқару кезінде көп критерийлік таңдау есептерінің әр түрлі қойылымдарын алу және оларды шешу әдістерін жасақтау;

– күрделі ХТЖ-ін зерттеудің әдістерін жасақтау және олардың бастапқы ақпараттың айқынсыздығы және ақпараттың жетіспеушілігі шартында математикалық модельдер жүйесін құру;

– эсперттік бағалау, айқын емес жиындар теориясының әдістерін қолдана отырып, өндірістік нысандарды басқару үшін интеллектуалды (интеллектуалдандырылған) шешім қабылдау жүйесінің (ИШҚЖ) архитектурасын және негізгі функционалдық блоктарын құру, яғни зерттеу нысанының модельдер пакетін жасақтау; нысанның тиімді жұмыс режимдерін таңдау және іздеу эвристикалық алгоритмдерін жасақтау; білім мен деректер базасы; пайдаланушыға ыңғайлы интерфейс;

– ұсынылған алгоритмдердің қасиеттерін зерттеу, өндірістік тәжірибеде ғылыми зерттеулер нәтижелерін апробациялау және қолдану.

**Зерттеу нысаны** – диссертациялық зерттеудің зерттеу нысаны мұнай өңдеу өнеркәсібінің күрделі химиялық-технологиялық жүйесі болып табылатын бензол өндіру кешені болып табылады.

**Зерттеу пәні** – зерттеу пәні қазіргі заманғы математикалық, оның ішінде зерттеу нысандарының бастапқы мәліметтерінің тапшылығы жағдайында өндіріс есептерін шешудің формалды емес (сараптамалық бағалау, айқын емес ортада модельдеу, оптимизациялау және басқару) әдістері болып табылады.

**Зерттеу әдістері** – қойылған есептерді шешу үшін математикалық модельдеу әдістері, көпкритерийлі оптимизациялау әдістері және айқын емес жиындардың математикалық аппараттары, сонымен қатар сараптамалық бағалауды жүргізу және ұйымдастыру, зерттеу нәтижелерін өндірістік-тәжірибелік тексеру және техникалық-экономикалық талдау қолданылды.

**Қорғауға шығарылатын ғылыми тұжырымдамалар мен нәтижелер:**

а) анықсыздық шартында күрделі өндірістік мәселерді дұрыс шешуге мүмкіндік беретін, сапалы ақпаратты максималды қолданып есептерді шешетін, бастапқы ақпараттың айқынсыздығы жағдайында ымыралық сұлбалардың модификациялау және оптимизациялау принциптері негізінде *FMM*; *FMMC-Δ*; *FMM+PO* диалогтық алгоритм түріне келтірілген басқару және таңдаудың көп критерийлі есептерінің жаңа қойылымдары және оларды шешудің эвристикалық әдістерінің жиынтығы;

б) әр түрлі сипатағы қол жетімді ақпарат (теориялық, статистикалық және айқын емес) негізінде агрегаттар моделінің әртүрлі типтерін құруға және оларды бірыңғай жүйеге (пакетке) біріктіруге негізделген *модельдер жүйесін жасақтау әдістемесі*;

д) анықсыздық шартында және әр түрлі өндірістік жағдайларда бензол өндіру кешенінің тиімді жұмыс режимін таңдау үшін *шешім қабылдаудың интеллектуалдандырылған жүйесінің негізгі функционалдық блоктары мен құрылымы*;

в) айқын емес ортада *көпкритерийлі таңдаудың эвристикалық алгоритмдері* және олардың бағдарламалық жүзеге асырылу нәтижесі.

**Жұмыстың ғылыми жаңалығы.** Жұмыс нәтижелерінің ғылыми жаңалығы келесілерден тұрады:

а) *максимин, негізгі критерий және максимин + Парето оптималдық принципі* ымыралық сұлбаларын комбинациялау және модификациялау негізінде, алғашқы рет айқын емес ортада өндірістік нысандарды (бензол өндіру кешені мысалында) басқару кезінде көп критерийлі таңдаудың есебі қалыптастырылған, жаңа қойылымдары алынған және оларды шешудің эвристикалық алгоритмдері жасақталған. Олардың белгілі әдістерден айырмашылығы, анықсыздық шартында қолжетімді айқын емес ақпаратты максималды қолдана отырып, міндеттер қойылады және шешіледі. Мұндай әдіс параметрлер арасындағы ішкі қарым-қатынасты ескеріп, айқын емес ортада күрделі өндірістік есептерінің тиімді шешімдерін алуға мүмкіндік береді;

б) ХТЖ модельдер жүйесін құрудың ұсынылған әдістемесінің жаңалығы-енгізілген салыстыру және таңдау критерийлері, сонымен қатар әр түрлі сипаттағы (оның ішінде айқын емес) қолжетімді ақпараттарды қолдану арқылы, бірыңғай жүйеге біріктірілетін модельдердің тиімді түрлері тұрғызылады. Ұсынылған әдістеме анықсыздық шартында тиімді модельдерді құруға, ХТЖ-ні жүйелік моделдеуге және жүйенің «бөгеуін» анықтауға мүмкіндік береді;

б) ұсынылған архитектура және бензол өндіру процестерін басқару үшін интеллектуалдандырылған шешімдер қабылдау жүйесінің негізгі функционалдық блоктарының басқа түрлерден айырмашылығы, жүйе айқын емес ортада нысанның тиімді жұмыс режимдерін іздеу және таңдау үшін эвристикалық алгоритмдерін; білім мен деректер базасын; ыңғайлы интеллектуалды интерфейсті қамтиды;

в) ұсынылған айқын емес ортада көпкритерийлі таңдаудың эвристикалық алгоритмдерінің зерттелген қасиеттері мен апробациялаудың нәтижелері, өндірістік тәжірибеде ғылыми зерттеулердің нәтижелерін қолдану және апробациялау, зерттелетін мәселені шешудің тиімді әдісі екендігін көрсетеді.

**Жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы.** Диссертациялық жұмыс Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Жүйелік талдау және басқару» кафедрасының ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес орындалған. Зерттеу барысында «Айқын емес ортада шешім қабылдау тәсілдерін және модельдерді жасақтау» (2017-2018 жж. ынталы ҒЗЖ) ҒЗЖ орындалды. Мемлекеттік тіркелу №0118РКИ0220.

**Жұмыстың практикалық маңыздылығы.** Ұсынылған тәсілдеме, жетілдірілген ХТЖ моделдерін тұрғызу әдістемесі және айқын емес ортада көп критерийлі таңдаудың эвристикалық әдістері, мұнай өңдеу, мұнай химиясы және басқа да салалардың ХТЖ-дің нақты технологиялық агрегаттарының тиімді режимін таңдау және тиімді модельдерін құруға мүмкіндік береді.

Алынған айқын емес ортада басқару үшін көп критерийлі таңдау есептерінің қойылымдары және оларды шешудің жетілдірілген алгоритмдері, анықсыздық шартындағы әр түрлі өндірістердің күрделі ХТЖ-ін тиімді басқаруға және ұтымды режимдерін табуға мүмкіндік береді.

Жасақталған шешім қабылдау, басқару және модельдеу әдістері Атырау МӨЗ-да бензол өндіру кешені технологиялық агрегаттарының математикалық модельдерін құруда және алынған модельдер негізінде бензол өндіру процессін тиімді басқару есептерін шешуде қолданылды.

**Жұмыс нәтижелерін ендіру.** Диссертациялық жұмыстың теориялық және практикалық нәтижелері: 1) Атырау МӨЗ –да бензол өндіру кешенінің негізгі агрегаттарының құрылған математикалық модельдері мен олардың тиімді жұмыс істеу режимдерін таңдау алгоритмдері сынақтан өткізіліп, олардың дұрыс екенін анықталып, өндіріске енгізуге қабылданды; 2) оқыту үрдісінде Семей қаласының Шәкәрім атындағы мемлекеттік университетінің «Автоматика және есептеуіш техника» кафедрасында 5B070200 Автоматтандыру және басқару, 5B070400 Есептеуіш техника және бағдарламалық қамсыздандыру және 6M070200 Автоматтандыру және басқару мамандықтарына «Эксперттік және интеллектуалдық жүйелер», «Айқын емес басқару жүйелері», «Интеллектуалды басқару жүйелері» пәндерін оқытуда; 3) Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университетінің «Жүйелік талдау және басқару» кафедрасының 6M070200 Автоматтандыру және басқару мамандығына «Басқару жүйелерін идентификациялау» пәнін оқытуда қолданысқа енгізілді (Қосымша А).

**Ізденушінің жеке үлесі.** Ізденушінің жеке үлесі мынаған негізделеді:

– зерттеу мәселелерінің қойылымы, оларды шешу бағыттары мен тәсілдерінің анықталуы, ғылыми қағидалардың тұжырымдалуы және негізделуі;

– әр түрлі сипаттағы (оның ішінде айқын емес) қолжетімді ақпаратты қолдану негізінде, анықсыздық шартында тиімді модельдерді тұрғызуға мүмкіндік беретін ХТЖ-дің модельдер жүйесін құрудың жаңа әдістемелерін жасақтауда;

– Атырау МӨЗ-ның бензол өндіру кешенінің негізгі агрегаттарының математикалық модельдер жүйесін жасақтауда;

– айқын емес ортада шешім қабылдау мен көпкритерийлі таңдау есептерінің жаңа қойылымдарын және оларды шешудің тиімді алгоритмдерін жасақтауда;

– эксперименталды-өндірістік жағдайларда зерттеу нәтижелерін сынау және оларды ғылым және білім беру жүйесінде қолдануда.

**Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің апробациясы.** Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми тұжырымдары мен нәтижелері Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Жүйелік талдау және басқару» кафедрасының, Семей қаласының Шәкәрім атындағы мемлекеттік университетінің «Автоматика және есептеу техникасы» кафедрасының семинарларында және «Автоматика-сервис» ЖШС-нің ғылыми-техникалық кеңесінде талқыланды және халықаралық-тәжірибелік конференцияларда баяндалды:

– XXIII МНПК «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке» (Мәскеу, 2015);

- МНПК: «Инновационные подходы и технологии для повышения эффективности производств в условиях глобальной конкуренции» (Семей, 2016);
- World Congress on Intelligent Control and Automation (Guilin, 2016);
- III МНПК «Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете стратегии «Казахстан - 2050» (Астана, 2016);
- International Conference on Control, Automation and Systems (Korea, 2016);
- XI Халықаралық ғылыми конференция «Студенттер мен жас ғалымдардың «ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ БІЛІМ-2016» (Астана, 2016);
- III МНПК «Информационные технологии в науке управлении, социальной сфере и медицине» (Томск, 2016);
- International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perception (Budapest, 2017).

**Ғылыми жарияланымдар.** Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 19 ғылыми еңбектерде жарияланды, оның ішінде *Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым министрлігінің Білім және Ғылым саласындағы бақылау комитетінің* ұсынған басылымдарда - 5 мақала және 1 авторлық құқыққа куәлік №93 08.10.2018 ж.:

1 Принятия решений при управлении режимами работы технологических объектов в нечеткой среде // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Астана, 2015. - №6(109). – Ч. 1. – С. 42-52).

2 Мұнай өңдеу технологиялық кешендерінің математикалық модельдерін айқынсыздық жағдайда құру тәсілі // Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ хабаршысы. Еуразия ұлттық университетінің ғылыми журналы (Астана, 2016. - С. 289-298).

3 Бензол өндіру технологиялық кешенінің құрымдалған моделін құру // К.И. Сәтпаев атындағы ҚазҰТЗУ хабаршысы. Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің ғылыми журналы (Алматы, 2017. - №62(120). – С. 352-358).

4 Разработка математических моделей технологических комплексов в нечеткой среде на основе системного подхода // Вестник ГУ им. Шакарима г. Семей (Семей, 2017. - №3(79). – С. 26-32).

5 Гибридный метод разработки математических моделей химико-технологической системы в условиях неопределенности // Журнал Математическое моделирование (М., 2017. – Т. 29, №4. - С. 30-44. Web of Science (Ресейлік ғылыми дәйексөз индексі-мәліметтер қорына кірген).

6 ЭЕМ арналған бағдарлама «Система моделирования и принятия решений по управлению режимами работы комплекса по производству бензола» (авторлық құқыққа куәлік №93 08.10.2018).

**SCOPUS** мәліметтер қоры тізімінде - 2 мақала:

- Mathematical modeling for reforming unit of chemical technological system in refinery production under uncertainty // International Journal of Applied Engineering Research (Delhi, 2016. – Vol. 11, №11. - P. 7278-7283);

- Hybrid method of development of mathematical models of chemical-technological systems under uncertainty // Mathematical Models and Computer Simulations (2018. - Vol. 10, №6. - P. 748).

Диссертацияның негізгі нәтижелері 5 мақала халықаралық ғылыми конференцияларда (Ресей, Қытай, Корея, Венгрия) және 5 мақала халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференцияларда (Қазақстан) жарияланып талқыланды:

- Многокритериальная оптимизация режимов работы агрегатов нефтепровода в нечеткой среде и эвристический алгоритм ее решения // Матер. 23-й международной научно-практической конференции: «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке» (М., 2015. - С. 62-68);

- Ақпараттың жетіспеушілігі және айқынсыздығымен сипатталатын өндірістік нысандардың модельдерін жасақтау // «Ғаламдық бәсекелестік шарттарына өндірістің тиімділігін арттыру үшін инновациялық ұсыныстар мен технологиялар» ғылыми-тәжірибелік конференция материалдар жинағы (Семей, Қазақстан, 2016. – Ч. I. – С. 438-441);

- Mathematical modeling and decision-making on controlling modes of technological objects in the fuzzy environment // World Congress on Intelligent Control and Automation (Guilin, 2016. - P. 103-109);

- Подходы к управлению технологическими системами в условиях неопределенности // Тр. 3-й международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете стратегии «Казахстан - 2050» (Астана, 2016. – С. 344-346);

- Разработка математических моделей реакторов УЗК // Тр. 3-й международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете стратегии «Казахстан - 2050» (Астана, 2016. – С. 346-349);

- Бензол өндіру кешенінің негізгі агрегаттарының математикалық модельдерінің жүйесін құру // Интеллектуалдық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар - «Қазақстан-2050» стратегиясы аясында үшінші индустриалды революцияны жүзеге асырудың құралы: халықаралық ғылыми-практикалық конференция еңбектері (Астана, 2016. – С. 299-302);

- Control of Fuzzy Technological Objects Based on Mathematical Model // 16-th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2016) (oct 18-19 in HICO, Gyengju, 2016. – P. 1487-1493. Web of Science, Scopus мәліметтер қорына кірген);

- Мұнай өңдеу технологиялық кешендерін модельдеу және оптимизациялау үшін интеллектуалды шешім қабылдау жүйесі // Студенттер мен жас ғалымдардың «Ғылым және білім-2016»: 11-я халықаралық ғылыми конференциясының баяндамалар жинағы» (Астана, 2016. – С. 514-519);

- Системный подход к разработке математических моделей сложных технологических объектов в условиях неопределенности // Сб. науч. тр. 3-й международной научной конференции «Информационные технологии в науке управлении, социальной сфере и медицине» (23-26 мая Томск, 2016. – Ч. 1. – С. 63-65);

- Decision-making in the fuzzy environment on the basis of various compromise schemes // 9-th International Conference on Theory and Application of Soft

Computing, Computing with Words and Perception, ICSCCW 2017 (22-23 august 2017, Budapest, Hungary. Web of Science, Scopus мәліметтер қорына кірген).

**Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі.** Диссертациялық жұмыс кіріспе, 4 бөлім, қортынды, 98 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және 3 қосымшалардан құралған. Жұмыс жалпы 130 бет көлемінде жазылып, 6 суреттен және 7 кестеден тұрады.

# **1 ӨНДІРІСТІК НЫСАНДАРДЫ БАСҚАРУ ҮШІН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ ЖАСАҚТАУ МӘСЕЛЕЛЕРІ МЕН ОЛАРДЫ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ**

## **1.1 Анықсыздық жағдайында эксперт-мамандардың және ШҚТ білімі мен тәжірибесінің негізінде өндірістік жүйелердің математикалық сипаттамасына жүйелі түрде қарау**

*Өндірістік жүйелерге* техникалық, технологиялық және экономикалық нысандар және олардың комбинациясы, материалдық және өнімнің басқа да түрлерін жасауға және қайта өңдеуге, немесе қоғамға белгілі бір қызмет түрлерін көрсетуге арналған әртүрлі өнеркәсіптік кешендер жатады.

Заманауи өндірістік жүйелер дегеніміз қызметі жүйенің ортақ мақсаттарына жетуге бағытталған өзара байланысқан көпрежимді қосалқы жүйенің жиынтығынан тұратын күрделі жүйелер болып табылады. Мұндай өндірістік жүйенің ерекшеліктері болып: бөлінетін бөлшектердің (элементтердің) болуы, бұлардың әрқайсысы үшін жұмыс жасау мақсаты анықталуы мүмкін; адамдар, машиналар және орталар жүйесінің жұмысына қатысуы; жүйе бөлшектерінің арасында ішкі материалдық, ақпараттық, энергетикалық байланысулардың бар болғандығы, және де зерттелетін жүйенің өзге де нысандармен сыртқы байланысулардың барлығы болады [1, 2].

Өндірістік жүйенің күрделі болуы түрлі өндірістік, технологиялық процестердің жүруін, оның ішінде нысандар параметрінің өзара ішкі байланыстарын, олардың бір біріне әсерін, жүйелер қасиеттері мен процестерінің аз зерттелуін, сонымен қатар көп жағдайда субъективтік болатын адамдардың формалданбаған іс-қимылдарын анықтайтын нысандар параметрлерінің санында және алуан түрлілігінде байқалады.

Бұл жағдайларда математикалық модельдерін құру мақсатымен өндірістік жүйелерді зерттеу барысында анықсыздық мәселесі туындайды, өйткені зерттелетін технологиялық жүйені математикалық сипаттау үшін нақты жиналатын бастапқы ақпарат, жиі қомақты дәрежеде толық емес және айқын емес болып табылады. Сонымен қатар, әдетте өндірістік жүйелердің сандық сипатталуы күрделі болып табылады, өйткені өнеркәсіптік жағдайларда қажетті статистикалық деректерді жинаудың және өндеудің арнайы құралдары жеткіліксіз, қажетті қасиеттері болмайды немесе жоқ.

Анықсыздықтың стохастикалық (ықтималдық) табиғаты болады, яғни ықтималдық гипотезалар орындалады (ықтималдықтар теорияларының аксиомалары, процестің статистикалық тұрақтылығы), немесе стохастикалық емес табиғаты болады, яғни бастапқы ақпарат анықсыздықпен сипатталады, ықтималдықтар теорияларының аксиомалары орындалмайды, ықтималдықтар теорияларының терминдерінде сипатталмайды. Анықсыздықтың бірінші типінің жағдайларында, процестің статистикалық тұрақтылығы және статистикалық деректерінің қолжетімділігі жағдайында зерттелетін жүйелерді модельдеу үшін біршама жақсы үйреншікті және таралған ықтималдықтар



теорияларының және кездейсоқ процестердің математикалық аппараты қолданылады [3, 4].

Дегенмен, өндірістің дамуына, нысандардың және процестердің күрделенуіне, басқару кезінде адамның рөлінің өсуіне қарай жиірек бастапқы ақпараттың айқын еместігінен туындаған, екінші типті анықсыздық пайда болады. Мұндай жағдайларда адамның ерекшелік нысандарын сипаттау кезінде және одан айқын емес (сапалы, сөздік) ақпарат алынған жағдайда есепке алу қажеттілігі туындайды. Осы диссертацияда зерттелетін және басқару нысаны болып өндірістік – химия-технологиялық жүйелер (ХТЖ) табылады, олар әдетте бастапқы ақпараттың айқын еместігімен сипатталады [5].

Шешім қабылдау және басқару есептерін шешу кезінде қолданылатын мұндай жүйелердің математикалық сипатын құру күрделілігі адамдардың қызметтерін сипаттайтын кейбір санаттары әрқашанда нақты анықталмауы мүмкін, сонымен бірге мұндай анықсыздықтың ықтималдық емес, басқа сапалы, айқын емес сипаты болады.

Оның үстіне, нысандар ықтималдық заңдарын ұстанған жағдайларда, ақпараттың тапшылығы, статистикалық мәліметтердің жеткіліксіздігі басқа тәсілдерге, парасатты мағынада негізделген, шынайы өндірістік жүйелерді және технологиялық процестерді сипаттауға итермелейді. Осындай тәсілдердің бірі ШҚТ-ан алынатын ақпаратқа тіреледі, шынайы нысанның жұмысы туралы пікірінен, эксперттік бағалаулардан және айқын емес жиындар теориясынан негізделеді [6-10].

ХТЖ қарастырайық, математикалық модельдің құрылуы және оны басқару бір жағынан жоғары априорлық анықсыздығымен, технологиялық процестің өтуі жайлы деректердің жеткіліксіздігімен қиындық тудырады, басқа жағынан – кіріс және шығыс айналымдарының табиғаты түсініксіз, анық емес. Дегенмен, ШҚТ – адам, оқу процесінде және нысанның жұмысын бақылау процесінде оның санасыда қалыптасатын, сапалы сипаттамаға негізделе отырып оны басқара алады.

Күрделі математикалық құрылымдардың көмегінсіз, оның маңыздылығын адамның айқын емес пікірін білдіру қабілеттілігіне негізделе отырып мұндай нысанның қалыптасқан моделін алуға болады. Бұл типтің қарапайым моделі болып «Егер де жүйенің кірісіне  $\tilde{x}_i$  берілсе, онда шешіміне  $\tilde{y}_j^M$  аламыз», мұндағы  $\tilde{x}_i \in X_i, i = \overline{1, n}; \tilde{y}_j^M \in Y_j, j = \overline{1, m}$ , терм – жиынның  $T(X_i, Y_j)$  кейбір термдері,  $(X_i, Y_j$  – универсалды жиындар), яғни лингвистикалық айнымалылардың айқын емес мәндері. Бұдан әрі, алынған сапалы ақпаратты айқын емес жиындар теориясының тәсілдерімен өңдей отырып бастапқы жүйені зерттеу және басқару үшін қолданылуы мүмкін осы нысанның айқын емес моделін аламыз.

Айқын емес жиындар теориясының математикалық аппаратын қолдану өндірістік нысандардың біршама қарапайым және тиімді модельдерін және басқа тәсілдерді қолдану орынсыз немесе мүмкін емес болғанда, анықсыздық жағдайында оларды басқару алгоритмдерін құруға мүмкіндік береді.

Айқын емес жиындар теориясын қолдану тиімділігімен қатар оның кейбір шектеулерін айтып өткен жөн: бастапқы сапалы ақпаратты алудың біршама

күрделілігі және жүйелілігі, ақпараттың дұрыстығын қосымша тексеру қажеттілігі, шартты тұжырымның айқын емес ережелерін таңдау қиындығы, интерпретация күрделілігі және тиістілік функциясын құру және т.б.

## **1.2 Өндірістік нысандардың (ХТЖ) негізгі сипаттамалары, анықсыздық жағдайында оларды басқару мәселелері мен тәсілдері. Өндірістік жағдайлар**

Ары қарай ХТЖ зерттеу кезінде қолданылатын кейбір негізгі ұғымдар мен терминологияны келтірейік [11].

ХТЖ, *нысанның күйі* ретінде уақыт өте, сондай-ақ нысанның басқа да элементтерімен өзара әрекеттесуінің әсеріне өзгеруі мүмкін бөлек құрастырушыларының (агрегаттар, машиналар, шикізаттар, қорлар, қызметкерлер), элементтерінің қасиеттерінің, мәндерінің және сипаттамаларының жиынтығын атайды. Жүйенің күйі, қасиеттерінің мәндері – нысанның айқын сипаттарының, сипаттамаларының және қасиеттерінің мәндері бойынша бағаланады. Жұмыс істеу процесінде өндірістік нысанның күйін сипаттайтын қасиеттер жинағын *өндірістік жағдай* деп атайық. Анық бір мақсатқа жету мақсатымен нысанның күйінің өзгеруін нысанның *жұмыс істеуі* деп атайық.

Оны зерттеуді жеңілдету мақсатында жүйені өте қарапайым құрамдастырушы қосалқы жүйелерге, элементтерге (компоненттер) шартты бөлу *декомпозиция* деп аталады, ал жүйенің компоненттерін бірлестіру – *агрегирлеу* деп аталады. Барлық компоненттер және олардың арасындағы байланысты көрсету арқылы жүйе анықталғанда ғана агрегирлеу орынды екені анық.

Өндірістік жүйе үшін оның барлық қосалқы жүйелерін және олардың арасындағы байланысты нақты айқындау берілген жүйенің *құрылымы* деп аталады. Жоғарыда айтылған декомпозиция және агрегирлеу жүйе құрылымының түрленуінің қарама-қарсы процестері болып табылады.

Жүйенің *мақсаты* ретінде кейбір критерийлер, шешімдердің күйі немесе мәндері бойынша ең қолайлысын түсінеміз, мысалы, өндірілетін өнімнің көлемі және оның сапасы.

Басқарушы әсерлердің болуын анықтауды және қалыптасқан өндірістік жағдай кезінде нысанның мақсатқа жетуін қамтамасыз ететін олардың нақты пішіндерін және мәндерін анықтауды *басқару есебі* деп атайық.

Көптеген өндірістік нысандарды және ХТЖ зерттеу және басқару кезінде *технологиялық нысандар* немесе *жүйелер* атауы жиі қолданылады, бұл дегеніміз жұмыс істеудің белгілі бір технологиясымен сипатталатын өндірістік жүйелер классы, түрі, ал *технология* өндірістік процестерді жүзеге асыру амалдары мен құралдарының жиынтығы ретінде анықталады.

Өндірістік нысандардың, ХТЖ негізгі сипаттамалары мен ерекшеліктерін қарастырайық ХТС [12]:

1 Өндірістік нысандар белгілі бір материалдық және басқа құндылықтарды жасауға, немесе кейбір қызметтерде қоғамның қажеттіліктерін (мысалы, көліктік, тұрмыстық қызметтер және т.б.) қанағаттандыруға бағытталған, бұл

олардың жұмыс істеу мақсаттарының негізін құрайды, негізінде сыртқы ортада мұндай нысандардың өзара әрекеттесуін анықтайды.

2 ХТЖ сыртқы ортаға тәуелді және олармен әрекеттесусіз жұмыс істей алмайды. Мысалы, егер де шикізат немесе энергетика ресурстарының берілуі үзілетін болса (жүйенің кірістері), онда бұл нысанның жұмысын бірден немесе біраз уақыттан кейін тоқтатылуына әкеліп соғады.

3 Мұндай жүйелердің элементтерінің басқа жүйелермен байланысы өз табиғаты бойынша келесі топтарға бөлінеді:

- *материалдық*, көптеген өндірістік нысандарда әдетте оларға қажетті сапаларды беру үшін бастапқы шикізатті немесе шала фабрикаттарды қайта өңдеу жүзеге асырылады;

- *энергетикалық*, жұмыс істеу барысында өндірістік нысандар энергияның әртүрлі түрлерін тұтынады – электрлік, жылу, механикалық немесе басқа энергия;

- *ұйымдастырушылық байланыстар*, ХТЖ интеллектуалдық бөлігі болып табылатын адамдармен, өндірістік қызметкерлермен әртүрлі ұйымдастырушылық шешімдерді жасақтау және жүзеге асыру қажет;

*Ақпараттық байланыстар*, өндірістік жүйенің және оның қосалқы жүйелерінің күйі туралы ақпаратты, сыртқы орта және олардың өнім қажеттілігі туралы, өндірісті басқару үшін қажетті нысанның жұмыс істеуінің басқа да нәтижелері туралы ақпаратты жинау, өңдеу, сақтау және беру үшін қажет.

ХТЖ басқаруға қатысты негізгі тәсілдерді және оның барысында туындаған мәселелерді қарастырайық.

Үздіксіз технологиясымен өндірістік жүйелерді модельдеудің және басқарудың негізгі идеялары мен әдіснамалық негіздері [13, 14] жұмыстарында қарастырылған. Жүйенің математикалық моделі қосалқы жүйелердің модельдерінен (реакция, бөлу, араласу, масса алмасу) және олардың арасындағы байланыстардан құрылады. Өзара байланысқан нысандар, қондырғылар кешенінен тұратын өндірістік нысандарды жедел басқаруды автоматтандыру мәселелері [13, с. 120-128] жұмысында қарастырылған. Белгілі әдебиетте басқару есебінің мазмұнды қойылымдарына, олардың математикалық тұжырымдамаларына, үздіксіз режимде жұмыс істейтін нысандардағы шешу тәсілдерінің жүзеге асырылуына негізгі назар аударылады, дегенмен бастапқы ақпараттың тапшылығына, өндірістік жағдайларда жиі туындайтын қолжетімді ақпараттың айқынсыз сипатына назар аударылмаған. Модельдерді, модельдеудің дәстүрлі тәсілін пайдалану мақсатымен өндірістік нысандарды идеализациялауды шектен тыс жеңілдету, бастапқы айқын емес ақпаратты ескермеу, өндірісті, ХТЖ зерттеу және басқару есептерін шешу үшін жарамсыз модельдердің алынуына жиі әкеліп соғады.

ХТЖ басқару процедурасын едәуір қиындадатын жоғарыда қарастырылған мәселелердің ең күрделісі болып расталған деректердің жеткіліксіздігі және бастапқы ақпараттың айқынсыздығы болып табылады, яғни бастапқы ақпараттың айқынсыздығымен байланысты өндірісті сипаттау және басқару кезіндегі анықсыздық.

Анықсыздық жағдайында өндірістік нысандарды басқаруға қатысты тәсілдердің әдеби шолу нәтижелерін келтірейік.

Анықсыздық жағдайында күрделі процестерді жеткілікті оңтайландыру және басқару есептерін шешуде маңызды жетістіктер берген тәсілдердің бірі 50-ші жылдардың ортасында Данцигпен сызықтық бағдарламалау есептерінде [15] сезгіштік шешімдерін талдау бойынша жұмысында жасақталған.

Басқарушы нысан туралы расталған ақпараттың жеткіліксіздік мәселелерін шешудің басқа тәсілі - шулы ақпарат жағдайларында оңтайландыру мен басқарудың жұмыс қабілетті алгоритмдерін құру мәселелері, сондай-ақ қолданылатын ақпараттың белгілі ықтималдық сипаттамалары бойынша шешу дәлдігін талдау мәселелері талқыланатын стохастикалық бағдарламалау бойынша [3, с. 250-275; 16] жұмыстарында қарастырылады.

Өндірістік нысанның күйін және басқарудың өнімділігін талдау үшін бұл тәсілдерде айқын ақпарат қолданылатынын ескерген жөн, ал ақпараттың анық еместігінің әсерлері модельдерде айқын ескерілмеген. Дегенмен нысанның жұмыс істеуі туралы ШҚТ-ның, сарапшы-маманның пайымдамасы түрінде ұсынылған және өндірісті басқару кезінде шешімдерді таңдау процесінде, математикалық модельдерде және басқару есептерінде олардың артықшылығын бейнелейтін айқын емес ақпаратты есепке алу қажеттілігі жаңа тәсілдердің дамуына себепші болды [17-21]. Бұл тәсілдердің маңыздылығы, көптеген өндірістік нысандардың анықсыздық жағдайларында жұмыс істейтіндігімен түсіндіріледі, ал ақпараттың негізгі немесе жалғыз көзі болып адам табылады, ол өз пайымдамасын, әдеттегідей, айқын емес пікірінің көмегі арқылы сөзбен білдіреді.

Модельдеу және басқару шешімдерінің сипатына ақпараттың анық еместігінің әсерін тікелей талдау тәсілдері ықтималдық теориясының аппаратын және математикалық статистиканы [4, с. 47-58], немесе айқын емес жиындар теориясын [12, с. 57-64; 14, с. 370-385; 17, с. 129-136; 19, р. 103-108; 21, с. 30-44] қолданады.

Ықтималдық тәсілде математикалық модельдердің параметрлерімен бірге объективтік ықтималдықты таратудың тығыздық функциялары байланысады. Бұл тәсіл жеткілікті жақсы зерттелген. Дегенмен орындалуы кезінде ықтималдық тәсіл ақталатын статистикалық тұрақты (бірдей жағдайларда эксперимент нәтижелерінің көпмәртелі өндірілуі) зерттелетін нысандардың көбінде болуы туралы болжамдар үшін маңызды негіздемелер жиі болмайды. Жұмыстарда [32-35] модельдеу және шешім қабылдау есептерінің қатары анықсыздық жағдайларында объективтік ықтималдықты классикалық анықтаумен ықтималдық теориясының аясында қалыптастыру мүмкін еместігі көрсетілді. Бұл бірінші кезекте айқын емес бастапқы ақпарат кезінде модельдерді синтездеу есептеріне және сарапшының сол немесе басқа шешімді таңдау кезінде ШҚТ-ның сол немесе басқа пайымдамасына немесе артықшылығына сенімдігі типінің субъективтік ақпаратын есепке алу есептеріне қатысты.

Осындай айқын емес есептерді қалыптастырудың және шешудің ең тиімді құралы болып айқын емес жиындары теориясының тәсілдері табылады. Бұдан

әрі, айқын емес ақпараттар жағдайларында өндірістік жүйелерді басқару есептерін шешуде ең перспективалық бағыт ретінде осы тәсілдерге ерекше көңіл аударамыз.

Басқару есептерін шешу кезінде айқын емес жиындар теориясының тәсілдерін қолдану бойынша шетел әдебиетін шолу [36] жұмысында жүргізілген.

Тәжірибеде айқын емес жиындар теориясының тәсілдерін қолданудың негізгі мәселелерінің бірі болып айқын емес параметрлерінің тиістілік функциясының интерпретациясы және жасалуы табылады.

Бұл сұрақтар [37-39] жұмыстарында талқыланады.

Өндірістік нысандарды басқару кезіндегі оңтайландыру және шешім қабылдау есептерін шешудің жақсы зерттелген және тиімді тәсілдері [16, с. 40-41] бар математикалық бағдарламалау есептеріне келтіруге болады.

Математикалық бағдарламалау есептерін айқын емес сандар класын және осындай айқын емес математикалық бағдарламалау (АЕМБ) есептерін шешуге қатысты кейбір тәсілдерді жинақтау [42-47] жұмыстарында талқыланады. Негізінен бұл жұмыстарда АЕМБ есептері Беллман - Заде тәсілінің негізінде шешілетін айқынсыз анықталған жеткізу есептеріне жинақталады, яғни айқын емес мақсатқа жетудің ( $\mu_G(x)$ ) және шектелімдерді орындаудың ( $\mu_C(x)$ ) [33, с. 117, с. 250-267] тиістілік функциясының қиылысуы қарастырылады:

$$\mu_D(x) = \min \{ \mu_G(x), \mu_C(x) \}$$

мұнда  $\mu_D(x)$  – шешімдердің тиістілік функциясы.

Шешімнің мұндай көрінісі кезінде альтернативаны таңдаумен байланысты мәселе туындайды.  $D$  айқын емес шешімге максималды тиістілік деңгейімен альтернативаны таңдаудың ең белгілі тәсілдерінің бірі:

$$\max_{x \in X} \mu_D(x) = \max_{x \in X} \min \{ \mu_G(x), \mu_C(x) \}.$$

АЕМБ есептерін шешудің белгілі тәсілдерінің басқасы бастапқы есеп қойылымы кезеңінде эквивалентты анықталғанмен ауыстырылады.

Әдеттегідей көп критерийлікпен және үлкен өлшемділікпен сипатталатын өндірістік есептерді шешуде бұл тәсілдерді қолдану қиындатылған, өйткені үлкен есептеуіш шығындар талап етіледі, тұтынушылар - өндірістік қызметкерлермен (олар теорияның негізін білуге тиіс) оларды пайдаланудың қойласыз мәселелері туындайды.

АЕМБ есептеріне ішкі класының тәжірибелік қатынасында маңыздысы болып айқын емес сызықтық бағдарламалау (АЕСБ) есептері табылады, олар [46, с. 149-155; 47, р. 45-55] жұмыстарында талқыланады. АЕСБ есептерін шешудің негізгі тәсілі айқын емес есепті айқын есеппен алмастыру, мысалы,  $\alpha$  деңгейінің жиындар деңгейінде:

$$A_\alpha : \forall \alpha \in [0,1], A_\alpha = \{x : x \in X, \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

[33, с. 150-165; 44, с. 58-68] жұмыстарында АЕМБ есептерінің жіктелуі келтірілді және жинақтау принципінің минимаксті нұсқасында негізделген АЕМБ есептерінің жалпы жағдайы қарастырылды, айқын емес артықшылықтарын құру сұрақтары талқыланды, АЕМБ есептерін қарапайым математикалық бағдарламалау жинағына келтіруге мүмкіндік беретін теоремалар қатары дәлелденді. [44, с. 72-77] жұмысында айқын емес мақсаттық функцияларымен (көпше мағыналы коэффициенттерімен сызықтық бағдарламалау есептері) математикалық бағдарламалау сызықтық есептері қарастырылды:  $Z=cx$ , мұндағы  $c=[c_1, \dots, c_n]$  – өзгертуден алынған белгілі интервалдарымен анықсыздық коэффициенттері  $[c_1^l, c_1^u], \dots, [c_n^l, c_n^u]$ . Бұл есепті ымыралы шешімін анықтаудың тәсілдері талқыланды, бұл дегеніміз берілген интервалдан: интервалдын ортасынан мақсаттық функцияның әртүрлі коэффициенттерін таңдау; кейбір өкілдердің пайда болуының ең үлкен мүмкіндігі туралы ақпараттың негізінде (ШҚТ-да мұндай ақпарат болған жағдайда); мақсаттық функцияның шексіз жиынының реттік редукциясы (қысқаруы) жолымен.

Айқын емес математикалық бағдарламалауда стохастикалық бағдарламалаудағыдай есептерді шешудің екі түбегейлі әртүрлі тәсілдері рұқсат етіледі.

Біріншісінде оңтайландыру модельдерінің айқын емес параметрлерінің тиістілік функциялары белгілі болады. Сондай-ақ бірқатар жағдайларда бастапқы айқын емес есепті эквивалентті айқын есеппен (жанама тәсілдері) алмастыруға болады.

Екінші тәсілде ШҚТ кез-келген нүктеде тиістілік функциясына айқын емес айналыммен бағалау бере алады. Бұл бағалауды қолданатын АЕМБ есептерін шешу тәсілдері тура тәсілдер деп аталады.

Бұл тәсілдердің барлығы айқын есептер реттілігін бастапқы айқын емес есептерді келтіруге негізделген. Дегенмен, тәжірибеде алынған есептің шешімі болмайтын жағдайлар жиі кездеседі, өйткені барлық шектелімдерді бір уақытта қанағаттандыратын  $x$  альтернатива (тәуелсіз айналым) болмайды. Бұл жағдайларда бастапқы ақпараттың айқын еместігін сақтай отырып айқынсыздықты ескеретін, АЕМБ есептерін қою қажет. Барлық шектелімдерді бір уақытта қанағаттандыру мүмкін болмағандықтан әртүрлі критерийлі шектелімдерді есепке алудың ымыралық сұлбаларын қолдануға тура келеді. АЕМБ мұндай есептердің отбасыларын қалыптастыру және шешім қабылдаудың әртүрлі ымыралық сұлбаларында негізделген оларды шешу тәсілдерінің жинағы [14, с. 245-267; 41, с. 62-68; 43, с. 15-20; 45, с. 88-107] жұмыстарында ұсынылған және келесі бөлімдерде талқыланады.

Басқа авторлардың тәсілдеріне қарағанда, біз ұсынған АЕМБ есептерін қалыптастыру және шешу тәсілдерінде критерийлер мен шектелімдерді сипаттау кезінде алынатын бастапқы айқын емес ақпарат сақталады және ШҚТ үшін ыңғайлы түрінде, шешімді қабылдаудың әртүрлі ымыралық

сұлбаларының негізінде көп критерийлік мәселелері рұқсат етіледі. Бұл айқын емес ортада өндірістік жағдайларды сәйкесінше сипаттауға және өндірістік жағдайларды басқару кезінде пайда болатын шешімді қабылдау есептерінің тиімді шешімін алуға мүмкіндік береді. Есептің қойылымы барысында оңтайлықтың сол немесе басқа да принциптерін қолдана отырып біз бастапқы көп критерийлік есептің әртүрлі түрлерін шығарамыз. Бұл әртүрлі шешімдер мүмкіндігі ШҚТ-ға көп ойланбай оларды қарапайым салыстырып ең жақсысын таңдауға мүмкіндік береді.

Диссертацияда өндірістік нысандарды басқару үшін шешімді қабылдау есептері қалыптасатын және оларды шешу тәсілдері жасақталатын негізгі өндірістік жағдайларды (ӨЖ) келтірейік.

Өндірістік жағдайды келесі жинақпен сипаттауға болады, мысалы:  $\{X, Y, Z, P, T\}$ , мұндағы  $X$  – жүйенің жағдайының жиыны, режимдік параметрлері;  $Y$  – соңғы нәтижелер жиыны, қалаулы қорытынды (өндірістік көрсеткіштер, нысанның жұмыс сапасы және т.б.);  $Z$  – жүйеге әсер ететін басқарылмайтын факторлар жиыны;  $P$  – жүйенің элементтерін өзара байланыстыратын түрлендірулер, технологиялар, операциялар және заңдылықтар жиыны;  $T$  – бұларға қатысты жағдай бағаланатын уақыт кезеңдерінің жиыны.

Біз келесі ерекшеліктерімен типтік өндірістіктерді қарастырамыз [3, с. 258-272]:

1 Бастапқы статистикалық ақпараттың жеткіліксіздігі анық. Тіпті шынайы деректер болған жағдайда олар болашаққа бағытталған, шешімді қабылдау үшін сенімді база бола алмайды, өйткені қазіргі шарттар мен жағдайлар ары қарай өзгеруі мүмкін.

2 Қажетті сандық ақпаратты жинау мүмкін емес, немесе уақытша үлкен және (немесе) қаржылық-материалдық шығындар салдарынан орынсыз.

3. Ақпараттың негізгі (кейбір жағдайларда жалғыз) көзі болып адам – ШҚТ табылады, сондықтан жиналған ақпарат айқын емес баяндау және ШҚТ қалаулары түрінде айқын емес болуы мүмкін

4 Нысанның жұмысын сипаттау, ағымдағы жағдайларды танып білу және талдау барысында, сондай-ақ шешімдерді таңдау кезінде ШҚТ-ның субъективті бағалаулары, қалаулары, тәжірибесі және ішкі түйсігі анықтаушы рөлді атқарады.

Өндірістік жүйенің жұмыс істеу нәтижелері, жұмыс сапасы, әдеттегідей локальды критерийлер жиыны бойынша бағаланады. Бұл критерийлердің салмағы мен басымдығы ШҚТ-мен бағалануы мүмкін. Қалыптасқан өндірістік жағдайға байланысты локальды критерийлердің маңыздылығы ауысуы мүмкін.

Өндірістік нысандарды басқару және шешімді қабылдау есептерін қалыптастыру және шешу кезінде туындайтын келесі жағдайларды бөлуге болады:

1 Өндірістік жағдай (ӨЖ–1). Сондай-ақ өндірісті басқару бір критериймен (нысаналы функция) және бірнеше шектелімдермен сипатталады, бұған қоса айқын емес болып критерий, немесе кез-келген шектелім табылуы мүмкін. Бұған көп критерийлік есептер жатады, яғни критерийлердің біреуісі (бастысы)

нысаналы функция (немесе локальды критерийлерге тұқырту жүргізу) болып, ал қалғандары шектелімдер болып қарастырылады.

2 ӨЖ–2, бірнеше критерийлер болғанда шешімді қабылдау есебін қою қажеттілігі туындаған жағдайлар. Мұнда әртүрлі критерийлердің физикалық табиғатының, олардың қарама-қайшылығының салдары және басқа да себептері есепті бір критерийлікке бірден әкелмейді.

3 ӨЖ–3, ең ортақ жағдай бұл өндірістік жүйенің жұмыстарының сапасы әрқайсысы айқын емес болуы мүмкін, бірнеше критерийлермен және шектелімдермен бағаланғанда. Бұл жағдайда өндірістік жағдайды басқару алдағы өткен жағдайлар үшін жасақталатын тәсілдердің аралас қолданылуына әкеледі.

### **1.3 Эксперттік бағалау тәсілдерін қолдану. Айқын емес ортада эксперттік бағалауды ұйымдастыру және жүргізу**

*Эксперттік бағалаулар тәсілдері* бұл нысанды сипаттау үшін, рационалдық шешімдерді дайындау және таңдау үшін [48] қажетті ақпаратты сарапшы-мамандардан алуға бағытталған математика-статистикалық және логикалық тәсілдер және процедуралар кешені болып табылады. Бұл тәсілдердің түйіні болып пайымдамалардың және ресми ақпараттың сандық және сапалы бағалауымен мәселерге сарапшылардың ішкі түйсік-логикалық талдауларын жүргізу табылады, ішкі түйсіктер, білімдер, логикалық ойлаулар және сандық бағалаулар - өндірістік нысандарды басқару кезінде есепті талдауда және шешім қабылдауда тиімді шешім алуға мүмкіндік береді.

Эксперттік бағалау тәсілдерін қолдану саласы өте кең. Осы тәсілдермен шешілетін, өндірістің негізгі есептері ретінде бөлінетіндер [49]:

- ақпараттың тапшылығы кезінде күрделі нысандар мен процестердің математикалық модельдерін жасау;

- сандық және сапалы ақпарат негізінде шешім қабылдау есептерін шешу.

Эксперттік бағалалаулар тәсілдерінің тәжірибелік қолданудың кейбір сұрақтарын қарастырайық.

Күрделі жүйелерді және өндірістік процестерді зерттеу және басқару кезінде туындайтын көптеген мәселелерді және шешім қабылдау есептерін тиімді шешу тек математикалық модельдердің және компьютерлік жүйелердің негізінде ғана мүмкін. Мұндай нысандардың модельдерін жасау кезіндегі негізгі мәселе ақпараттың тапшылығы. Мұндай жағдайларда, жоғарыда айтылғандай жеткіліксіз ақпаратты өтейтін қосымша деректер эксперттік сауалнама негізінде алынады. Мамандар зерттелетін нысанды сандық немесе сапалы суреттеулері мүмкін. Кейін арнайы ресми тәсілдердің көмегімен алынған ақпаратты өңдеу жүзеге асырылады.

Біз Атырау мұнай өңдеу зауытында қолданылатын бензол өндірісінің технологиялық кешенінің математикалық модельдерін жасау үшін эксперттік тәсілдерді қолдандық [14, с. 37-55; 40, с. 262-266; 50]. Осы агрегаттар үшін технологтарға, операторларға (сарапшыларға) сауалнама жүргізу арқылы олардың жұмысы туралы сөздік сипаттау алынды, бұл эксперттік бағалаулар және айқын емес жиындар теориясының тәсілдерімен өңделгеннен кейін бензол



өндірісі кешендерінің сәйкес агрегаттарының айқын емес модельдерін синтездеу үшін қолданылды.

Басқару процесінде күрделі мәселелерді шешуге арналған ғылыми құрал ретінде қоданылатын *басқару* есептерінде ерекше рөлді эксперттік бағалаулар атқарады. Эксперттік бағалаулар сондай-ақ модельдеу және шешім қабылдау есептерінде адамның көрінісі мен пайымдамасын білдіретін компьютерлік білімдер базасын жасау үшін жетістікпен қолданылады [51, 52].

Соңғы уақытта эксперттік жүйелерді [52, с. 301-315] және шешім қабылдаудың интеллектуалдық жүйесін [53, 54] жасау үшін эксперттік білімдердің қолданылуымен байланысты, перспективалық бағыт дамуда.

Сарапшылардың жиналған пікірлерін өңдеу сандық (сандық деректер) ретінде, сондай-ақ сапалы (мағыналы ақпарат) ретінде жүргізіледі. Сондай-ақ әртүрлі тәсілдер қолданылады. Жеткілікті ақпараттық материалы бар сұрақтарды шешу үшін сандық деректер болған жағдайда негізінде эксперттік пайымдамаларды орташалау қолданылатынын атап өткен жөн. Дегенмен, сандық деректер болған жағдайда, бірақ шешілетін сұрақ бойынша (басқару жүйесін жобалау кезінде жиі кездеседі) ақпарат жеткіліксіз болғанда эксперттік деректерді сандық өңдеу тәсілдерімен бірге, сондай-ақ сапалы талдау және синтез тәсілдері қолданылады.

Кейбір жағдайларда өндірісте сарапшылар нысанның жағдайын тек сапасы бойынша ғана бағалай алады, яғни жүйенің жұмыс істеуі сөзбен сипатталады. Құрамында сандық ақпараты жоқ эксперттік бағалауларды сапалы (айқын емес ортада) деп атайық. Біз зерттейтін нысандарда - өндірістік жүйелерде жиі ұйымдастыру жүргіземіз, атап айтқанда айқын емес бағалауларды алу, оларды алу және өңдеу ерекшеліктерін қарастырайық.

Ақпаратты алу және бағалау тәсіліне байланысты сапалы эксперттік бағалауларды екі топқа бөлуге болады:

- алдын-ала жасалған шкалалар бойынша жүргізілетін, бағалаулар (сапалық белгілерін бағалау);

- шкалаларын алдын-ала жасау мүмкін емес бағалаулар.

Бірінші топтың бағалаулары барлық мәндері кейбір стандарттармен, терминдермен және өрнектермен анықталуы және саналуы мүмкін сапалы вариациясы бар белгілер мәндерін анықтау кезінде қолданылады. Мысалы, «процестің зерттелетін параметрінің алынатын өнімнің саны мен сапасына әсері» белгісінің градациясы болуы мүмкін:

1 Өнімнің саны едәуір ұлғаяды, ал өнімнің көрсеткіштер сапасы нашарлайды.

2 Өнімнің саны ұлғаяды, сапасы нашарлайды және т.б.

3 Өнімнің саны өзгермейді, сапасы жақсарады және т.б.

Айқын емес факторларды бағалау кезінде айқын емес теориялармен негізделетін эксперттік бағалауды жүргізу тәсілдерін жүргіземіз.

Айқын емес ортада эксперттік бағалау кезінде сарапшылар тобы келесі негізгі операцияларды орындаулары қажет:

- қойылған есептер жағдайларында маңызды болуы мүмкін факторлардың, белгілердің және басқа да айқын емес көрсеткіштердің мүмкінше толық тізімін жасау;

- айқын емес белгілердің мүмкін мәндерінің шкалаларын жасау;
- айқын емес көрсеткіштердің мазмұнды топтасуын жүргізу;
- айқын емес бағалаулардың өзара байланысын табу және сипаттау;
- кешенді бағалауды немесе шешім қабылдау сұлбасын жасау үшін маңызды айқын емес белгілер қатынасын анықтау.

Нақты есептерде айқын емес параметрлерді ұсынудың келесі тәсілдері қолданылуы мүмкін:

- тиістілік функциясының мәні  $\mu_c(x) \in [0, 1]$ ;
- белгіленген элементтердің жиынтығы болып табылатын шкаладағы мәні  $x_i$ ;
- график түрінде;
- аналитикалық функция түрінде.

Айқын емес санаттарды ұсынудың таңдалған тәсіліне сәйкес сарапшыларға сауалнама жүргізудің қолданылатын тәсілдеріне жататындар:

- интервалдағы дербес өлшеу  $[0, 1]$ ;
- тиістілік функциясының графигін жеке қалыптастыру;
- белгіленген нүктелерді дербес қалыптастыру (қырлары - ортасы - аралығы);
- аналитикалық функцияны дербес қалыптастыру.

Сарапшы нысанның әртүрлі параметрлерін, альтернативаларын және т.б. салыстыруы, оларға «маңызды», «қолайлы», «... салыстырғанда аса маңызды емес», «... қатты әсер етеді», «аздап әсер етеді» сөздік бағалауларын беруі, қызықтыруына байланысты бірнеше нысанды реттеуі мүмкін, бірақ әдетте ол бір параметрдің немесе альтернативаның мәні бойынша басқасынан қанша рет асып түсетінін айта алмайды. Басқа сөзбен айтқанда, сарапшының жауаптары әдетте реттік шкалада өлшенеді, сандық емес табиғаттың басқа нысандарымен жұптық салыстырудың нәтижелері, саралауы болып табылады.

Осы мәселенің шешімдерінің бірі болып сапалы эксперттік бағалауларды қолдану табылады, яғни құрамында сандары жоқ, сандық емес ортадағы эксперттік бағалаулар. Бензолдың технологиялық процесінің күрделілігі, өлшеудің және бақылаудың өнеркәсіптік құралдарының жетіспеушілігі немесе болмауы басқару процесінде адам-оператордың болуы салдарынан олардың жұмыс істеуі туралы жиналған ақпараттың сипаты, әдеттегідей айқын емес. Бұл жағдайда айқын емес параметрлерді бағалау үшін айқын емес ортада эксперттік бағалауды жүргізу қажет.

Айқын емес факторлардың болуы кезінде деректерді бағалау процедураларын және шешімдерді таңдауды жасау сарапшылардың пікірлерін және айқын емес жиындар теориясын қолануда негізделеді.

*Айқын емес ортада эксперттік бағалауды жүргізу тәсілдемесі.*

Айқын емес ортада эксперттік бағалаудың ұсынылған тәсілдерінің негізгі кезеңдерін қарастырайық:

1 Бағалау нысанын, есептер және операциялар класын категориялау.

2 Бағалау нысанына және операциялар класына сәйкес терм-жиындарды, айқын емес, лингвистикалық айналымдарды таңдау.

3 Нысанды және есептерді сипаттайтын шкалалар типін таңдау.

4 Бағалау тәсілін және бағалау жүргізуді анықтау.

5 Зерттелетін нысанды талдау негізінде «айқын емес» эксперименттерінің толық жоспары құрылады. Жоспарды құру эксперименттерді математикалық жоспарлау кезіндегі жоспарға ұқсас, мұнда сандық деректердің орнына айқын емес сандар түріндегі шамалас мәндердің немесе лингвистикалық айналымның (терм) мәні қолданылады.

6 Сарапшылар практикалық тәжірибе және білім негізінде, жоспардың іс жүзінде жүзеге аспайтын немесе апаттық жағдайларға әкелетін нұсқаларын (сондай-ақ олар жоспардан әрбір нұсқаны алып тастау себептерін негіздеулері тиіс) алып тастайды.

7 Басқа да барлық нұсқалары бойынша сарапшылар кіріс факторларының берілген қатынасының нысанның шығыс параметрлеріне әсерін бағалайды (тәжірибе нұсқалары). Бағалау 2-тармақта таңдап алынған терм-жиындар негізінде жүзеге асырылады.

8 Кейбір нұсқаларды бағалау кезінде сарапшылар сенімсіз болған жағдайларда жоспарға сәйкес мүмкіндігінше осы нұсқаларды жүзеге асыру және нәтижелерін бағалау қажет.

9 Белгілерінің және олардың жиынтығының (нысанның ішкі түйсік бейнесіне сәйкестігі) субъективтік үйлесімділігін тексеру керек. Өйткені жоспарларды бағалау кезінде сарапшылар тобы қатысуға тиіс, келесі кезең болып белгілі тәсілдеме бойынша олардың пікірлерінің келістілігін анықтау табылады. Егер де сарапшылар пікірі негізінде сәйкес келсе, яғни конкордация коэффициенттерінің мәндері 1 және  $W_R \geq W_T$  жақын болса, онда жоспарларды жүзеге асыру және алынған нәтижелерді өңдеуге ауысу, мұндағы  $W_R$ ,  $W_T$  – таңдап алынған деңгей үшін конкордация коэффициенттерінің сәйкесінше есептік және кестелік мәндері.

10 Егер де  $W_R < W_T$ , яғни сарапшылар пікірлері негізінде сәйкес келмейді, оларға басқа сарапшылардың жауаптарымен танысуға, өздерінің алдыңғы бағалауларын талдауға және түзетуге мүмкіндік беріледі, яғни эксперттік процедура қайталанады.

11 Соңғы нәтижелерді алу үшін алынған ақпарат айқын емес жиындар мен мүмкіндіктер теориясының тәсілдерімен өңделеді.

Осылайша, әртүрлі өндірістік жүйелердің және процестердің математикалық модельдерін жасақтау кезінде анықсыздықпен және бастапқы ақпараттың тапшылығымен байланысты мәселелер жиі туындайды.

Эксперттік бағалаулар тәсілдерінің, ішінара Дельфи тәсілінің негізінде анықсыздық жағдайларында бензолды өндірудің технологиялық процесін математикалық сипаттау үшін эксперттік бағалаулар тәсілдерін қолдану нәтижелерін қарастырайық. Біз қолданған тәсіл, сауалнаманың қайталама процедурасы болып табылады. Сондай-ақ сарапшылар арасында жеке байланыстың болмауы талаптары және оларды дәлелдеме мен сын бағалауларының анонимдігін сақтау арқылы сауалнаманың әрбір айналымын

бағалаудың барлық нәтижелері бойынша толық ақпаратпен қамтамасыз ету орындалады [55].

Тәсіл процедурасына сауалнаманың бірнеше реттік кезеңдері кіреді. Бірінші кезеңде сарапшыларға жеке сауалнама қойылады, әдетте сауалнама түрінде. Сарапшылар оларды дәлелдемей-ақ жауап береді. Жүргізілген зерттеу мен талдау негізінде, бензолдың саны мен сапасына бензолды алу процесінің режимдік параметрлерінің мәнін бағалау және процестің математикалық сипатын құру үшін қажетті ақпаратты жинау мақсатымен сарапшыларға арналған сауалнаманың құрылымы жасақталды. Сауалнама түрі төменде көрсетілген (кесте 1.1).

Кесте 1.1 – Сауалнама түрі

Бензолдың саны мен сапасына бензол өндірісінің технологиялық процесінің режимдік параметрлерінің маңыздылығын бағалауға арналған сауалнама			
Құрметті сарапшы маман, таңдалған параметрлердің әрқайсысының тиісті дәрежеде өндірілген бензолдың саны және сапасына әсерін бағалаңыз			
Кіріс және режимдік параметрлер		Көлем бағанасы	Сапа бағанасы
$x_1$	Кіріс шикізат мөлшері	-	-
$x_2$	Сапалық көрсеткіш -күкірт мөлшері	-	-
$x_3$	Сапалық көрсеткіш-ароматты көмірсутегі мөлшері	-	-
$x_4$	R 401 реактор температурасының көрсеткіші	-	-
$x_5$	R 401 реактор қысымының көрсеткіші	-	-
$x_6$	C 401-дегі температура көрсеткіші	-	-
$x_7$	C 401 -дегі қысым көрсеткіші	-	-
$x_8$	Катализатордағы құрам көрсеткіші	-	-
$x_9$	Мұнай өнімінің қалдық көлемі	-	-
$x_{10}$	П 401-дегі температура көрсеткіші	-	-

Толтырылған сауалнамадағы деректер арнайы кестеге енгізіледі. Жоғарыда келтірілген сауалнама бензолдың өндіріс жоспарымен айналысатын Атырау МӨЗ мамандарына және бензолды өндіру және математикалық модельдеу мәселелерімен айналысатын ғалымдарға, зерттеушілерге толтыруға ұсынылды. Олар шығарылатын бензолдың көлеміне және оның сапасына келтірілген параметрлерінің әсерлеріне бағалау жүргізеді. Алынған деректерді бағалау және өңдеу нәтижелері 1.2 және 1.3 кестелерінде келтірілген.

Кесте 1.2 - Бензолды өндіру және оны өңдеу кезінде өнімнің көлемін эксперттік бағалау нәтижелері

Эксперт шифрі $R_i$	Рангтік бағалар $R_{ij}$										$\Sigma R_{ij}$	$T_i$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	10	8	2	3	2	4	3	5	7	45	1
2	1	9	8	2	3	3	4	4	5	7	46	1

## 1.2-ші кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	1	10	7	2	3	2	3	4	6	7	45	1,5
4	1	10	7	2	2	2	3	4	5	7	43	2,5
5	1	10	8	2	3	2	4	4	5	6	45	1
6	1	9	8	2	3	3	4	4	5	7	46	1
$S_{ji}$	6	58	46	12	17	14	22	23	31	41		$\bar{S}=27$
$\gamma_j$	0,200	0,0070	0,077	0,0510	0,159	0,170	0,140	0,137	0,107	0,07	-	-
$S_{j0}$	0,200				0,159	0,170	0,140	0,137	0,107		-	-
$\gamma_{j0}$	0,178				0,142	0,152	0,125	0,122	0,095		-	-
$\Delta_j = S_{ji} - \bar{S}$	-21	31	19	-15	-10	-13	-5	-4	4	14	-	-
$\Delta_j^2 = (S_{ji} - \bar{S})^2$	441	961	361	225	100	169	25	16	16	196	-	$\sum (S_{ji} - \bar{S})^2 = 2510$

Көгілдір түспен бөлінген, ұяшықтарға (1-6 жолдары, *A-J* бағаналары) сауалнамалардың деректері енгізілген. *A-J* бағаналарының саны көрсеткіштер санына сәйкес (сап түзеуге ұсынылған сипаттамалар санына). 1-6 жолдарының саны сап түзеуге қатысқан сарапшылардың санына сәйкес.

Кестенің көрсеткіштерін есептеу келесі формулалар арқылы жүзеге асырылады:

*K бағанасы.* Барлық көрсеткіштердің дәрежелік бағалаулардың сомасы:

$$\sum R_{ij} = 1+2+\dots+n = n(n+1)/2 = 10(10+1)/2 = 55$$

мұнда  $n$  – көрсеткіштер саны. Біздің жағдайда  $n=10$ .

*L бағанасы.* Есепті жеңілдету үшін және  $T_i$  есептемеу үшін сауалнаманың ескертуінде «Әртүрлі сипаттамаларға бірдей дәрежені иеленуге жол берілмейді» жазу ұсынылады. Бұл жағдайда  $T_i = 0$ .

Бірақ, бірдей сипаттамаларға бірдей дәреже берілетін болса, онда есептеу үшін келесі формула қолданылады:

$$T_i = \frac{1}{12} \cdot \sum_{j=1}^n (t_{ij}^3 - t_{ij})$$

мұнда  $n$  -  $i$ -ші сарапшының бірдей бағалауларымен дәрежелер саны;

$t_{ij}$  -  $i$ -ші сарапшының бірдей дәрежелерімен бағалаулар саны.

7 жол  $A-J$  бағаналары.  $S_{ij}$  – әрбір белгісі бойынша дәрежелі бағалаулар сомасы.

7 жол  $L$ .  $\bar{S}$  бағаналары – барлық көрсеткіштер үшін дәрежелердің орташа сомасы

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^m S_{ij}$$

мұнда  $n$  – көрсеткіштер саны;

$m$  – сарапшылар саны.

8 жол  $A-J$  бағаналары.  $\gamma_j$  – әрбір параметрдің салмақтық коэффициенті:

$$\gamma_i = (m \cdot n - S_{ij}) / (0,5 \cdot m \cdot n \cdot (n - 1))$$

9 жол. Айтарлықтай маңызды көрсеткіштердің  $S_{j0}$  дәрежелі бағалаулар сомасы. Айтарлықтай маңызды көрсеткіштер болып салмақтық коэффициенті 0,1 артық көрсеткіштер саналады. Олар үшін 7 жолдан деректерді 9 жолға ауыстырамыз.

10 жол.  $\gamma_{j0}$  - әрбір маңызды сипаттаманың қатысты коэффициенті:

$$\gamma_{j0} = \gamma_j / \sum \gamma_j$$

мұнда  $\gamma_j$  – айтарлықтай маңызды сипаттамалардың үлесті коэффициенттері.

11 жол. Әрбір белгісі бойынша дәрежелі бағалаулар сомасының орташа шамадан ауытқуы  $\Delta_j = S_{ji} - \bar{S}$ .

12 жол.  $L$  бағанасы. Бақылау сомасы  $\sum (S_{ij} - S)^2$ .

Конкордация коэффициенті:

$$W = \frac{\sum (S_{ij} - S)^2}{(1/12)m^2(n^3 - n) - (m \sum T_{ij})} = 2510 / (0,08 \cdot 36 \cdot (103 - 10) - (6 \cdot 8)) = \\ = 2510 / (0,08 \cdot 36 \cdot 990 - 48) = 2510 / 2803,2 = 0,9.$$

Конкордация коэффициентінің мәні  $W=0,9$ , яғни сарапшылар бағалаулары өзара жақсы келісілген.

Келесі кестеде 1.3 бензолдың сапасына процестің параметрлері әсерлерін эксперттік бағалау нәтижелері және алынған деректерді өңдеу нәтижелері келтірілген.

Кесте 1.3 – Бензолдың сапасын эксперттік бағалаудың нәтижелері және оны өңдеу нәтижелері

Эксперт шифрі $R_i$	Рангтік бағалар $R_{ij}$										$\Sigma R_{ij}$	$T_i$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>		
1	10	2	1	3	5	4	7	3	9	6	50	0,5
2	10	3	1	2	6	5	8	4	9	7	55	0
3	10	2	1	3	5	4	7	3	9	6	50	0,5
4	10	3	1	2	5	4	7	3	9	6	50	0,5
5	10	3	1	2	6	5	8	4	9	7	55	0
6	10	3	2	2	5	4	7	3	9	6	50	0,5
$S_{ji}$	60	16	7	14	32	26	44	20	54	38		$\bar{S}=31,1$
$\gamma_j$	0,000	0,162	0,196	0,170	0,103	0,125	0,059	0,148	0,022	0,081	-	-
$S_{j0}$		0,162	0,196	0,170	0,103	0,125		0,148			-	-
$\gamma_{j0}$		0,179	0,216	0,188	0,113	0,138		0,163			-	-
$\Delta_j=S_{ji}-\bar{S}$	28,9	-15,1	-24,1	-17,1	0,9	-5,1	12,9	-11,1	22,9	6,9	-	-
$\Delta_j^2 = (S_{ji} - \bar{S})^2$	835,21	228,01	580,81	292,41	0,81	26,01	166,41	122,1	524,41	47,61	-	$\sum(S_{ji} - \bar{S})^2 = 2823,79$

Бұл жағдайда конкордация коэффициенті:

$$W = \frac{\sum (S_{ij} - \bar{S})^2}{(1/12)m^2(n^3 - n) - (m \sum T_{ij})} = 2823,79 / (0,08 \cdot 36 \cdot (103 - 10) - (6 \cdot 2)) =$$

$$= 2823,79 / (0,08 \cdot 36 \cdot 990 - 12) = 2823,79 / 2839,2 = 0,99$$

$W=0,99$ , яғни сарапшылар бағалаулары өзара жақсы келісілген.

Эксперттік бағалауды өңдегеннен кейін алынған ақпарат бензол өндірісі процесінің негізгі параметрлерін анықтау үшін, процестің кіріс және режимдік параметрлерінің шығыс параметрлеріне әсерлерін бағалау үшін қолданылды, яғни бензолдың өндіру кешенінің математикалық модельдерін жасау және олардың жұмыс режимдерін басқару үшін қолданылды.

Өндірілетін бензолдың сандық және сапалық көрсеткіштерінің эксперттік бағалаудың алынған негізгі нәтижелері және оны өңдеу нәтижелері, конкордация коэффициенттерінің мәні 0,9 артық екенін көрсетеді, яғни сарапшылар бағалаулары өзара келісілген. Бұл нәтижелер жүргізілген зерттеулердің, эксперттік бағалауды жүргізудің дұрыстығын көрсетеді.

Эксперттік бағалауды айқын емес жиындар теориясы аппаратының негізінде айқын емес ортада жүргізудің жоғарыда ұсынылған ұйымдастыру және жүргізу тәсілінің айқын емес ортада эксперттік бағалауды жүргізу мәселелерін шешуде ғылыми жаңалығы және практикалық маңыздылығы бар.

Ұсынылған тәсілдің негізінде келесі негізгі факторлардың жиынтығы жатыр: есептің, айқын емес категориялар, шкалаларды қалыптастыру тәсілінің, сарапшыларды сұрастыру тәсілдерінің және алынған сапалы ақпаратты өңдеу ерекшеліктері.

1.4 кестеде Шығыс өнімдерінің санына және сапасына қарай бензол өндіру қондырғысы кіріс параметрлері әсерлерін айқын емес эксперттік бағалау үшін сауалнаманың фрагменті және бағалау нәтижелері ұсынылды.

Кесте 1.4 – Шығыс параметрлеріне бензолдың өндірісі бойынша қондырғының режимдік, кіріс параметрлерінің әсерлерін бағалаудың фрагменті

Кіріс, режимдік параметрлер										Шығыс параметрлері							
$x_1$ – бензол алу процесінің шикізат	$x_2$ – шикізат сапасы – құрамындағы күкірт	$x_3$ –ароматты көмірсутектер құрамы	$x_4$ –расақтордағы температура	$x_5$ –реактордағы қысым	$x_6$ – температура в бензольной колонне	$x_7$ – бензолдық колоннадағы қысым	$x_8$ – катализатор құрамы	$x_9$ – рециркуляция көлемі	$x_{10}$ – пеш шығысындағы температура	$y_1$ – Бензол шығысы (көлемі)	$y_2$ – ауыр ароматика шығысы	$y_3$ – рафинад көлемі	$y_4$ – ҚМГ (СНГ) шығысы	$y_5$ – СКГ шығысы	$y_6$ – отын газының шығысы	$y_7$ – бензолдың орташа ОС (ОЧ)	$y_8$ – бензолдағы күкірт құрамы
н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	о	о	ож	н	н	н	н	нт
нж	н	н	н	н	н	н	н	н	н	ож	ож	о	н	н	н	нт	н
Ескертулер: 1 н (н) – норма; 2 о (с) – орташа; 3 ож (вс) – орташадан жоғары; 4 нт (нн) – нормадан төмен; 5 нж (вн) – нормадан жоғары; 6 және т.б.																	

#### 1.4 Бензол өндірісінің ХТЖ – зерттеу нысанының жүйелік талдауы және сипаты

Атырау МӨЗ-дағы бензол өндіру технологиялық кешенін зерттеу объектісі ретінде сипаттайық. Бензол және ароматикалық көмірсутектер өндіру кешенін салу мақсаты ҚР мұнай химиясы өнеркәсібін дамыту бағдарламасын орындау аясында мұнай химиясы шикізаттарын өндіруді қамтамасыз үшін қазіргі заман



талаптарына сай техникалық базаны ұйымдастыру және дамыту, сондай-ақ, әлемдік экологиялық стандарттар сәйкес келетін жоғары сапалы мұнай өңдеу өнімдерін шығару.

Бензол - органикалық химиялық қосынды. Химиялық формуласы  $C_6H_6$ . Бензол бензин құрамына кіреді, сонымен қатар дәрі, пластмасса, синтетикалық резина өндіру өнеркәсіптерінде кеңінен қолданылды.

Сондай-ақ бұл өнім химия кәсіпорындарында бензолдан алынатын өнімдердің көптеген ассортименттерін: алкилбензол, нитробензол, альфаметилстирол және тағы басқа өнімдерді өндіруге пайдаланылады.

Бензолды тасымалдау темір жол цистерналарында және автоцистерналарында, баржаларда және металл бөшекелерде жүзеге асырылады. Бір ыдыстан екіншісіне айдау жабық жүйеде жүреді, өйткені бензол улы.

Өндіріс технологиясына байланысты бензолдың түрлі маркаларын алады. Мұнай бензолын бензинді фракциялардың каталитикалық риформингі, толуол мен ксилолдың каталитикалық гидродеалкилдеу процесінде, сондай-ақ мұнай шикізатының пиролизінде алады.

*Қолданылатын шикізат:* Атырау МӨЗ-да қолданыстағы технологиялық қондырғыларынан алынатын гидрогенизат (гидротазаланған ауыр нафта).

*Өндірілетін өнім:* жылына 133 мың тонна (бастапқы жобада 26 мың тонна) бензол,  $C_6H_6$  органикалық қосылыс, қарапайым ароматикалық көмірсутек (мұнай химиясының базалық шикізаты); ауыр ароматика (ОС-100) – жылына 558 мың тонна (тауарлық бензиннің компоненті); рафинат – жылына 82 мың тонна (кесте 1.5).

Кесте 1.5 - Бензол өндіру ХТЖ өндірістік балансының салыстырмалы кестесі

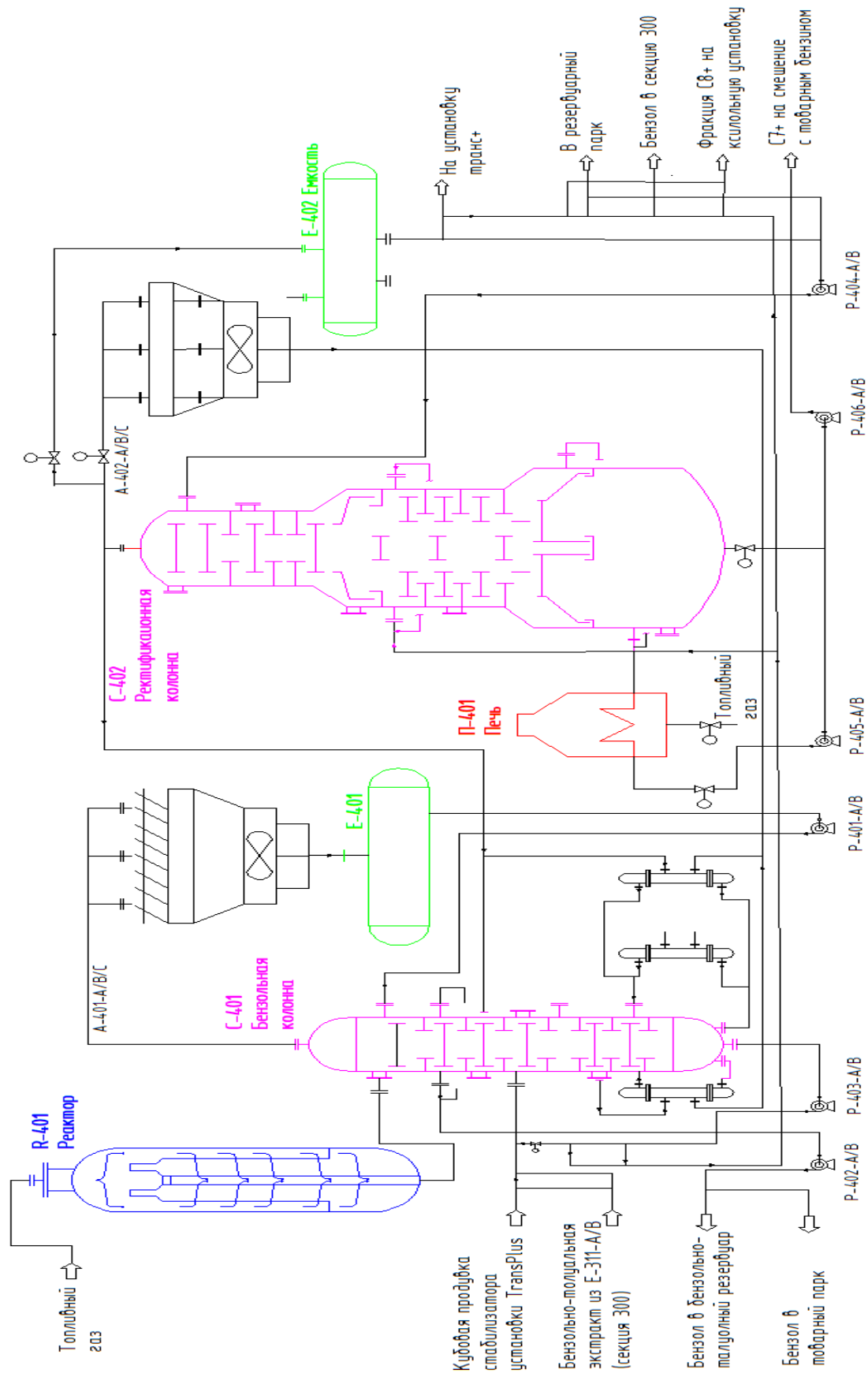
Өнімдер	Жылына мың тоннаға шаққандағы саны
Бензол	133
Ауыр ароматика	451
Рафинат	82
СМГ – сығылған мұнай газдары	22
СКГ – сутек құрамды газдар	57
Отындық газ	1

1.1-суретте Атырау МӨЗ Бензол өндіру ХТЖ технологиялық схемасы келтірілген.

*Бензол өндіру технологиялық процессінің сипаттамасы.*

Шикізат – тазартылған экстракт 113°C температурамен R401 реакторынан E401 жылу алмастырғышына түседі, онда 130°C температураға дейін қыздырылып, C401 бензолдық коллонасына беріледі.

Технологиялық сұлбада шикізат ретінде қолданылатын кубтық өнімді 155°C температурамен E401 сымдылығынан кейін экстрактімен араластыратын TRANSPLUS қондырғысы қарастырылады. C401 коллонасының жоғарғы жағындағы бу конденсацияланып және A401 ауамен салқындату аппаратында салқындатылып 93°C температурамен рефлюксті сымдылыққа беріледі.



Сурет 1.1 – Бензол өндіру ХТЖ технологиялық схемасы

С401 бензолдық колоннасының бесінші тәрелкесіндегі бензол 105°С температурамен Р-402-А/В сорабымен Е403 сулы тоңазытқышқа беріліп, одан 40°С температурамен тауарлы өнім ретінде қондырғыдан шығады. Араматика өндіру кешенінсіз бензол өндіріу кешені жұмысы кезінде: С401 колоннасындағы кубтық өнім – фракция С<sub>7+</sub>, 148°С температурамен Р403 – А/В сорабымен С401 бензолдық колоннасына циркуляциялық ағын ретінде беріледі. С<sub>7+</sub> фракциясының баланстық артық қалдығы Е401 жылуалмастырғышында 133°С температураға дейін, содан кейін сулы тоңазытқышта 40°С температураға дейін салқындатылып, қондырғыдан паркке жіберіледі.

С401 бензолдық колоннаның жоғарғы жағындағы қысым 0,1 (1,0) МПа (кгс/см<sup>2</sup>) және температура 104°С, төменгі жағындағы қысым 0,16 (1,6) МПа (кгс/см<sup>2</sup>) және температура 148°С, бензолды бесінші тәрелкеден шығару температурасы 105°С.

### **1.5 Бөлімнің қорытындысы**

1 Зерттелетін нысандардың - өндірістік жүйелердің негізгі параметрлеріне талдау жүргізілді, ықтималдық тәсілдеріне және айқын емес жиындар теориясына сүйенетін, анықсыздық жағдайларында оларды басқарудың негізгі мәселелері мен тәсілдері қарастырылды. Осы жұмыста ШҚ есептерін қалыптастыратын кейбір өндірістік жағдайлар бөлінді және оларды шешу тәсілдері ұсынылды.

2 Өндірістік жүйелердің негізгі сипаттамалары зерттелді және сипатталды, анықсыздық жағдайларында оларды басқару мәселелері мен оларды шешу тәсілдері қарастырылды. Олар үшін есептер қойылатын әртүрлі өндірістік жағдайлар зерттелді және оларды шешу тәсілдері ұсынылды.

3 Эксперттік бағалауларды қолдану сұрақтары зерттелді. Айқын емес ортада эксперттік бағалауды ұйымдастыру және жүргізу тәсілдемесі ұсынылды.

4 Зерттеу нысаны – бензол өндірісінің технологиялық кешенін жүйелік талдау және сипаттау жүргізілді.

## **2 АНЫҚСЫЗДЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНДА ӨНДІРІСТІК НЫСАНДАРДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ БАСҚАРУ ҮШІН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ТӘСІЛДЕРІ**

### **2.1 Анықсыздық жағдайында түрлі ақпарат негізінде ХТЖ-дің модельдерін құру тәсілі және бензол өндіру кешені негізгі агрегаттарының модельдерін тұрғызу**

Математикалық модельдеу (математикалық модельдер негізіндегі жүйені зерттеу процесі) ең тиімді зерттеу тәсіл ретінде адам қызметінің әртүрлі салаларында қолданылады [2, с. 63-65; 20, с. 289-298; 37, с. 352-358; 56-58]. Өндірістік жүйелердің күйін талдау және басқару үшін қолданылатын математикалық модельдеудің негізгі есептерін қарастырайық. Математикалық модельдер оңтайландыру есептерін, шешім қабылдау есептерін тиімді шешу үшін және нысанға қатысты басқарушы әсерлерді өндіру үшін қолданылуы мүмкін.

Математикалық модельдер тәсілдері локальды критерийлер бойынша көптеген әртүрлі нұсқаларды критерийлер бойынша нақтылы қарастыруға және салыстыруға және ең лайықтысын таңдауға мүмкіндік береді, яғни шығысына қарай нысанның режимдік, кіріс параметрлерінің әсерлері анықталғанда әртүрлі өндірістік жүйелерді басқарудың тікелей есептерін шешу құралы болып табылады. Мұндай есептерді шығару металлургиялық, мұнай өңдеу, химиялық және басқа да өнеркәсіптің әртүрлі нысандарына қатысты [2, с. 63-65; 19, р. 103-108; 37, с. 352-358; 56, с. 120-132; 57, р. 7278-7283; 58, с. 346-349; 59-60] жұмыстарында қарастырылды.

Бұдан басқа, басқарушы режимдік параметрлерден сапа критерийлерінің тәуелділігін анықтауға мүмкіндік беретін модельдердің негізінде кері есептерді шығаруға болады. Сондай-ақ нысанның шығыс параметрлеріне талаптар қойылады, мысалы, нысаналы өнімнің қалаулы саны мен сапасы, әртүрлі шектелімдердің мәндері (қорлары, режимдік параметрлердің өзгеру интервалдары және т.б.). Содан кейін оңтайландырудың арнайы алгоритмдерін қолдана отырып шығыс параметрлерінің – сапа критерийлерінің берілген мәндеріне максималдық жуықтауды қамтамасыз ететін, басқарушы параметрлер жинағын анықтайды. Оңтайландырудың алынған нәтижелерін талдай отырып альтернативаны таңдау жүзеге асырылады (өндіріс жұмыстарының режимдері, басқару мәндері), яғни кері есептерді - шешім қабылдау есептерінің шешімдері [14, 40-357 б.; 34, с. 42-52; 40, с. 262-266; 41, с. 62-68; 61-62].

Нысандарды математикалық модельдеу кезінде сәйкес реттілікпен жүргізілетін бірнеше кезеңдерді бөлуге болады [63, 64]. Кезеңдердің саны мен реттілігі модельдеу кезіндегі қойылған тапсырмаға (мақсатқа) байланысты. Модельдеудің ең ортақ кезеңіне келесі көрсетілгендер жатады:

1 Модельдеудің соңғы мақсаттары анықталатын есептер қойылымы, араларындағы өзара байланыстары бізді қызықтыратын, факторлар мен көрсеткіштер жинағы және зерттеулерді жүргізу реттілігі.

2 Өндірістік жүйелер және олардың ағымындағы процестер туралы априорлық ақпаратты қалыптастыру және математикалық сипаттау жасау. Мұнда бірінші кезеңде анықталған талаптарды қанағаттандыратын қолжетімді ақпаратты жинау және өңдеу жүзеге асырылады, олардың негізінде өндірістік жүйелердің және процестердің математикалық сипатының жасалуы жүзеге асырылады.

3 Модельдеуші алгоритмді және тегінде модельдеу процесін жасақтау.

4 Математикалық модельдердің адекваттығын (модельді тексеру) анықтау. Өртүрлі нысандардың математикалық модельдеудің кезеңдері толығырақ [65, 66] жұмыстарында қарастырылды – анықталған және ықтималдық модельдері жасалған жағдайда, [18, p. 1487-1493; 19, p. 103-108; 42, c. 147-158; 63, c. 158-162] – нақты нысандардың айқын емес модельдері жасалған жағдайларда. Әдебиетте айқын емес модельдерді жасаудың жеткілікті толық тәсілдемесінің және нақты тәсілдерінің сипатталуы жоқ екенін айтып кеткен жөн.

*Түрлі ақпарат негізінде ХТЖ-дің модельдер пакетін құру тәсілі*

Практикада күрделі ХТЖ-дің жеке элементтері әдетте түрлі деңгейде зерттелген, олардың модельдерін құруға қажетті ақпараттар қамтуы да түрлі деңгейде және сипатта болады. Сол себептен түрлі ақпарат негізінде ХТЖ элементтерінің математикалық модельдер пакетін құру тәсілін қарастырайық.

Түрлі ақпараттармен (теориялық, статистикалық, айқын емес) сипатталатын жүйе элементтерінің модельдерін құрудың негізгі қадамдарын келтіріп, сипаттайық:

1 Технологиялық кешенді зерттеу, ол туралы жиналуы мүмкін ақпаратты жинау және өңдеу, модельдеудің негізгі мақсатын анықтау.

2 Модельдеудің негізгі мақсатын ескере отырып, құрылуы мүмкін модельдерді өз ара бағалау және салыстыру критерийлерін анықтау.

3 Анықталған критерийлер бойынша кешеннің әр агрегатының құрылуы мүмкін модельдерін эксперттік бағалау және бағалау нәтижелерінің қосындысы бойынша әр агрегатқа құрылуы тиімді модельдің түрін анықтау:

3.1 Егер кешеннің жеке агрегатының жұмысын сипаттайтын теориялық мағлұматтар жеткілікті болса және басқа салыстыру критерийлерінің қосындысы бойынша детерминді модель тиімді болса, ол агрегаттың детерминді моделін дәстүрлі аналитикалық тәсілдер арқылы құру;

3.2 Егер кешеннің жеке агрегатының жұмысын сипаттайтын статистикалық мәліметтер жеткілікті болса немесе оларды жинау тиімді болса, сондай-ақ басқа салыстыру критерийлерінің қосындысы бойынша статистикалық модель тиімді болса, ол агрегаттың статистикалық моделі эксперименталды-статистикалық тәсілдер көмегімен құру [67, б. 69].

3.3 Егер кешеннің жеке агрегатының жұмысын сипаттайтын теориялық, статистикалық мәліметтер жеткіліксіз болса, оларды жинау тиімсіз болса, ал агрегат жұмысы мен ондағы процесті сипаттайтын айқын емес ақпарат жинау мүмкіндігі болса, сондай-ақ басқа салыстыру критерийлерінің қосындысы бойынша айқын емес модель тиімді болса, ол агрегаттың айқын емес моделі Айқын емес жиындар теориясы тәсілдерін қолдану арқылы құрылады, ол үшін 4 пунктке көшу [37, б. 353; 67, б. 69].

3.4 Егер кешеннің жеке агрегатының жұмысын сипаттайтын теориялық, статистикалық мәліметтер немесе айқын емес эксперттік ақпараттар жеткіліксіз немесе оларды жинау тиімсіз болса, онда жиналған түрлі (теориялық, статистикалық, айқын емес) ақпарат негізінде агрегаттың құрама моделі құрылады. Нақты агрегаттың түрлі параметрлерін сипаттау үшін жиналған ақпараттың сипатына байланысты 3.1, 3.2 немесе 4 пунктке көшу.

4 Модельді құруға қажетті кіріс  $\tilde{x}_i \in \tilde{A}_i, i = \overline{1, n}$  және шығыс  $\tilde{y}_j \in \tilde{B}_j, j = \overline{1, m}$  параметрлерін анықтап, таңдау. Бұл параметрлер лингвистикалық айнымалылар болады ( $\tilde{A}_i \in X, \tilde{B}_j \in Y$  – айқын емес ішкіжиындар,  $X, Y$  – әмбебап жиындар). Кіріс параметрлері айқын болуы да мүмкін, яғни  $x_i \in X_i, i = \overline{1, n}$ .

5 Егер  $x_i \in X_i$ , яғни кешеннің кіріс параметрлері детерминді, яғни айқын болса, онда жиынтық регрессияның айқын емес теңдеулерінің құрылымын анықтау  $\tilde{y}_j = f_j(x_1, \dots, x_n, \tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n), j = \overline{1, m}$  (структуралық идентификация есебін шешу).

6 Эксперттік бағалау тәсілдері негізінде объектіні сипаттайтын ақпарат жинап, айқын емес параметрлердің терм-жиынын  $T(\tilde{X}_i, \tilde{Y}_j)$  анықтау.

7 Модель коэффициенттерінің және объектінің айқын емес параметрлерінің тиістілік функциясын  $\mu_{A_i}(\tilde{x}_i), \mu_{B_j}(\tilde{y}_j)$  тұрғызу.

8 Егер объектінің кіріс және шығыс параметрлері айқын емес болса, онда  $\tilde{x}_i$  және  $\tilde{y}_j$  арасындағы байланысты анықтайтын айқын емес бейнелеуді  $R_{ij}$  формализациялау, яғни объектінің лингвистикалық моделін тұрғызып, 10-қадамға көшу [67, б. 70].

9 Егер 5-ші қадамдағы шарт орындалса, онда таңдалған  $\tilde{y}_j$  функцияларының коэффициенттерінің  $(\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n)$  мәндерін бағалау (параметрлік идентификациялау есебін шешу) 11-ші қадамға көшу.

10 Егер 8-ші пункттегі шарт орындалса, онда композициялық қорытындылау ережесі негізінде объектінің параметрлерінің айқын емес мәндерін анықтап, айқын емес шешімдер жиынынан олардың сан мәндерін таңдау.

11 Модельдің адекваттық шартын тексеру. Егер бұл шарт орындалса, онда модельді технологиялық кешенді зерттеуге және оның оптималды жұмыс режимін табуға ұсыну. Басқа жағдайда адекватты болмауы себебін анықтап, модельді нақтылау үшін алдыңғы пункттерге қайта оралу [37, с. 354; 67, б. 70].

Келтірілген тәсілдің қадамдарына түсініктеме берейік. 1-қадамда модельдеу нысаны ретінде алынған жүйе, оның құрылымы, негізгі элементтері мен оларда өтетін процесстер жүйелі түрде зерттеледі. Жиналуы мүмкін теориялық деректер, статистикалық мәліметтер, эмпирикалық байланыстар мен эксперттік ақпараттар жиналып, өңделеді. Бұл қадамның нәтижесінде модельдің негізгі мақсаты анықталады, ал жиналған және өңделген ақпараттар модельдерді құруға пайдаланылады. 2-қадамда алдыңғы қадамда анықталған модельдеудің негізгі мақсатын ескере отырып, құрылуы мүмкін модельдерді өз ара бағалау және салыстыру критерийлері анықталады [67, б. 69-70].

Келесі 3-қадамда таңдап алынған критерийлер бойынша кешеннің әр агрегатының құрылуы мүмкін модельдерін эксперттік бағалау және бағалау

нәтижелерінің қосындысы бойынша әр агрегатқа құрылуы тиімді модельдің түрін анықтау жүргізіледі. Бұл қадамды орындау және оның нәтижесін кесте түрінде (мысалы кесте 1) жүзеге асырған ыңғайлы және тиімді. 3-қадамның ішкі 3.1 және 3.2 қадамдары белгілі детерминді және статистикалық модельдерді құру тәсілдері негізінде жүзеге асырылады. 3.2 және 3.3 ішкі қадамдар айқын емес жиындар теориясының тәсілдерін және немесе осы тәсілдер мен модельдер құрудың дәстүрлі тәсілдерін үйлестіріп біріге, яғни жүйелі түрде қолдануға негізделген. Олардың мазмұны 4-10 қадамдарда ашылған.

4-ші қадамда қажетті дәлдікке байланысты, нысанның жұмыс сапасын сипаттайтын, мәнді ақпаратты айнымалылар таңдалады. Айқын емес параметрлердің диапазондары ыңғайлылық үшін минималды ( $x^{min}$ ,  $y^{min}$ ) және максималды ( $x^{max}$ ,  $y^{max}$ ) мәндері көрсетілген кесінді түрінде беріледі. Бұл кесінділер эксперт-мамандардың сараптамасына байланысты бірнеше дискреттеу интервалдарына (кванттарға) бөлінеді:

$$x_i^{min} = x_i^1 < x_i^2 < \dots < x_i^n = x_i^{max}, \quad y_j^{min} = y_j^1 < y_j^2 < \dots < y_j^m = y_j^{max}$$

Жиынтық регрессияның айқын емес теңдеулерінің құрылымын анықтау үшін (5-ші қадам) айқын емес регрессиялық талдау әдістемесін қолдануға болады. Бұл кезеңнің негізгі маңызы нысанды сапалық талдау, оның нәтижесінде нысанның жұмысына әсер ететін негізгі параметрлер мен олардың өз ара байланысы анықталады және модельдің құрылымын идентификациялайтын тәсіл таңдалады [67, б. 71].

Жалпы жағдайда бұл әдістеме арқылы құрылатын айқын емес модельдер жиынтық регрессияның айқын емес теңдеулері түрінде болады.

Терм-жиынды құру үшін (6-шы қадам) таңдап алынған әрбір квант сөз жүзінде сәйкес айқын емес терминдермен сипатталады. Мысалы, егер  $\tilde{y}_j$  мұнай өнімінің, мысалы бензиннің сапасы болса, онда оны келесі термдермен сипаттауға болады:  $\tilde{y}_j = \{\text{өте төмен, төмен, орташа, жоғары, өте жоғары}\}$  [67, б. 71].

Қабылданған терм-жиын, зерттеу объектілерінің жұмысын сипаттайтын, лингвистикалық айнымалы шамалардың мәндерінің жиыны болып табылады.

4 – қадамда алынған әрбір дискреттеу интервалы белгілі бір терммен сипатталады. Бұл термдер, оған сәйкес келетін тиістілік функциясымен сипатталатын айқын емес жиындардан тұрады.

7-ші қадам - айқын емес жиындардың тиістілік функцияларын құру, айқын емес жиындар теориясы тәсілдерін қолдану арқылы күрделі жүйелерді модельдеудің негізгі кезеңдерінің бірі болып табылады [67, б. 71]. Бұл функцияның аналитикалық формуласын табудың негізгі әдісі - зерттеу параметрінің сәйкес айқын емес жиынға тиістілеу сызығын графикалық тұрғызу. Тұрғызылған график негізінде, оны дұрыс аппроксимациялайтын, функцияның түрі таңдап алынады. Содан соң алынған функциялардың параметрлері идентификацияланады. Мұнай өңдеу технологиялық объектілерін

модельдеу тәжірибесі негізінде бұл жұмыста тиістілік функциясының келесі құрылымы қолданылады:

$$\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j) = \exp(Q_{B_j}^p | (y_j - y_{mdj}) N_{B_j}^p |) \quad (2.1)$$

мұнда  $\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j)$  - шығыс параметрлерінің мәнін сипаттайтын  $\tilde{y}_j$  араметрлерінің  $\tilde{B}_j$  айқын емес жиынына тиістілік функциясы (дәрежесі);

$p$  - квант нөмері;

$Q_{B_j}^p$  - айқын еместіктің деңгейін анықтайтын және тиістілік функциясын идентификациялаған кезде табылатын параметр;

$N_{B_j}^p$  - айқын емес параметрлердің тиістілік функцияларының термдердің анықтау облысын және графигінің формасын өзгертетін коэффициенттер;

$y_{mdj}^p$  - берілген термге ( $p$  квантінде) ең сәйкес келетін айқын емес айнымалы шама, бұл шама үшін  $\mu_{B_j}^p(y_{mdi}) = \max_j \mu_{B_j}^p(y_j)$  [67, б. 72].

5-қадамда жүйенің лингвистикалық моделін құру үшін шартты қортындылаудың логикалық ережелерін қолдануға болады. Жүйенің лингвистикалық моделі эксперттік ақпаратты өндеу нәтижесінде құрылады. Ыңғайлы болу үшін оны кесте түрінде келтіруге болады. Кестеде сөзбен (айқын емес) кіріс параметрлерінің -  $\tilde{x}_i$  әр түрлі мәндері және оларға сәйкес келетін шығыс параметрлерінің  $\tilde{y}_j$  мәндері келтіріледі. Кесте таңдап алынған терм-жиынды қолдана отырылып толтырылады. Осылайша құрылған модельдің негізінде, кіріс және шығыс параметрлері арасындағы байланысты анықтайтын айқын емес бейне (отображение)  $R_{ij}$  анықталады,  $p$  кванты үшін айқын емес бейне мына түрде анықталады:  $R_{ij} = A_i^p \circ B_j^p$ .

Айқын емес  $R_{ij}$  бейнені қолдануға ыңғайлы болу үшін есептеу кезінде айқын емес байланыстар матрицасын  $\mu_{R_{ij}}(\tilde{x}_i, \tilde{y}_j)$  құру қажет, мысалы жалпы алғанда берілген кванттарға:

$$\mu_{R_{ij}}^p(\tilde{x}_i, \tilde{y}_j) = \min[\mu_{A_i}^p(\tilde{x}_i), \mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j)], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m} \quad (2.2)$$

5-қадамда таңдалған функцияның параметрлерінің бағалануын анықтау үшін 9-шы пункте шығыс параметрлерінің модель арқылы алынған  $\tilde{y}_j^m$  айқын емес мәндерінің экспертті бағалау негізінде іріктелініп алынған  $\tilde{y}_j^o$  мәндерінен ауытқу критерийінің минимизациялануын  $\tilde{R}_j$  (2.2) қолдануға болады [67, б. 72].

Бұл кезеңің негізгі мәселесі зерттеу жүйесінің негізгі қасиеттерін қамтамасыз ететін, белгісіз параметрлерді бағалау тәсілін таңдау болып табылады. Алынған айқын емес модельдер жиынтық регрессияның айқын емес теңдеулері түрінде болады:



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

Сипатталған алгоритмнің 10-шы қадамның негізінде композициялық қорытындылау ережесі  $B_j = A_i \circ R_{ij}$  жатыр. Бұл ереженің көмегімен шығыс параметрлерін есептеуге болады, мысалы, максиминді көбейтіндіні қолдану арқылы [67, б. 72]:

$$\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j^*) = \max_{x_i \in X_i} \{ \min[\mu_{A_i}^p(\tilde{x}_i^*), \mu_{R_{ij}}^p((\tilde{x}_i^* \tilde{y}_j^*))] \} \quad (2.3)$$

мұнда  $\tilde{x}_i^*$  - кіріс параметрлерінің эксперт арқылы бағаланған (өлшенген) мәндері болсын, бұл жағдайда кіріс параметрлерінің ағымдағы мәндері жататын жиын өлшенетін кіріс параметрлерінің тиістілік функциясы макси-малды болатын айқын емес жиын ретінде анықталады:  $\mu_{A_i}(\tilde{x}_i^*) = \max(\mu_{A_i}(\tilde{x}_i))$ .

Шығыс айнымалыларының болжамды мәндері (айқын емес мәндері) сәйкес тиістілік функциялары  $\mu_{B_j}^p(y_j^*)$  (2.3) түрінде анықталады.

Шығыс параметрлерінің  $y_j^c$  нақты сандық мәндері айқын емес шешімдер жиынынан келесі өрнек арқылы анықталады:

$$y_j^{**} = \arg \max_{\tilde{y}_j^*} \mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j^*) \quad (2.4)$$

яғни тиістілік функциясы максимумға жететін параметрлері таңдалады [67, б. 73].

Соңғы 11-ші қадамның мағынасы - модельдің объектіге сәйкес келуін (адекваттығын) тексеру болып табылады. Модельдеу объектісіне модель мына жағдайда адекватты болады деп саналады, егер де кіріс параметрлерінің бірдей мәнінде модельдің көмегімен компьютерде анықталған объектінің сипаттамалары берілген дәлдікпен, объектіден эксперименталды алынған, нақты мәліметтермен сәйкес келсе.

Адекваттық критерийісі ретінде, әдетте, есептеу жолымен (модельдік)  $y^m$  және нақты өндірістік (экспрементальдық) –  $y^o$  мәліметтердің айырмасының мәні қолданылады:  $R = |y^m - y^o|$  [67, 73 б]. Мұнда айырманың рұқсат етілген деңгейі  $R_d$  таңдап алынады. Сонымен,  $R = |y^m - y^o| \leq R_d$  болса, модель адекватты деп есептеледі.

Егер де адекваттық шарты орындалмаса, адекватсыздықтың себебі анықталады, математикалық модель толықтырылып, адекватсыздығы түзеледі. Адекватсыздықтың себебі кейбір негізгі параметрлердің маңыздылығын бағаламау және оны модельде ескермеу, айқын емес теңдеулердің дұрыс емес немесе толық емес құрылымдарын алу, параметрлік идентификациялау кезіндегі қателер т.с.с болуы мүмкін. Адекватсыздықтың себебін анықтаған соң, модельді түзеу үшін келтірілген тәсілдің сәйкес қадамына қайтып келеміз.

*Анықсыздық жағдайларында өндірістік жүйелерді және процестерді модельдеу тәсілдемесі*

Заманауи компьютерлердің, ақпараттық технологиялардың және бағдарламалық құралдардың жылдам дамуы әртүрлі өндірістік, химия-технологиялық жүйелерді модельдеудің және басқарудың күрделі есептерін шешуге ұмтылыс және мүмкіндік тудырды. Мұндай есептерді шешу үшін маңызды бөлігін компьютерде өңдеу үшін жарамды нақты, айқын анықталған сандар түрінде түсініксіз, үлкен көлемдегі айқын емес, күрделі және нақты емес ақпаратты алуда және өңдеуде қажеттіліктер туындайды. Әртүрлі себептер бойынша: өлшеуіш қондырғылардың жетілмегендігіне байланысты немесе көп жағдайларда адам (ШҚТ, сарапшы) ақпараттың негізгі көзі болып табылуы салдарынан, жиналған ақпарат толық емес және айқын болып табылады. Осы себептер бойынша анықсыздықты (соның ішінде субъективті анықсыздық) ұсынудың және талдаудың құралдарын және тәсілдерін, нысанның модельдеу тәсілдемесін, айқын емес ортада өндірістік жүйелерді жасақтау өте маңызды және өзекті есеп болып табылады.

Жүйелерді талдаудың дәстүрлі тәсілдері күрделі өндірістік нысандарды және жүйелерді зерттеу үшін жеткіліксіз жарамды, өйткені олар адамның ой-санасының математикалық айқынсыздығын қалыптастыратын жағдайда емес. Сондықтан күрделі жүйелерді сапалы талдау және олардың математикалық модельдерін құру үшін жоғары дәлдігі және қаталдық қажетті болып табылмайтын және айқынсыздық пен дәлсіздікті жіберетін тәсілдемелік сұлба қолданылатын тәсілдер қажет.

Бастапқы ақпараттың тапшылығымен және айқынсыздығымен сипатталатын ХТЖ, өндірістік нысандарды модельдеудің біз ұсынған тәсілін қарастырайық [5, с. 438-441; 20, с. 289-298; 37, с. 352-358]. Зерттеу және модельдеу нысаны ретінде бірнеше өзара байланысқан қосалқы жүйелерден, элементтерден (технологиялық агрегаттардан) тұратын өндірістік жүйені қарастырайық. Мысалы, технологиялық жүйе өзара материалдық, жылу, энергетикалық және ақпараттық ағымдар бойынша өзара байланысқан бірнеше агрегаттардан тұрады, әрі олардың біреуісінің параметрін өзгерту басқаларының параметрлерінің өзгеруіне әкеледі, бұл алынатын өнімдердің санына және сапасына әсер етеді. Осыған байланысты өндірістік жүйелерді зерттеу және басқару үшін әрбір қосалқы жүйеге, өндірістің аралық және соңғы көрсеткіштеріне, тұтасымен ХТЖ, яғни жүйенің құрылымдық математикалық моделіне кешендердің параметрлерінің әсерін ескере отырып, өндіріс элементтерінің және бөлек қосалқы жүйелерінің байланысқан математикалық модельдері болуға тиіс [37, с. 352-358]. Күрделілігіне және басқа да сипаттамаларға байланысты ХТЖ әрбір элементінің модельдері әртүрлі тәсілдерді (теоретикалық, тәжірибелік-статистикалық, айқын емес жиындар теорияларының тәсілдерінің негізінде, құрастырылған) қолдану арқылы құрылуы мүмкін, яғни әрбір нысан үшін модельдер жинағын алуға болады, мысалы, әртүрлі мүмкіндіктерімен, қасиеттерімен және жасақтау шығындарымен сипатталатын анықталған, статистикалық, айқын емес, құрастырылған. ХТЖ жұмысын жүйелі модельдеу үшін модельдер жүйесін

құру қажет, яғни модельдердің бірыңғай жүйесіне оларды келесі біріктіру мүмкіндігін ескере отырып модельдер жүйесін жасау қажет. Бұл үшін эксперттік бағалау жолы арқылы нысанның модельдерінің әрбір типінің кемшіліктері мен құндылықтарына талдау жүргізіледі, модельдерді таңдау және салыстыру критерийлері шығарылады, оларды біріктіру принциптері анықталады.

Олар бағаланатын модельдердің әртүрлі типтерін салыстырудың негізгі критерийлері ретінде келесі көрсеткіштер ұсынылады: қажетті ақпараттың қолжетімділігі; тағайындалуы бойынша пайдалану мүмкіндігі, мысалы, шешім қабылдау жүйелерінде; жасақтау шығындары; дәлдігі; пайдалану қарапайымдығы және т.б. Өндірістік жүйенің құрамында әртүрлі ағымдармен өзара байланысқан және олар үшін жеке модельдер құрылатын  $N$  нысандар бар дейік. Онда сарапшылармен нысанды кешенді зерттеу, теориялық зертеулерді және тәжірибелік деректерді талдау арқылы жүргізілетін бұл нысандардың модельдерінің мүмкін типтерін бағалау нәтижелері 2.1 кесте түрінде ресімделуі мүмкін. 2.1. кестеде келтірілген эксперттік бағалау нәтижелері бойынша нысан жүйесінің модель типтерін (альтернативаларын) көп критерийлі таңдауы жүзеге асырылады [18, p. 1487-1493; 19, p. 103-108].

Кесте 2.1 - Өндірістік жүйенің ішкіжүйелерінің, элементтер модельдерінің мүмкін типтерін талдау және бағалау

Модельдер түрлері	Критерийлер	Кешен нысандары			
		1	2	...	N
1	2	3	4	5	6
Детерминді	1 Қажетті ақпараттың қолжетімдігі.	$\alpha_{111}$	$\alpha_{112}$	...	$\alpha_{11N}$
	2 Тағайындалуы бойынша қолдану мүмкіндігі.	$\alpha_{121}$	$\alpha_{122}$	...	$\alpha_{12N}$
	3 Жетілдіруге кеткен шығындар.	$\alpha_{131}$	$\alpha_{132}$	...	$\alpha_{13N}$
	4 Дәлдік	$\alpha_{141}$	$\alpha_{142}$	...	$\alpha_{14N}$
	5 Эксплуатациялау қарапайымдылығы	$\alpha_{151}$	$\alpha_{152}$	...	$\alpha_{15N}$
Статистикалық (ықтималдылық)	1 Қажетті ақпараттың қолжетімдігі.	$\alpha_{211}$	$\alpha_{212}$	...	$\alpha_{21N}$
	2 Тағайындалуы бойынша қолдану мүмкіндігі.	$\alpha_{221}$	$\alpha_{222}$	...	$\alpha_{22N}$
	3 Жетілдіруге кеткен шығындар.	$\alpha_{231}$	$\alpha_{232}$	...	$\alpha_{23N}$
	4 Дәлдік.	$\alpha_{241}$	$\alpha_{242}$	...	$\alpha_{24N}$
	5 Эксплуатациялау қарапайымдылығы	$\alpha_{251}$	$\alpha_{252}$	...	$\alpha_{25N}$
Айқын емес	1 Қажетті ақпараттың қолжетімдігі.	$\alpha_{311}$	$\alpha_{312}$	...	$\alpha_{31N}$
	2 Тағайындалуы бойынша қолдану мүмкіндігі.	$\alpha_{321}$	$\alpha_{322}$	...	$\alpha_{32N}$
	3 Жетілдіруге кеткен шығындар.	$\alpha_{331}$	$\alpha_{332}$	...	$\alpha_{33N}$
	4 Дәлдік	$\alpha_{341}$	$\alpha_{342}$	...	$\alpha_{34N}$
	5 Эксплуатациялау қарапайымдылығы	$\alpha_{351}$	$\alpha_{352}$	...	$\alpha_{35N}$

## 2.1 кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
Құрама	1 Қажетті ақпараттың қолжетімдігі.	$\alpha_{411}$	$\alpha_{412}$	...	$\alpha_{41N}$
	2 Тағайындалуы бойынша қолдану мүмкіндігі.	$\alpha_{421}$	$\alpha_{422}$	...	$\alpha_{42N}$
	3 Жетілдіруге кеткен шығындар.	$\alpha_{431}$	$\alpha_{432}$	...	$\alpha_{43N}$
	4 Дәлдік.	$\alpha_{441}$	$\alpha_{442}$	...	$\alpha_{44N}$
	5 Эксплуатациялау қарапайымдылығы	$\alpha_{451}$	$\alpha_{452}$	...	$\alpha_{45N}$

Келтірілген кесте  $a_{ijk}$  ( $i = \overline{1,4}$  – модель типі,  $j = \overline{1,5}$  – модельді бағалау критерийі,  $k = \overline{1,N}$  – нысанның нөмірі (жүйе элементі) –  $k$ -ші нысан үшін  $j$ -ші критерий бойынша  $i$ - модель түрін бағалау, мұны ұпай шкаласы бойынша бағалау ыңғайлы (мысалы бес ұпайлы). Айқын емес бағалау рұқсат етіледі, яғни  $\tilde{\alpha}_{ijk}$  – берілген терм-жиындардың айқын емес айналымы болып табылады, оны  $\mu_{\tilde{A}}(\tilde{\alpha}_{ijk}); \tilde{\alpha}_{ijk} \in \tilde{A}$ ,  $\tilde{A}$  – айқын емес қосалқы жиынтықтар тиістілік функцияларының көмегі арқылы сипаттауға болады.

Нысанның модельдерін (жүйе элементтерін) бірыңғай жүйеге біріктіру жүйенің құрылымына сәйкес жүзеге асырылады. Сондай-қа бір модельдің (есептеу нәтижелері) шығыстары басқасы үшін (шығыс деректері) кіріс болуы мүмкін. Модельдер әртүрлі типті болғанда, өзара байланысқан кірістер мен шығыстар бір түрге қалыптасуы мәселелері туындауы мүмкін. Осылайша, жоғарыда қарастырылған критерийлерден басқа, өндірістік жүйе нысандарының модельдер типін таңдау кезінде олардың түйісу және бір пакетке (модельдер жүйесіне) бірігу мүмкіндіктерін ескеру қажет.

*Айқын емес ортада модельдерді синтездеу тәсілдемелері*

Айқын емес ақпараттың негізінде модельдерді жасақтауға қатысты әртүрлі тәсілдерден үшеуін бөлуге болады [14, с. 25-37; 42, с. 57-68].

1) айқын емес ақпаратты ескеру арқылы регрессиялық талдау идеясын қолдануда негізделген тәсіл;

2) шартты қорытындының логикалық ережелеріе қолдануда негізделген тәсіл;

3) құрастырылған тәсілдер.

Бірінші тәсілемде қолдану нәтижесінде айқын емес коэффициенттерімен регрессиялық модельдер алынады. Мұндай тәсілдің негізінде алынған айқын емес модельдер технологиялық нысандар қатарын басқару және модельдеу кезінде [3, с. 160-180; 42, с. 110-130] жетістікпен қолданылады және нысанның басқа кластарын модельдеу үшін қолданылуы мүмкін.

Бұл тәсілдемеде рұқсат етілетіндер кіріс параметрлерінің анықталған мәндері  $x_i, i = \overline{1,n}$  қолжетімді, ал нысанның шығыс параметрлерінің мәндері  $\tilde{y}_j^M, j = \overline{1,m}$  нақты емес немесе өлшенбейді, олар зерттелетін нысан бойынша адам-маманмен сапалы бағалануы мүмкін.

Бұл жағдайларда  $x_i$ , және  $y_j^M$  арасындағы (модель) математикалық тәуелділігін регрессияның айқын емес теңдіктерімен сипаттауға болады:

$$\tilde{y}_j^M = \tilde{f}_j^M(x_1, \dots, x_n) \quad (2.5)$$

мұнда  $\sim$  айқынсыздық операторы.

Нысанның жұмысын бақылау нәтижесінде және жүргізілген тәжірибелердің нәтижесінде  $x_i(x_{i1}, i = \overline{1, n}, 1 = \overline{1, k})$  кіріс параметрлерінің  $k$  мәндері алынды, ал  $\tilde{y}_j^M(\tilde{y}_{j1}^M, j = \overline{1, m}, 1 = \overline{1, k})$  шығыс параметрлерінің айқын емес сәйкес мәндері сарапшылармен бағаланады. Онда бұл нысанның айқын емес модельдерін құру үшін сәйкестендіру есептерін шешудің келесі екі кезеңін жүргізу қажет.

*1 кезең.* Функцияның құрылымын таңдау (құрылымдық сәйкестендіру):

$$\tilde{y}_j^M = \tilde{f}_j^M(x_1, \dots, x_n, \tilde{\alpha}_0, \dots, \tilde{\alpha}_n), \quad j = \overline{1, k} \quad (2.6)$$

жуықтататын функция (2.5).

Бұл кезеңде нысанның сапалы талдауының анықтаушы мәні бар, оның нәтижесінде нысанның жұмыс істеуіне, олардың өзара байланысына әсер ететін негізгі параметрлері, бұл параметрлердің оңтайландыру критерийлеріне әсері айқындалады. Мұнда модельдің құрылымын анықтау үшін регрессорлардың реттік енгізу тәсілдерінің айқын емес ұқсастығын қолдануға болады [15, с. 269-289; 49, с. 172-186; 56, с. 140-147].

*2 кезең.* Таңдалған функцияның (2.10) параметрлерінің бағалауларын анықтау, мысалы  $\tilde{\alpha}_0, \dots, \tilde{\alpha}_n$  айқын емес коэффициенттердің мәндері (параметрлік идентификациялау). Ұқсас бағалау үшін  $y_j^3$  эксперттік бағалау негізінде алынған оның ішінара айқын емес мәндерінен, модель бойынша алынған  $\tilde{y}_j^M$  шығыс параметрлерінің айқын емес мәндерінің ауытқуларын минимимдеу критерийін қолдануға болады [11, с. 50-58; 49, с. 172-186]:

$$\tilde{R}_j = \min \sum_{l=1}^k (\tilde{y}_{j1}^3 - \tilde{y}_{j1}^M)^2 = \min \sum_{l=1}^k (\tilde{y}_{j1}^3 - \tilde{f}_{j1}^M(x_{1l}, \dots, x_{nl}, \tilde{\alpha}_{01}, \dots, \tilde{\alpha}_{n1}))^2 \quad (2.7)$$

Айқын емес жиындар мен сандардың критерийін (2.7) есептеу кезіндегі операцияларды айта кетейік.

Бұл кезеңде негізгі сұрақ болып зерттелетін нысанды сипаттаудың қажетті дәлдігін қамтамасыз ететін белгісіз параметрлерін бағалау әдісін таңдау табылады.

Бұл тәсілдің негізінде алынған айқын емес модельдердің жалпы жағдайында мынадай түрі бар:

$$\tilde{y}_j^M = \tilde{\alpha}_{oj} + \sum_{i=1}^n \tilde{\alpha}_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=i}^n \tilde{\alpha}_{ikj} x_{ij} + \dots, \quad j = \overline{1, m} \quad (2.8)$$

Егер де айқын емес коэффициенттерінің тиістілік функциялары қалыпты  $\left( \sup_{x \in X} \mu_A(x) = 1 \right)$  болса, онда  $\alpha$  ( $\alpha \in [0,1], A_\alpha = \{x : x \in X, \mu_A(x) \geq \alpha\}$ ) деңгейінің жиынын пайдалана отырып, модельдің айқын емес коэффициенттерін бағалау арқылы бастапқы есепті ең аз квадраттар тәсілінің негізінде көпше регрессиялық теңдеу параметрлерін бағалаудың классикалық есептеріне келтіруге болады. Мұндай тәсілдің нәтижесінде  $\alpha_q, q = \overline{1, L} - \alpha_{ij}^{\alpha q}$  әртүрлі деңгейде бағаланатын коэффициенттердің мәндерін аламыз.

$\tilde{\alpha}_{ij}$  коэффициенттерді алу үшін, алынған  $\alpha_{ij}^{\alpha q}$  мәндер біріктіріледі:  $\tilde{\alpha}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0.5+1]} \alpha_{ij}^\alpha$  немесе  $\mu_{\tilde{\alpha}_{ij}}(\alpha_{ij}) = \sup_{\alpha \in [0.1+1]} \min \{ \alpha_q, \mu_{\alpha_{ij}}^{\alpha q}(\alpha_{ij}) \}$ .

Сипатталған тәсілдеменің негізінде құрылған, мұнай өңдеу өндірісінің шынайы технологиялық нысандарының кейбір модельдері (баяу кокстеу қондырғысы, гидротазалау қондырғылары) қарастырылды [14, с. 301-307; 19, р. 103-108; 30, с. 117].

Айқын емес модельдерді синтездеудің *екінші тәсілдеме* шартты қорытындының логикалық ережелерін пайдалануда негізделген, оларды жалпы түрде былай жазуға болады [21, с. 30-44]:

$$\text{ЕГЕР } \tilde{x}_1 \in \tilde{A}_1 (\tilde{x}_2 \in \tilde{A}_2, (\dots, (\tilde{x}_n \in \tilde{A}_n), \dots)) \text{ ОНДА } \tilde{y}_j^M \in \tilde{B}_j, j = \overline{1, m} \quad (2.9)$$

мұнда  $\tilde{x}_i (i = \overline{1, n}), \tilde{y}_j^M$  - сәйкесінше, нысанның лингвистикалық кіріс және шығыс айналымдары,  $\tilde{x}_i, \tilde{y}_j^M$  сипаттайтын;

$\tilde{A}_i, \tilde{B}_j$  – айқын емес қосалқы жиын.

Мұндай тәсілдің артықшылығы болып нысанды модельдеу кезінде оны пайдалану мүмкіндігі табылады, олар үшін статистикалық ақпаратты жинау өте қымбат тұрады, қиындатылған немесе мүмкін емес. Бұл жағдайда алынған айқын емес модельдер, әдетте, сапалы сипаттағы ақпаратқа сүйенетін мамандардың эксперттік сауалнамасының нәтижесі болып табылады. Мамандардың құзыреттілігі шарттарындағы мұндай ақпарат алынған модельдерде нысанның параметрлерінің ішкі қалыптаспаған өзара байланыстарын есепке алуға мүмкіндік береді.

Бұл тәсілдік негізінде лингвистикалық модельдерді жасақтау кезінде негізгі сұрақтардың бірі болып айқын емес шартты қорытындыны жасақтау және қолдану табылады. Дәстүрлі логикада қорытындының негізгі ережесі болып бөлу ережесі табылады (modus=ponens), оған сәйкес біз  $A$  пайымдамасы бойынша  $B$  пайымдамасының шындығы туралы айта аламыз:

*ЕГЕР* ( $A \rightarrow B$ ) шындығы және  $A$  шындығы *ОНДА*  $B$  шындық

Дегенмен көптеген әдетті пайымдаларда көрсетілген ережелер мұндай емес, ал жуық нысанда, яғни ең ортақ болып айқын емес пайымдама табылады.

Мұндай пайымдамалардың әдеттегідей үлгілеріне жататындар: «егер де реактордағы температура жоғары болса, және қысымда қалыпты, онда өнімнің сапасы жақсы» және т.б.

Маңызында, бұл түрдің ұсыныстары линвистикалық айналымдар арасындағы қатынастарды сипаттайды.

Қарастырылатын тәсілдегі,  $\tilde{x}_i \in \tilde{A}_i$  кіріс айналымдарының әртүрлі мәндері кезінде  $\tilde{y}_j^M \in \tilde{B}_j$  шығыс параметрлерінің мәндерін анықтайтын айқын емес модельдер қорытынды ережесінің композициясының (құрамалы) негізінде жасалады. Ресми түрде бұл ереже келесі әдіспен анықталады.

*Анықтама 1.1:* Егер  $R$  – айқын емес қатынас  $R: X \rightarrow Y$  және  $\tilde{A}$  – айқын емес қосалқы жиын болса  $X$  ( $\tilde{A} \subset X$ ), онда  $\tilde{A}$  қосалқы жиынымен индикаторланатын,  $\tilde{B} \subset Y$  айқын емес жиыны,  $R \subset \tilde{A}$ , т.е.  $\tilde{B} = \tilde{A} \circ R$  композициясымен беріледі, мұндағы  $\circ$  белгісі – композицияның операциясын белгілейді,  $X, Y$  – универсалды жиындар.

$R(x \in X, y \in Y)$  айқын емес қатынастың  $\mu_R(x, y)$  - тиістілік функциясы,  $\tilde{A} \in X$  айқын емес қосалқы жиын  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  тиістілік функциясымен берілсін, онда қорытындының композициялық ережесінің негізінде айқын емес  $Y$  қосалқы жиынымен индикаторланатын,  $\mu_{\tilde{B}}(y)$  тиістілік функциясы келесі формуламен анықталады:

$$\mu_{\tilde{B}}(y) = \max_{x \in X} \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_R(x, y)) \quad (2.10)$$

Тәжірибеде ақпараттың тапшылығы шарттарында күрделі нысандардың модельдерін құру үшін әртүрлі сипаттағы қолжетімді ақпаратты қолдануға және модельдеудің әртүрлі тәсілдерін құрамдастыруға тура келеді. Мысалы, нысанның параметрлерінің бөлігі сандық түрде өлшенуі және бағалануы мүмкін, басқа параметрлері сарапшылармен сапалы түрде бағаланады. Бұл жағдайда, әрине модель құрамына тәжірибелік-статистикалық идеялар және айқын емес модельдеудің қарастырылған тәсілдері кіретін кейбір қоспалы (құрамдастырылған) тәсілдің негізінде құрылады. Бұл тәсілдің кейбір тәсілдері өндірістік жүйелердің модельдеу тәсілдемесін сипаттау кезінде жоғарыда қарастырылған [21, с. 30-44; 69-70].

Сипатталған тәсілдердің негізінде күрделі өндірістік нысандарды айқын емес модельдеу тәсілдерін жасақтау сұрақтарына көшейік.

*Бастапқы ақпараттың айқынсыздығын ескере отырып модельдерді құру тәсілдері*

*Бастапқы ақпараттың айқынсыздығын ескере отырып модельдерді құру тәсілдерінің ұсынылатын негізгі кезеңдерін келтірейік, содан кейін олардың мазмұнын түсіндірейік [21, с. 30-44; 43, с. 15-20].* Бастапқы ақпараттың

айқынсыздығын ескере отырып модельдерді құрудың келесі тәсілдерін ұсынамыз.

*АЕМ-1 тәсілі* (Айқын емес Модельдеу - 1).

1 Модельді құру үшін қажетті нысанның кіріс (режимдік - басқарушы)  $x_i \in X_i, i = \overline{1, n}$  және шығыс  $\tilde{y}_j \in Y_j, j = \overline{1, m}$  параметрлерін таңдау.

2 Ақпаратты жинау және эксперттік процедураның негізінде нысанның күйін сипаттайтын, айқын емес параметрлердің  $T(X, Y)$  терм-жиынын анықтау.

3  $\tilde{y}_j = \tilde{f}_j(x_1, \dots, x_n, \tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n), j = \overline{1, m}$  айқын емес теңдіктердің құрылымын анықтау (құрылымдық сәйкестендіру есептерін шешу).

4 Нысанның айқын емес параметрлерінің және модельдің коэффициенттерінің тиістілік функциясын құру.

5  $(\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n)$ , айқын емес коэффициенттерді,  $\tilde{y}_j$  функцияларды бағалау (параметрлік идентификациялау).

6 Модельдің шынайы деректерге сәйкестігін тексеру (модельдің адекваттылығын). Модельдың адекваттылығы болмаған жағдайда себебін анықтап сәйкес тармаққа оралу.

Бұл тәсіл алдыңғы бөлімде сипатталған айқын емес ақпараттың негізінде модельдерді синтездеуге қатысты бірінші тәсілдің идеясын жүзеге асырады және нысанның айқын кіріс және айқын емес шығыс параметрлері кезінде модельдерді құруға мүмкіндік береді. Келтірілген тәсілдердің кейбір тармақтарына түсінік берейік.

Бірінші тармақта талап етілетін дәлдікке байланысты нысанның жұмыс сапасын сипаттайтын, ең ақпаратқа толы айнымалылар таңдалады. Қолайлылық үшін айқын емес сипатталатын параметрлерді өзгерту диапазондары ( $y^{\min}$ ) минималдық және ( $y^{\max}$ ) максималдық мәндерді көрсету арқылы кесінділер түрінде беріледі. Бұл кесінділер сарапшы-мамандардың талқылауларына байланысты, бірнеше интервалдарға (кванттарға) бөлінеді, мысалы:  $y_j^{\min} = y_j^1 < y_j^2 < \dots < y_j^l = y_j^{\max}$

Күйлердің (2 тармақ) терм-жиынын құру үшін алынған параметрлердің әрбір кванты айқын емес сәйкес терминдермен сипатталады. Мысалы, егер  $\tilde{y}_j$  – нысанда шығарылатын өнімдердің сапасы болса, онда оларды келесі жиындар арқылы сипаттауға болады:

$$\tilde{Y}_j = \{\text{төмен, орташадан төмен, орташа, орташадан жоғары, жоғары}\}$$

Қабылданған терм-жиын нысанның жұмысын сипаттайтын лингвистикалық айнымалыларының мәндерінің жиынтығы болып табылады. 1 тармақта алынатын, дискретизацияның әрбір интервалы белгілі бір терммен сипатталады, бұл термге градацияның сәйкес деңгейінде тиістілік функциясымен сипатталатын айқын емес жиын сәйкес.

Жиынтық регрессияның (3 тармақ) айқын емес теңдіктерінің құрылымын анықтау және олардың айқын емес коэффициенттерін (5 тармақ) сәйкестендіру келесі көрстелігендей жүргізіледі. Құрылымдық сәйкестендіру есептері нысанды жүйелік зерттеу нәтижелері бойынша шешіледі, мысалы



маңыздылығы шынайы деректерге модельдің адекваттылығын қамтамасыз етуге дейін кезекті регрессорларды жүйелі енгізу болып табылатын, регрессорларды жүйелі енгізу тәсілдерін пайдалану арқылы. Параметрлік идентификациялау кезінде ең төмен квадраттардың тәсілдерінің айқын емес ұқсастықтарын қолдануға болады.

Айқын емес параметрлердің (4 тармақ) тиістілік функциясын құру айқын емес жиындар теориясының тәсілдерін қолдану арқылы күрделі нысандарды модельдеу кезінде негізгі кезеңдердің бірі болып табылады. Бұл функцияны қалпына келтіретін негізгі әдісі болып айқын емес сәйкес жиынның сол немесе басқа параметрінің тиістілігінің қисық деңгейін графикалық құру табылады. Алынған графиканың негізінде, оны ең жақсы түрде жуықтататын функцияның түрі таңдалады. Содан кейін алынған функцияның параметрлері сәйкестендіріледі.

Жиынтық регрессияның (3 тармақ) айқын емес теңдіктерінің құрылымын анықтау және олардың айқын емес коэффициенттерін (5 тармақ) сәйкестендіру айқын емес ақпараттың негізінде модельдерді синтездеуге қатысты бірінші тәсілдің сипаттамасында келтірілген 1 және кезеңдерге сәйкес жүргізіледі. Құрылымдық сәйкестендіру есептері нысанды жүйелік зерттеу нәтижелері бойынша шешіледі, мысалы маңыздылығы шынайы деректерге модельдің адекваттылығының шарттарын орындауға дейін кезекті регрессорларды (сызықтық факторларды, жұпты өзара әрекеттесу факторлары, деңгейін ұлғайту арқылы сызықтық емес бөлігі) жүйелі енгізу болып табылатын, регрессорларды жүйелі енгізу тәсілдерін пайдалану арқылы. Параметрлік идентификациялау кезінде ең кіші квадраттардың тәсілдерінің айқын емес ұқсастықтарын қолдануға болады.

Тәсілдің қорытынды кезенінің (6 тармақ) мәселесі болып модельдің нысанға сәйкестігін тексеру табылады.

Оның көмегімен табылған нысанның сипаттамалары нысанның өзінде тәжірибелік түрде алынған шынайы деректермен берілген деңгейімен сәйкес келсе модель нысанға адекватты болып саналады. Әдеттегідей, нысанның моделінің сәйкестік шамасы болып табылатын адекваттық критерийі ретінде есептік (моделдік)  $y^m$  және шынайы келісілмеуі (тәжірибелік) -  $y^3$  шамалары қолданылады;  $R=|y^m-y^3|$ . Бұдан басқа келісілмеудің рұқсат етілетін деңгейінің шамасы таңбалады –  $R_D$ . Егер де  $R=|y^m-y^3| \leq R_D$  болса, модель адекватты болып саналады. Адекватты болмаған жағдайда модельді түзету үшін сәйкес тармаққа қайта оралу жүзеге асырылады және адекватты болмауының себептері анықталады.

Келесі тәсіл шартты қорытындының логикалық ережелерінің идеясын қолданады және нысанның кіріс және шығыс параметрлерінің айқын емес мәндері кезінде лингвистикалық модельді құру үшін ұсынылады.

#### *АЕМ-2 тәсілі*

Берілген тәсіл айқын емес ақпараттың негізінде модельдерді синтездеуге қатысты жоғарыда сипатталған екінші тәсілдің идеясын жүзеге асырады. Бұл

тәсілдің кейбір тармақтары (1,2 және 6) АЕМ-1 тәсілінің сәйкес тармақтарына ұқсас, бірақ кіріс параметрлерінің айқын еместігі ескеріледі -  $\tilde{x}_i, i = \overline{1, m}$ .

1 Модельді құру үшін қажетті нысанның, лингвистикалық айнымалы ( $X_i, Y_j$  – универсалды жиындар) болып табылатын кіріс  $\tilde{x}_i \in X_i, i = \overline{1, n}$  және шығыс  $\tilde{y}_j \in Y_j, j = \overline{1, m}$  параметрлерін таңдау;

2 Эксперттік бағалаулардың негізінде  $\tilde{x}_i, \tilde{y}_j$  параметрлерінің мәндеріне бағалау жүргізу және терм-жиындарды құру  $T(X_i, Y_j)$ .

3 Айқын емес параметрлердің тиістілік функцияларын құру –  $\mu_{\tilde{A}_i}(\tilde{x}_i), \mu_{\tilde{B}_j}(\tilde{y}_j)$  ( $\tilde{A}, \tilde{B}$  - айқын емес жиындар  $\tilde{A}_i \subset X_i, \tilde{B}_j \subset Y_j$ ).

4 Нысанның лингвистикалық моделін құру және  $\tilde{x}_i$  и  $\tilde{y}_j - R_{ij}$  параметрлерінің арасындағы байланысты анықтайтын айқын емес кескіндерді қалыптастыру.

5 Шығыстағы айқынсыз мәндерді анықтап және айқын емес жиындар шешімінен олардың сандық мәндерін таңдау.

6 Модельдің адекваттық шарттарын тексеру. Модельдың адекваттылығы болмаған жағдайда себебін анықтап сәйкес тармаққа оралу.

Сипатталған АЕМ- тәсілінің кейбір бөлшектерін қарастырайық. Нысанның лингвистикалық моделі эксперттік ақпаратты (4 тармақ) өңдеу нәтижелері бойынша құрылады. Ыңғайлылық үшін оны кесте түрінде ресімдеуге болады, мұнда  $\tilde{x}_i$  режимдік параметрлердің әртүрлі мәндері және осы нұсқаларға сәйкес  $\tilde{y}_j^M$  мәндер айқын емес көрсетіледі. Кесте таңдалған терм-жиынды пайдалану арқылы толтырылады. Осылайша алынған модельдің негізінде лингвистикалық айналымдардың  $\tilde{x}_i, \tilde{y}_j$  арасындағы байланысты анықтайтын айқын емес  $R_{ij}$  кескіндер қалыптасады. Мұндай айқын емес кескінді қалыптастыру логикалық бағалау тәсілімен жүзеге асырылады. Бұл жағдайда эксперттік ақпараттың негізінде эксперттік ақпаратты, лингвистикалық айналымдардың  $T(X_i, Y_j)$  терм-жиындарын пайдалана отырып барлық мүмкін жағдайлардың толық сипатталуы беріледі. Бұл сипаттау лингвистикалық модель деп аталады, (1.7) түрінің салынған логикалық ережелерінің жинағынан тұрады:  $IF \tilde{x}_i \in \tilde{A}_i (\tilde{x}_2 \in \tilde{A}_2, (\dots, (\tilde{x}_n \in \tilde{A}_n), \dots)), THEN \tilde{y}_j \in \tilde{B}_j; j = \overline{1, m}$ .

Квантқа  $p$  арналған айқын емес кескіндер  $R_{ij}^p = A_i^p \cdot B_j^p$  ретінде анықталады. Есептерде  $R_{ij}$  айқын емес кескіндерді қолдану қолайлығы үшін айқын емес қатынастардың матрицаларын құру керек  $\mu_{R_{ij}}(x_i, y_j^M)$ , мысалы, бөлінген кванттар үшін ортақ жағдайда:

$$\mu_{R_{ij}}^p(x_i, y_j^M) = \min[\mu_{A_i}^p(x_i), \mu_{B_j}^p(y_j^M)], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$$

Тәсілдің бесінші тармағы қорытындының композициялық ережесін қолдану болып табылады:

$$B_j = A_i \circ R_{ij}$$

мұнда  $A_i \subset X$ ,  $B_j \subset Y$ ,  $X, Y$  – универсалды жиындар. Бұл ереженің көмегі арқылы шығыс айнымалыларының есебін жүзеге асыруға болады, мысалы, келесі өрнек бойынша:

$$\mu_{B_{ij}}^p(y_j) = \max_{x_i \in X_i} \{ \min[ \mu_{A_i}(x_i^*), \mu_{R_{ij}}(x_i, y_j^M) ] \} \quad (2.11)$$

мұнда  $x_i^*$  – режимдік параметрлердің сарапшылармен бағаланған мәндері болсын, онда кіріс айнымалыларының ағымдары жататын ізделетін жиын, режимдік параметрлердің мәндері тиістілік функцияларының  $\mu_{A_i}(x_i) = \max_i \mu_{A_i}(x_i)$  ең жоғарғы мәндері бар жиын ретінде анықталады.

Шешімдердің айқын емес жиындарынан шығыс параметрлерінің  $y_j^*$  нақты сандық мәндері келесі қатынаспен анықталады:  $y_j^M = \arg \max_{y_j'} \mu_{B_j}(y_j')$ ,  $j = \overline{1, m}$ , яғни тиістілік функцияларының максимумына жететін шығыс параметрлерінің мәндері алынады.

Тиістілік функциясын құру практикасы қабылданған термдерді нақты дәлірек сипаттайтын айқын емес жиындардың тиістілік функцияларын ұқсас экспоненциалды тәуелділікпен жуықтатуға болатынын көрсетті, мысалы, тиістілік функциясы  $\tilde{y}_j^M$  үшін аналитикалық түрі бар:

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

мұнда  $\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j^M)$  – шығыс параметрлерінің мәндерін сипаттайтын,  $\tilde{B}_j$  айқын емес жиынның  $\tilde{y}_j^M$  параметрлерінің тиістілік функциясы (деңгейі);

$p$  – градация нөмірі (квант);

$Q_{B_j}^p$  – тиістілік функциясы сәйкестендіру кезінде болатын және айқынсыздық деңгейін анықтайтын параметр;

$C_{B_j}^p, N_{B_j}^p$  – термдерді анықтау салаларын және айқын емес параметрлердің тиістілік функциялары графиктерінің пішінін өзгертуге арналған коэффициенттер;

$y_{md_j}^p$  – айқын емес айнымалы, берілген термге ең сәйкесі (квантта  $p$ ), ол үшін;

$$\mu_{B_j}^p(y_{md_j}^p) = \max_j \mu_{B_j}^p(y_j).$$

Нақты ХТЖ-нің құрылымдалған модельдерін құру тәсілін бензол өндіру ХТЖ-нің модельдер пакетін құру мысалында қарастырайық. Бастапқы ақпарат

пен өндірістік жағдайларға байланысты құрулуы мүмкін түрлі модельдерді бағалау және салыстыру үшін келесі критерийлерді алуға болады:

- модельдің сәйкес типін құруға қажетті ақпараттың жеткіліктігі, немесе, оларды жинау мүмкіндігі;
- модельді құру күрделілігі, яғни оның құру құны;
- модельдің дәлдігі;
- модельдің қолдану мақсатына, мысалы басқару жүйелері құрамында қолдану, сәйкестігі;
- модельді процестің жүру сұлбасына сәйкес бір жүйеге (пакетке) біріктіру, яғни құрылымдалған модельге біріктіру мүмкіндігі [67, б. 62].

Соңғы екі критерий модельдер құрғанда көп жағдайда ескерілмейді, зерттеу жұмыстарында олар туралы мәліметтер жоқ. Ал олардың маңызы өте жоғары, себебі, өндірістік жағдайда негізгі мақсат модельдерді құруда емес, оларды өндірістік проблемаларды шешуде қолдану, мысалы, құрылған модельдер кешеннің оптималды жұмыс режимін берілген уақытта және дәлдікпен табу керек. Бұл нәтижеге жету үшін құрылған модельдер жүйе мен ондағы процесстердің жүру схемасына сәйкес бір жүйеге біріктірілуі қажет екені түсінікті [37, с. 355; 67, б. 62].

Төменде келтірілген кестеде (кесте 2.1) бензол өндіру жүйесінің негізгі элементтерінің (агрегаттарының) модельдерінің типтерін эксперттік талдау нәтижесін өңдеу негізінде алынған бағалары көрсетілген.

Кесте 2.1 – Бензол өндіру ХТЖ элементтері модельдерінің типтерін талдау

Бензол өндіру кешенінің негізгі агрегаттары	Критерийлер	Модельдер түрлері			
		детерминді	статистикалық	айқын емес	құрама
1	2	3	4	5	6
Бензолдық колонна (С-401)	Қажетті ақпаратты жинау мүмкіндігі	3.0	3.5	4.0	5.0
	Модельді құру бағасы	2.0	4.0	3.5	3.0
	Модельдің дәлдігі	4.0	3.0	3.5	4.0
	Мақсат бойынша қолданылуы	3.5	4.0	4.0	4.5
	Модельдер жүйесіне біріктіру мүмкіндігі	4.0	3.5	3.5	3.5
Барлығы:		16.5	18.0	18.5	20.0
Ректификациялау колоннасы (С-402)	Қажетті ақпаратты жинау мүмкіндігі	3.0	4.0	4.0	4.5
	Модельді құру бағасы	1.5	3.5	4.0	3.5
	Модельдің дәлдігі	4.0	3.5	3.5	4.0
	Мақсат бойынша қолданылуы	4.0	4.0	4.0	4.5
	Модельдер жүйесіне біріктіру мүмкіндігі	4.0	4.0	4.0	4.0
Барлығы:		16.5	19.0	19.5	20.5
Реактор (R)	Қажетті ақпаратты жинау мүмкіндігі	3.0	3.5	4.5	4.0
	Модельді құру бағасы	2.0	4.0	4.0	3.5
	Модельдің дәлдігі	4.5	3.5	3.5	4.0
	Мақсат бойынша қолданылуы	4.0	4.0	4.0	4.0
	Модельдер жүйесіне біріктіру мүмкіндігі	4.0	3.5	4.0	4.0

## 2.1 кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
Барлығы:		17.5	18.5	20.0	19.5
Пеш (П-401)	Қажетті ақпаратты жинау мүмкіндігі	4.0	5.0	4.0	4.5
	Модельді құру бағасы	2.5	4.5	4.0	3.5
	Модельдің дәлдігі	4.5	4.0	3.0	4.0
	Мақсат бойынша қолданылуы	4.0	4.5	4.5	4.5
	Модельдер жүйесіне біріктіру мүмкіндігі	4.0	4.0	3.5	4.0
Барлығы:		19.0	22.0	19.0	20.5
Сыымдылық (Е-401)	Қажетті ақпаратты жинау мүмкіндігі	4.0	3.5	4.0	4.5
	Модельді құру бағасы	4.0	4.5	4.0	4.0
	Модельдің дәлдігі	4.5	4.0	3.5	4.0
	Мақсат бойынша қолданылуы	4.5	4.5	4.0	4.5
	Модельдер жүйесіне біріктіру мүмкіндігі	4.5	4.0	4.5	4.0
Барлығы:		21.5	21.0	20.0	21.0
Ескертулер:					
1 Бағалау (ранжировка) бесбаллдық шкала бойынша (1-мен 5 аралығы), мұнда 1-ең төменгі баға;					
2 5-ең жоғарғы баға. Бағалар айқын емес сандар болуы мүмкін					

Келтірілген 2.1 кестедегі ақпарат негізінде таңдап алынған критерийлер бойынша (мысалы, жоғарыда келтірілген 5 критерий бойынша) жүйе агрегаттарының модельдерінің тиімді типтерін анықтауға болады [67, б. 62-63].

Бензол өндіру ХТЖ элементтерінің жұмысын және олардың модельдерінің мүмкін болатын түрлерін зерттеу нәтижелері, агрегаттардың және оларда өтетін процестерді зерттеу күрделілігіне байланысты және анық мәліметтерді алу мүмкін болмағандықтан негізгі агрегаттардың (колонналар, реактор, пештер) детерминді модельдерін құру мүмкін еместігін, немесе экономикалық тұрғыдан тиімсіз екендігін көрсетеді [67, б. 63-64]. Салыстыру және таңдау критерийлері бойынша Е-401 сыымдылығы үшін детерминді модельдің қорытынды бағасының мәні, басқаларына қарағанда жоғары, яғни ол үшін *детерминді модель* құру тиімді. Бензол өндіру жүйесінің қарастырылған агрегаттарының статистикалық (стохастикалық) модельдері салыстырмалы жағдайда жеңіл құрылады, біртұтас модельдер жүйесіне біріктіруге ыңғайлы және кешеннің оптималды жұмыс режимін табуға жарамды [67, б. 63-64].

Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша (кесте 2.1) келесі қорытынды жасауға болады: пештер үшін *статистикалық модель* құру ең оптималды шешім болып табылады.

Бензол өндіру жүйесі реакторының детерминді не статистикалық модельдерін құру үшін қажетті ақпаратты жинау реактордағы процестің күрделілігі, арнаулы өндірістік аспаптардың дың жоқтығына немесе жетпіспеушілігіне, байланысты тиімсіз, немесе мүмкін емес [67, б. 62-64].

Осыған байланысты, жетіспейтін мәліметтерді толықтыратын тиімді құралдар ретінде, сапалық ақпаратқа (мамандар білімі, тәжірибесі) негізделген, айқын емес жиындар теориясы және эксперттік бағалау тәсілдерін қолдану керек. Сонымен реактор үшін, зерттеу нәтижелері көрсеткендей, *айқын емес*

*модель* құру тиімді шешім болып табылады (кесте 2.1 қараңыз). Мұндай модельдің дәлдігі басқа модельдерге қарағанда жоғары болмаса да, бензол өндіру процесін оптимизациялау мақсатында қолдануға толығымен жарамды.

Біздің жағдайда таңдап алынған критерийлер бойынша бензолдық колонна мен ректификациялау колонналарына құруға болатын модельдердің ең тиімдісі ретінде *құрама модельдер* анықталған. Модельдердің бұл түрін құру оңай болмағанмен, олар жиналған әр түрлі ақпарат негізінде басқа критерийлер бойынша жоғары көрсеткіштерге ие, яғни құрама модельдер басқа модельдердің артықшылықтарын біріктіруге негізделген.

ХТЖ құрамына енетін агрегаттардың моделін құрған кезде *декомпозиция әдістемесі* жиі қолданылады. Бұл әдістеме бойынша әр элементтің модельдері жекеше құрылады, бірақ алған модельдерді ары қарай бір жүйеге біріктіру мәселесі ескерілмейді. Мәселенің мұндай жеке шешімі күтілген тиімділік пен оң нәтиже бермейді. Технологиялық кешеннің жеке агрегаттарын модельдеу және оптимизациялау толық мағынасында мүмкін емес, себебі бұл агрегаттың жұмысы кешеннің басқа агрегаттарының жұмысымен тығыз байланысты.

Сондықтан технологиялық агрегаттар кешенін, мысалы бензол өндіру ХТЖ сияқты мұнай өңдеу өндірісінің басқа да жүйелерін модельдеу проблемаларын толықтай шешу үшін агрегаттар арасындағы байланыстарды ескеретін кешен құрылымдалған модель (модельдер жүйесін) құру қажет. Бұл жағдайда бір модельдердің шығысы басқа модельдердің кірісі болуы мүмкін, ал ол модельдердің шығысы өз кезегінде басқа модельдердің кірісі бола алады. Сонымен құрылымдалған модель құрамына түрлі агрегаттардың модельдерін байланыстыру теңдеулері де кіреді. Мұндай модельдер жүйесін қолдана отырып, технологиялық кешенді жүйелі модельдеуге болады, яғни өз ара байланысқан технологиялық агрегаттарды тұтастай модельдеп, технологиялық жүйенің оптималды жұмыс режимін табуға болады. Технологиялық кешенді жүйелі модельдеу нәтижесінде оның «осал жерін» табуға болады, оны шешу технологиялық жүйе мен процестің қуаты мен өнімділігін, яғни тиімділігін бірнеше есе арттыруға мүмкіншілік береді [67, б. 64-65].

ХТЖ агрегаттарының модельдерін бір жүйеге біріктіру ондағы технологиялық процестің өтуіне сәйкес жүреді. Бұл кезде бір модельдің шығысы (есептеу нәтижелері) басқа модельдің кірісі болады. Мысалы, бензол өндіру технологиялық кешенінде пештің шығысы, яғни модельдеу нәтижелері, E-401 сымдылығы моделінің кіріс параметрлері болып табылады, ал бұл модельдің шығысы бензолдық колонна моделінің кіріс параметрлері ретінде қолданылады. Өз кезегінде бензолдық колоннаны модельдеу нәтижелерінің бір бөлігі E-401 сымдылығы моделінің кіріс параметрлерінің бір бөлігі болып табылады.

Сонымен, жүйе элементтерінің модельдерінің типін таңдау үшін қолданатын негізгі критерийлерге, қажетті дәлдік және оларды компьютерлік модельдеу және оптимизациялау бойынша шешім қабылдау жүйелерінде қолдану тиімділігінен басқа, оларды бір жүйеге, яғни пакетке біріктіру ыңғайлығы, яғни өз ара байланысқан модельдердің шығыс және кіріс айнымалыларының өз ара сәйкес келуі де жатады [67, б. 65].

Зерттеу нәтижесінде *ректификациялау және бензолдық колонналардың математикалық модельдерін* идентификациялау түрлі ақпарат негізінде орындалғаны тиімді екені анықталған (кесте 2.1 қараңыз), яғни бұл агрегаттардың құрама моделін тұрғызамыз.

Эксперименттік-статистикалық және эксперттік мәліметтерді өңдеу нәтижесінде, сондай-ақ айқын емес ортада модельдеу тәсілі негізінде регрессорларды тізбектей қосу тәсілдемесінің идеясын қолдана отырып (структуралық идентификациялау), С-402 ректификациялау колоннасы мен С-401 бензолдық колоннаның модельдері болатын, келесі көп регрессиялық және айқын емес регрессиялық теңдеулер жүйесі алынды:

$$y_j = a_{0j} + \sum_{i=1}^3 a_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^3 \sum_{k=i}^3 a_{ikj} x_{ij} x_{kj}, j = \overline{1,3} \quad (2.12)$$

$$\tilde{y}_j = \tilde{a}_{0j} + \sum_{i=2}^5 \tilde{a}_{ij} x_{ij} + \sum_{i=2}^5 \sum_{k=i}^5 \tilde{a}_{ikj} x_{ij} x_{kj}, j = \overline{4,5} \quad (2.13)$$

мұнда  $y_1$  – бензолдық колонна шығысындағы бензолдың көлемі (127÷138 мың тн.) [67, б 102-103];

$y_2$  – бензолдық колоннадан рафинат шығысы (77÷86 мың тн.);

$y_3$  – ректификациялау колоннасы шығысындағы ауыр ароматиканың көлемі (445÷456 мың тн.);

$\tilde{y}_4$  – бензолдың орташа октандық саны (102-ден кем емес ( $\geq$ ));

$\tilde{y}_5$  – бензол құрамындағы күкірт (0,00005% артық емес);

$x_1$  – шикізат-реформат көлемі (660÷670 мың тн.);

$x_2$  – колоннадағы температура 1100-1350°C;

$x_3$  – колоннадағы қысым 30÷40 кг/см<sup>2</sup>;

$x_4$  – шикізат құрамындағы күкірт  $\leq 0,005\%$ ;

$x_5$  – шикізат құрамындағы ароматикалық көмірсутектер 50%;

$a_{0j}, a_{ij}, a_{ikj}, \tilde{a}_{0j}, \tilde{a}_{ij}, \tilde{a}_{ikj}, i = \overline{1,5}$  – идентификацияланатын айқын және айқын емес ( $\sim$  белгісімен) регрессиялық коэффициенттер, рет бойынша: бос мүше; сызықтық әсер  $x_{ij}, i = \overline{1,5}, j = \overline{1,5}$ ; квадратты және өз-ара әсер  $x_{ij}, x_{kj}, i, k = \overline{1,5}, j = \overline{1,5}$  жақшаларда параметрлердің мүмкін болатын және қажетті мәндері көрсетілген [67, б. 103].

Түрлі статистикалық мәліметтер жинау барысында бензолдық колонна мен реактордың шығысындағы өнімдердің, яғни бензол, ауыр ароматика және рафинат көлемін ( $y_1, y_2, y_3$ ) бағалауға жеткілікті сандық ақпарат алынды. Сондықтан  $y_1, y_2, y_3$  мен кіріс-режимдік параметрлер  $x_i, j = \overline{1,3}$  арасындағы математикалық байланысының структурасы (2.12) жиынтық корреляция тәсілі арқылы анықталды [67, б. 102-103].

Әртүрлі сипаттағы ақпараттың негізінде модельді құру тәсілдемесін және бензолдың өндірісі бойынша кешеннің моделінің [90-96] анықсыздық жағдайларында айқын емес модельдерді синтездеу тәсілдерін қолдану нәтижесінде полиномиалды (регрессиялы) теңдіктердің (бензолды бағанадан бензолдың шығуы үшін –  $y_1=f_1(x_1,x_2,x_3)$  түрінде алынды; бензолды бағанадан рафинаттың шығуы –  $y_2=f_2(x_1,x_2,x_3)$  және ректификациялы бағанадан ауыр ароматикалардың шығуы –  $y_3=f_3(x_1,x_2,x_3)$ ) түрінде алынды:

$$y_1 = 0.099849x_1 + 0.020462x_2 - 0.760x_3 + 0.000149x_1^2 + 0.000008x_2^2 - 0.03257x_3^2 + \\ + 0.000046x_1x_2 + 0.000571x_1x_3 - 0.000585x_2x_3;$$

$$y_2 = 0.061562x_1 - 0.012615x_2 + 0.234286x_3 + 0.000074x_1^2 - 0.000015x_2^2 + 0.01339x_3^2 + \\ + 0.000009x_1x_2 + 0.001055x_1x_3 - 0.000180x_2x_3$$

$$y_3 = -0.000000001 + 0.41892x_1 - 0.17169x_2 + 3.18857x_3 + 0.00063x_1^2 - 0.00013x_2^2 + \\ + 0.136653061x_3^2 + 0.00006x_1x_2 + 0.00718x_1x_3 - 0.00123x_2x_3$$

Келтірілген полиномиалды модельдің коэффициенттері ең төмен квадраттың базасында параметрлік идентификациялаудың белгілі тәсілдерінің көмегі арқылы анықталды (MatLab жүйесінің көмегімен) [71, 72].  $f_1(x)f_2(x)f_3(x)$  мәніне  $x_4$  айнымалылары – шикізат құрамындағы күкірт үлесі және  $x_5$  – шикізат құрамындағы ароматикалық көмірсутектерінің үлесі әсер етпейді, сондықтан олар ескерілмейді.

Өйткені бастапқы ақпарат шектелімдерді математикалық қалыптастыру үшін айқын емес:

$$\varphi_1(x) \lesssim 102 \text{ «Бензолдың орташа октандық саны - } \lesssim 102 \text{ кем болмауға тиіс»}$$

$\varphi_2(x) \lesssim 0,00005$  «Бензолдағы күкірттің құрамы  $\lesssim 0,00005\%$  артық болмауға тиіс»

айқын емес жиындары теориясының тәсілдері қолданылады. Бұл шектелімдердің математикалық қалыптасуы регрессияның айқын емес теңдіктері түрінде алынды.

Регрессияның айқын емес теңдіктерінің коэффициенттерін параметрлік идентификациялаудан кейін (ең төмен квадрат тәсілдерінің негізінде MatLab жүйесін қолдану арқылы) және  $\alpha$  ( $\alpha = 0.7, 1$ ) деңгейінің жиындарының негізінде түрлендіруден кейін алынды:

$$\varphi_1(x_2,x_3,x_4,x_5) = (0.7/0.0232 + 1/0.0235 + 0.7/0.0238)x_2 - (0.7/0.5824 + 1/0.5828 + \\ + 0.7/0.5832)x_3 - (0.7/5050 + 1/5100 + 0.7/5150)x_4 + (0.7/1.015 + 1/1.020 + \\ + 0.7/1.025)x_5 + (0.7/0.000016 + 1/0.000018 + 0.7/0.00002)x_2^2 - (0.7/0.01660 + \\ + 1/0.01665 + 0.7/0.01670)x_3^2 - (0.7/127485 + 1/127500 + 0.7/127515)x_4^2 + \\ + (0.7/0.02446 + 1/0.02448 + 0.7/0.02450)x_5^2 + (0.7/0.00038 + 1/0.00047 + \\ + 0.7/0.0005)x_2x_5 - (0.7/145.702 + 1/145.714 + 0.7/145.726)x_3x_4 - (0.7/0.00580 + \\ + 1/0.0058 + 0.7/0.00582)x_3x_5 + (0.7/50.0 + 1/51.0 + 0.7/52.0)x_4x_5 \lesssim 102.$$



$$\begin{aligned} \varphi_2(x_2, x_3, x_4, x_5) = & -(0.7/0.00000065 + 1/0.0000007 + 0.7/0.00000075)x_2 + (0.7/0.00003 + \\ & + 1/0.000035 + 0.7/0.00004)x_3 + (0.7/0.0562 + 1/0.05625 + 0.7/0.0563)x_4 - \\ & - (0.7/0.0000016 + 1/0.0000018 + 0.7/0.0000020)x_5 - (0.5/0.0000000007 + \\ & + 0.7/0.0000000009 + 1/0.000000001 + 0.7/0.000000011)x_2^2 + (0.000001 + \\ & + 1/0.0000011 + 0.7/0.0000012)x_3^2 + (0.7/16.800 + 1/16.850 + 0.7/16.900)x_4^2 - \\ & - (0.7/0.00000030 + 1/0.00000035 + 0.7/0.0000004)x_5^2 - (0.7/0.00000007 + \\ & + 1/0.000000001 + 0.7/0.000000013)x_2x_5 + (0.8/0.000950 + 1/0.000960 + \\ & + 0.7/0.00097)x_3x_4 - (0.7/0.00000020 + 1/0.00000025 + 0.7/0.0000003)x_3x_5 + \\ & + (0.7/0.00022 + 1/0.000225 + 0.7/0.000230)x_4x_5 \lesssim (\text{не более}) 0,00005\% \end{aligned}$$

Өйткені айқын емес коэффициенттердің тиістілік функцияларының келтірілген өрнектерінде қоңырау тәрізді түрі, сол 0.7 және оң 0.7  $\alpha$ -деңгейлері болады. Ең қолайлы есептеу үшін дефаззификация (defuzzification) процесі жүргізіледі, яғни айқын емес коэффициенттерді айқын сандарға түрлендіру жүргізіледі, мысалы алаңның орталық тәсілінің негізінде (CoA – Centre of Area).

Біз бензолдың орташа октандық санына реформаттың (бензолдың өндірісіне арналған шикізат) құрамындағы ароматикалық көмірсутектерінің әсерлерін бағалайтын, лингвистикалық модельдерін алдық. Берілген модель «Шикізаттың құрамында ароматикалық көмірсутектер неғұрлым көп болса, соғұрлым бензолдың орташа октандық саны көп болады» логикалық қорытындыны жүзеге асырады:

$$\text{if } \tilde{x} \in \tilde{A}_1, \text{ then } \tilde{y} \in \tilde{B}_1, \text{ if } \tilde{x} \in \tilde{A}_2, \text{ then } \tilde{y} \in \tilde{B}_2, \text{ else if } \tilde{x} \in \tilde{A}_3 (\text{bc}), \text{ then } \tilde{y} \in \tilde{B}_3$$

мұнда  $\tilde{A}_i, i = \overline{1,3}$  – ароматикалық көмірсутектердің айқын емес мәндерін сипаттайтын айқын емес қосалқы жиындар, ( $\tilde{A}_1 = \text{төмен}$ ,  $\tilde{A}_2 = \text{орташа}$ ,  $\tilde{A}_3 = \text{жоғары}$ ):  $\tilde{B}_j, j = \overline{1,3}$  – бензолдың орташа октандық санын сипаттайтын емес қосалқы жиындар ( $\tilde{B}_1 = \text{нормадан төмен}$ ,  $\tilde{B}_2 = \text{норма}$ ,  $\tilde{B}_3 = \text{нормадан жоғары}$ );

$\tilde{x}, \tilde{y}$  – сәйкесінше, шикізаттың сапасын сипаттайтын кіріс және шығыс лингвистикалық айналымдар және күйлері  $\tilde{A}, \tilde{B}$  айқын емес қосалқы жиындарын сипаттайтын, бензолдың орташа октандық саны.

Осылайша, бензолды өндіру процесін басқару кезінде мақсаты болып салынған айқын емес шектелімдерді орындау кезінде басқару критерийлерінің экстремалдық мәндерін қамтамасыз ететін бензолды өндіру бойынша кешеннің режимдік параметрлерінің  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  тиімді мәндерін таңдау бойынша шешімді қабылдау табылады:  $\varphi_1(x) \gtrsim 102$  және  $\varphi_2(x) \lesssim 0,00005$ , олар процесті тұрақты және апатсыз жағдайда жүргізуге мүмкіндік береді. Өндірістік жағдайларда режимдік параметрлердің тиімді мәндерін қабылдау есептерін шешу және қалыптастыру процесін қиындататын ақпараттың бастапқы айқын еместік және анықсыздық мәндері туындағанда, атап көрсеткендей ең тиімді

және қолайлы тәсіл болып нысаналы саладағы сарапшы-мамандардың тәжірибесін, білімдерін және ішкі түйсігін қолдану және қалыптастыруда негізделген айқын емес жиындар теориясының тәсілдерін қолдану табылады [12, с. 25-37; 14, с. 370-378; 25, с. 267-280; 26, р. 5; 27, с. 280-295; 28, р. 23-28; 33, с. 28-37; 38, с. 16-21; 39, с. 127-131; 41, с. 62-68].

Бензолды өндіру бойынша кешенді басқару кезінде шешім қабылдаудың айқын емес есептерін және оларды шешу тәсілдерін қарастырайық.

## **2.2 Көп критерийлі өндірістік жүйелерді басқару үшін шешім қабылдау есептері**

Шешім қабылдаудың маңызды саласы өндіріспен байланысты. Өндіріс көлемі үлкен болған сайын, оларды басқару кезінде шешім қабылдау қиынға түседі, яғни шешім қабылдауды қалыптастыру мәселелері мен есептерді шешу мәселелері өзекті болады.

Шешім қабылдау (ШҚ) мүмкін нұсқаларды (альтернативаларды) бағалау және берілген критерийлер бойынша олардың ең жақсысын таңдау болып табылады [69, с. 63-65]. Шешімнің кез-келген нұсқасын жүзеге асыру кейбір салдардың болуын болжайды, оларды талдау және бағалау, әдеттегідей, тиімділіктің критерийлер векторы бойынша шешімнің бұл нұсқасын толық сипаттайды. Шешім қабылдау есептерін шешу ШҚТ артықшылығын анықтауға және зерттеуге келтіреді, сондай-ақ альтернативаның кейбір мағынасында ең жақсысын таңдаудың адекваттық моделін құруға келтіреді. Өндірісте мұндай есептерді шығару өзектілігі және таңдау кезінде жасалатын көп критерийлі альтернативаның адаммен салыстыру процесін түсінуді ұмтылу шешім қабылдау бойынша жұмыстардың үлкен санының пайда болуына әкелді [14, с. 20-27; 32, с. 180-192; 53, с. 8-11; 61, с. 120-137; 69, с. 63-65; 70, с. 26-31; 71, с. 112-138; 73-74]. Бұл жұмыстарда шешім қабылдау процедуралары, оларды жүзеге асыру тәсілдері қарастырылады, ШҚ есептерін шешудің әртүрлі тәсілдерін сипаттау және жіктеу беріледі, нақты өндіріс нысандарын басқару кезінде ШҚ әртүрлі тәсілдерін қолдану мысалдары келтіріледі.

Айқынсыздықпен үйлескен өндіріс жүйелері модельдерінің көп өлшемділігі, критерийлерінің сапалық ерекшеліктері, мүмкін анықсыздығы нысанның сапасына бағалау алу кезінде елеулі кедергі болып табылады және оңтайландыру түсінігіне жалпы тәсілдердің қарастырылуын қажет етеді, яғни көп критерийлі айқын емес есептер үшін шешім қабылдау теориясында жаңа тәсілдердің дамуын және жасақталуын қажет етеді. Бұл теорияның қарқынды дамуына деректердің үлкен ауқымдарына талдау және өңдеу жүргізуге мүмкіндік беретін, компьютерлік техниканы кеңінен және тиімді қолдану себеп болды.

Осылай, әдетте өндірісті басқару есептерінде шектелген шығындар, ұсталымдар және ысырыптар кезінде сапаның талап етілетін көрсеткіштерімен нысаналы өнімдердің шығысын максимимдеу қажет. Өйткені барлық критерийлер бойынша бір уақытта қабылданатын шешімдер болмайды, қисынды ымыра қажет. Өйткені тек адам – ШҚТ ғана қай көрсеткіш ең

маңызды екенін біледі, онда ШҚ көп критерийлі есептерін шешу ШҚТ-ның артықшылықтары туралы ақпарат негізінде жүзеге асырылуға тиіс.

Ерекше рөлі адамға тиесілі, өндірістік нысандарды басқару кезінде шешім қабылдау процесінің сипаттық ерекшелігі тек компьютерлік жүйелерді ғана қолдану емес, сондай-ақ басшылардың, ШҚТ пайымдамаларын тарту болып табылады. ШҚТ-ның пайымдамасының негізінде алынатын ақпарат критерий мәндеріне қатысты, әртүрлі критерийлердің мәндерін салыстыру кезінде оның артықшылықтарын анықтауға мүмкіндік береді.

Шешім қабылдау *мақсаты* болып уақыттың ағымдағы кезеңінде нысанның күйі қандайда бір қалаулы күйдің саласына ауысуы болып табылады. Сондай-ақ берілген ауысуды қамтамасыз ететін шарттар жасалуға тиіс. Өндірістік нысандар үшін әдетте, экстремалдық мәндерге жетуге ұмтылады, уақыттың ағымдағы кезеңінде өндірісте қалыптасқан нақты жағдайға байланысты, нысанның күйінің қалаулы салаға нысаналы бағытта өзгеруі орындалады.

Жалпы түрде шешім қабылдау есептерін [14, с. 25-37] түрінде жазуға болады:  $\langle \text{ШҚ есептері} \rangle = \{ \text{берілгені } V, V_S, V_P, W \text{ қамтамасыз ету талап етіледі} \}$ , мұндағы  $V$  – берілген шарттар;  $V_S$  – нысанның мүмкін күйлерінің жиыны;  $V_P$  – нысанның бір күйден басқасына ауысуын қамтамасыз ететін мүмкін операторлардың жиыны;  $W$  – нысанның қалаулы күйі.

Қойылған есепке және нысандардың күрделілігіне байланысты екі негізгі тәсілді бөлуге болады [45, с. 12-17]:

1 *Тұтас таңдау*, ШҚТ тікелей альтернативалармен операция жүргізген жағдайлар.

2 *Критерийлі-эксперттік таңдау*, ШҚТ көптеген критерийлер мен шектелімдерді қалыптастырады, таңдау ережесін тағайындайды, ал критерийлер бағалауын модельдеудің нәтижесінде немесе жүйемен өзара әрекеттесу кезінде алынады, сондай-ақ альтернативаның бөлігі сарапшылармен бағаланады.

Бірінші тәсілді практикалық қолдану күрделі нысандары үшін, өндірістік жүйелер үшін өте шектеулі, өйткені ШҚТ ақпараттың шектеулі санымен жедел операция жүргізеді (ақпараттардың-альтернативалардың  $7 \pm 2$  құрылымдық бірліктері).

Айқын емес бастапқы ақпаратты көп критерийлі таңдау мәселелері жақында ғалымдардың зерттеу нысаны болды. Айқын емес ортада жасақталған тәсілдерді және ШҚ көп критерийлі есептерін шешу алгоритмдерін кеңінен қолдану жолында басты «бөгеуі» болып тиімділіктің векторлық критерийінің және артықшылығының векторлық айқынсыз байланыстарының тұқыртуы болып табылады. Өндірістік басқару есебін шешуде олардың пайдалануына бөгет болатын берілген тәсілдің басқа кемшіліктеріне [33, с. 130-137; 44, с. 126-130] жатады:

- «айқын емес» түсінігін қолдану негізінде артықшылық қатынастары кезінде ғана қолданылады (бір нұсқаның басқа нұсқаның басымдылығы деңгейінің мағынасында);

- ШҚТ пікірін ескерусіз басымдылықтарды айқын емес қатқыл қатынастарын есептеу талпыныстары [44, с. 37-48];

- ШҚ есептерін шешу және қалыптастыру кезінде адам-машина өзара әрекеттесулерінің сұрақтарын пысықтау кемшіліктері, осындай есептерді шешуде адам-машина жүйелерін бағдарламалық-алгоритмдық қамтамасыз ету және интерфейс қолданушының «интеллектуалдығының» деңгейінің төмендігі.

Күрделі өнеркәсіп нысандарын басқару кезінде ШҚ есептерін тиімді шешу жиі тек шешім қабылдауды қолдау жүйесі құрылатын ЭЕМ жұмыстарын модельдеу негізінде ғана мүмкін. Бұл жағдайда ШҚТ нысанның модельдер жүйесі, білім базалары мен деректері, және көп критерийлі оңтайландыру алгоритмдері кіретін шешім қабылдауды қолдау жүйесімен жұмыс жасай отырып диалогтық режимде әртүрлі альтернативаларды бағалау және шешім таңдау үшін қажетті ақпаратты алады [26, р. 5-12; 75]. Осындай жүйелерді жасауға қатысты біз ұсынатын тәсіл кейбір интеллектуалдығымен 4 бөлімде қарастырылады, мұнда бензолдың өндірісін басқару үшін жасалған ШҚ интеллектуалдық жүйесінің сипаты беріледі.

Альтернативалардың –  $\Omega$  бастапқы жиынының белгілігіне және оңтайландыру –  $opt_{\Omega}$  принциптеріне байланысты, ШҚ есептері жіктеледі [14, с. 27-28]:

-  $\Omega$  және  $opt_{\Omega}$  шешім қабылдаудың жалпы есебі – белгісіз;

-  $\Omega$  – таңдау есебі – белгісіз,  $opt_{\Omega}$  – белгісіз;

-  $\Omega$  және  $opt_{\Omega}$  оңтайландырудың жалпы есебі – белгілі.

ШҚ есептері жағдайлардың, альтернативалардың және қорытындылардың арасындағы қатынасқа байланысты: анықсыздық жағдайларындағы, тәуекел және айқын емес ортадағы ШҚ есептері болып бөлінеді [45, с. 100-105].

*Анықтылық жағдайларында шешім* қабылдау есептері (ШҚ анықталған есептері) альтернатива  $x_i$  мен қорытындының  $S$  арасындағы анықталған бірмәнді байланыспен сипатталады. Альтернативаның қорытынды жиыны  $\Omega = \{x_i\}$  және альтернативаның  $x_i$  белгілері түріндегі, әдетте, бірнеше критериймен сипатталатын  $f_1(x_i), f_2(x_i), \dots, f_m(x_i) = f(x_i)$ , қорытындының бірмәнді бағалауларын  $S$ , векторлық критерий  $f(x_i)$  деп атайық.

Бұл жағдайларда ШҚ есебі таңдау есебі (векторлық оңтайландыру) ретінде қалыптасады:

$$\max_{x \in \Omega} f_i(x), i = \overline{1, m}, x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.15)$$

Мұндай түрінде, есеп (2.15) дұрыс болып табылмайды және тек локальды критерийлердің мәндерін көбірек жасауға ұмтылуын айқындайды.

Бұл есептерде оңтайландыру ұғымын нақтылау қажет. Бұл ұғым бір жағынан ШҚТ оңталандыру туралы ұғымына жақынырақ, ал басқа жағынан онымен интуитивтік емес, алгоритмді жұмыс жасау үшін жеткілікті қалыптастырамыз. Оңтайландыру принципі үздік альтернативалар ұғымын береді.

Шешім қабылдаудың осындай көп критерийлі есептерін шешудің әртүрлі тәсілдері бөлек критерийлері бойынша жалпылау арқылы агрегирлеу тәсілімен айрықшаланады. Мұндай тәсілдердің негізгі топтарына жататындар: тікелей тәсілдер; өтем тәсілдері; салыстыру шектерінің тәсілдері; аксиоматикалық тәсілдер және диалогтық тәсілдер [45, с. 12-12; 73, с. 12-13; 74, с. 129-133].

Тәуекел кезінде шешім қабылдау есептері (ШҚ стохастикалық есептері) белгілі ықтималдықтарымен  $P(S_j|x_i)$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $i = \overline{1, m}$  мүмкін нәтижелерден  $S_1, \dots, S_n$  жиындардың қорытындыларымен байланысты  $x_i \in \Omega$  әрбір шешім қабылдау кезінде пайда болады, яғни бұл есептерде альтернативалар мен қорытындылардың арасында бірмәнді байланыс болмайды.

Тәуекел кезінде ШҚ есептерін шешу үшін стохастикалық бағдарламалау, ойындар, талқылаулардың стохастикалық бағдарламалау теорияларының тәсілдері және ықтималдық тәсілдері кеңінен қолданылады.

$x_i$  шешімін қабылдау кезінде  $S_j$  қорытындысының тиімділігінің функциялары –  $J_{ij} = f(S_j, x_i)$  және  $x_i$  стратегиясын қолдану кезінде нысанның  $S_j$  жағдайына ауысуын сипаттайтын,  $P(S_j|x_i)$  - шартты ықтималдықтары анықталған болсын, онла әрбір шешімнің тиімділігі осылай ұсынылады:

$$u(x_i) = \sum_{j=1}^m f(S_j, x_i) p(S_j|x_i), \quad i = \overline{1, m}$$

Бұл жағдайда шешімді таңдау күтілетін тиімділіктің максималдық мәніне жетуін қамтамасыз ететін келесі ереже бойынша жүзеге асырылады:

$$x^* = \arg \max_{x_i \in \Omega} \{u(x_i)\}.$$

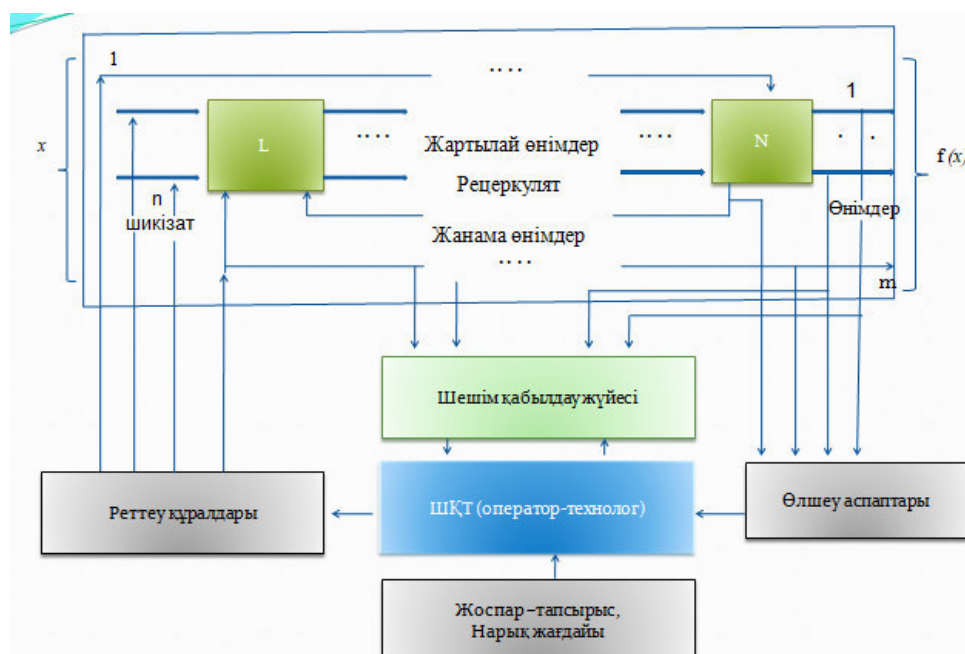
*Айқын емес ортада шешім қабылдау есептері (айқын емес ортадағы ШҚ есебі).* Ең болмағанда элементтердің біреуісінде (альтернативалар, критерийлер, артықшылықтар және шектелімдер) айқын емес сипатталған жағдайларда шешім қабылдау жағдайларында айқын емес ортада (айқын емес бастапқы ақпарат кезінде) ШҚ есептерінің орны бар. Осы жұмыста дәл осындай ШҚ есептері зерттеледі.

Айқын емес ортада ШҚ тәсілдерін жасақтаудың перспективалық бағыты болып айқын жиындар теориясында негізделген лингвистикалық тәсіл табылады. Осы уақытқа дейін бұл бағытта нақты практикалық нәтижелер алынды [14, с. 307-328; 26, р. 5-12; 42, с. 108-112; 76-77]. Дегенмен, анықсыздық жағдайларында өндірісте қалыптасқан кейбір жағдайлар ШҚ есептерін қалыптастырудың жаңа тәсілдерін және оларды шешу тәсілдерін жасақтауды талап етеді [34, с. 42-52; 43, с. 15-20; 45, с. 75-85]. Осы мәселелерді шешу үшін біз алған негізгі нәтижелер келесі бөлімде қарастырылады.

### 2.3 Айқын емес ортада көп критерийлі нысандарды басқару үшін шешім қабылдау есептерінің қойылымы

Өндірістік жүйелерді басқару кезінде пайда болатын, шешім қабылдау (ШҚ) есептері, әдетте, көп критерийлі болып табылады, өйткені мұндай жүйелердің жұмысы бірнеше локальды критерийлермен сипатталады. Өндірістік кешеннің жинақталған құрылымдық сұлбасы және оны басқару үшін шешім қабылдау жүйелері 2.1. суретте келтірілген.

$f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))$  нысанның жұмысының тиімділігі бағаланатын критерийлер (нысаналы функциялар болсын). Әрбір  $m$  критерийлері  $x = (x_1, \dots, x_n)$  параметрлерінің (кіріс әсерлерінің)  $n$  векторына тәуелді және критерийлердің өзара маңыздылығы қатысты маңыздылықтың (салмақтың)  $\gamma_1, \dots, \gamma_m$  коэффициенттерімен сипатталады.  $f_i(x), i = \overline{1, m}$  критерийлері  $f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))$  критерийлер векторын жасайды, ал  $\gamma_i, i = \overline{1, m}$  коэффициенттері –  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$  салмақтық вектор жасайды. Векторлық критерийдің құрамына кіретін  $f_i(x), i = \overline{1, m}$  критерийлерін локальды деп атайық, мысалы өндірілетін өнімдердің саны мен сапасы. әрбір альтернативалық шешім өзіне тән  $f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))$  векторлық бағалаумен ( $x$  нүктелерімен векторлық критерийлер мәндерімен) сипатталады, мұндағы  $f_i(x), i = \overline{1, m}$  –  $x$  нүктелеріндегі  $f_i, i = \overline{1, m}$  критерийінің мәні (басқарушы әсерлердің нақты мәндерінде).



Сурет 2.1 - Өндірістік нысанның және шешім қабылдауды қолдауға арналған жүйелердің жинақталған құрылымы

2.1 суреттегі  $1, \dots, N$  – өндірістік қосалқы жүйелер (агрегаттар, кондырғылар, цехтер, бөлімдер, бөлімшелер және т.б.),  $x = (x_1, \dots, x_n)$  – кіріс

параметрлерінің векторлары (режимдік параметрлер, басқарушы әсерлер);  
 $f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))$  – кіріс параметрлерінің (критерийлерінің) векторлары.

$x$  берілген мәндері кезіндегі  $f_i(x), i = \overline{1, m}$  функциялары белгілі бір мәндерді қолданады. ШҚ есептерінің бірі болып Парето жиындарын (тиімді шешімдері жиыны) бөлетін  $x$  векторларының мәндерін таңдау табылады, мұндағы  $f_i \in f, i \in I$  критерийлерінің кез-келгенін жақсарту тек басқалардың –  $f_j, j \in I, i \neq j$  нашарлауының салдарынан ғана мүмкін, мұндағы  $I = \{1, \dots, m\}$  – критерийлер жиыны.

Әрбір локальды  $f_i(x), i = \overline{1, m}$  критерий кіріс әсерлерінің мәндеріне тәуелді, бұл тәуелділіктер нысанның модельдерінің жүйесін сипаттайды.

Есеп элементтерінің ең болмағанда біреуісі (альтернативалар, артықшылықтар, критерийлер, шектелімдер, тәуелділіктер) айқын емес сипатталатын шешім қабылдау жағдайларында, айқын емес бастапқы ақпарат кезінде көп критерийлі шешім қабылдау есептері орын алады деп санайық.

Өндірістік нысандарды басқару үшін шешім қабылдау есептерін жалпы түрде келесі әдіс арқылы қалыптастыруға болады.

ШҚТ қанағаттандыратын локальды критерийлердің осындай мәндерін қамтамасыз ететін (режимдік параметрлерді) басқару векторын табу  $x^* = (x_1^*, \dots, x_m^*)$ :

$$\max_{x \in X} f_i(x), i = \overline{1, m} \quad (2.15)$$

$$X = \{x : x \in \Omega, \varphi_q(x) \gtrsim b_q, q = \overline{1, L}\} \quad (2.16)$$

мұнда  $f_i(x), i = \overline{1, m}$  – мәндер модельдер арқылы есептелетін локальды критерийлер (олардың барлығы немесе бөлігі айқын емес болуы мүмкін), яғни  $\tilde{f}_i(x)$ ;

(2.15)–(2.16) көп критерийлік есептің  $\Omega$  рұхсат етілген аймақтарын анықтайтын,  $\varphi_q(x)$ ;

$q = \overline{1, L}$  шектелімдер функциялары;

$b_q$  – айқын емес болуы мүмкін берілген сандар.

Критерийлер ретінде нысанның өнімділігі, өнімдердің саны мен сапасы, табысы және т.б. таңдалған кезде (2.3)–(2.4) есептері жағдайға сәйкес келетінін айта кетейік.

Егер де нысаналық функция  $f_i(x)$  шығындарды, өндірістік ұсталымдарды айқындаса, онда максимумдеу есебі минимумдеу есебіне айналады, мысалы кері нысаналы функцияны –  $f_i(x)$  енгізу арқылы. Локальды критерийлердің әртүрлі сипаттары болған жағдайда осы критерийлерді алдын ала қайта құру және қалыптастыру қажет.

Бұдан әрі біз критерийлер мен шектелімдерде айқынсыздықтың болуы кезінде ШҚ есептерінің әртүрлі элементтерін, әртүрлі өндірістік жағдайларда

шешім қабылдаудың айқын емес есептерінің қойылымын қарастырамыз. Бұл есептер бастапқы ақпараттың сипатталуының айқынсыздығын сақтау арқылы математикалық бағдарламалау есебі түрінде және  $\alpha$  деңгейінің жиынының негізінде анық есептер жүйесіне бастапқы айқын емес есептерді құру арқылы көп критерийлі айқын емес оңтайландыру түрінде қалыптастырылады, оларды шешу тәсілдері қарастырылады [26, р. 5-12; 43, с. 15-20; 61, с. 120-130; 78].

Негізгі сұрақ және берілген есептердегі мәселе – бұл альтернативаларды көп критерийлік бағалаудың тікелей белгілі тәсілдері арқылы, сондай-ақ маңызды рөлін ШҚТ-компьютер диалогтық режимінде жұмыс жасауға бағытталған ШҚТ-ға, ШҚ эвристикалық сұлбалары атқаратын, шешім қабылдау сұлбаларының көмегі арқылы шешілетін көп критерийлік мәселесі.

Жұмыста айқын емес жиындар теориясының негізіндегі лингвистикалық тәсілдер қолданылады. Бұл тәсілді жүзеге асыру кезінде келесі мәселелер туындайды:

- айқын емес жиындардың тиістілік функциясын жасау;
- айқын емес жиындарға операцияларды орындау;
- ШҚ айқын есептерінің қойылымы;
- айқын емес ортада ШҚ модельдерін жасақтау;
- айқын емес ақпараттың негізінде өндірістік жүйелерді басқару және модельдеу алгоритмдерін жасақтау;
- айқын емес ортада ШҚ есептерін шешу кезінде көп критерийлі оңтайландырудың қолданыстағы есептерін түрлендіру және қолдану.

Айқын емес ақпараттың қолжетімділігімен байланысты анықсыздық жағдайларында ШҚ есептерін шешу үшін тиімді шешімдерді табуға арналған рұқсат етілетін жиындарды зерттеу арқылы бір уақытта ШҚТ артықшылықтарын анықтау идеясында негізделген тәсілді тиімді қолдануға болады. Мұндай тәсілді жүзеге асыру құралы болып эвристикалық тәсілдер диалогтық (адам-машиналық) процедуралар табылады. Айқын емес ортада ШҚ есептерін шешу тәсілінің біз ұсынып отырған идеясы, бұл ШҚТ-ның құзырына ШҚ әртүрлі ымыралы сұлбаларға сүйенетін, көп критерийлі таңдаудың алгоритмдер жинағын ұсыну болып табылады. Орын алған жағдайға, шешілетін есептің түріне байланысты ШҚТ есепті шешу процесінде немесе өз қалауына қарай сол немесе басқа алгоритмді таңдайды, яғни біз туындаған есептерді шешудің бір ғана тәсілін емес, есептердің әртүрлі қойылымдарынан және олардың шешудің әртүрлі тәсілдерінен тұратын толықтай жинағын ұсынамыз. Бұл есепті бір тәсілмен сәтсіз шешу кезінде оны басқаша жасауға мүмкіндік береді.

Бастапқы ақпараттың көп критерийлігімен және айқынсыздығымен сипатталатын өндірістік жүйені басқару үшін ШҚ есептерін шешудің негізгі кезеңдерін келтірейік:

- 1 Жүйенің жұмыс (жұмыс істеу) шарттарын анықтау және өндірістік жағдайды сипаттау.
- 2 Жүйенің арасындағы өзара байланыстарды анықтау.
- 3 Қолжетімді (сандық және сапалы) ақпаратты жинауды және өңдеуді жүзеге асыру.



4 Сапаның локальды критерийлерін таңдау, яғни қалаулы мәндерге келтірілетін жүйенің және қосалқы жүйенің жұмыс көрсеткіштерін таңдау.

5 Өзгерте отырып критерийлердің экстремалдық мәндеріне жетуге болатын басқарушы (режимдік) параметрлерді анықтау.

6 Нысананы басқару үшін шешім қабылдау есебін қисындау.

7 Басқарушы параметрлердің сапаның локальды критерийлерінің мәнімен байланысын сипаттайтын жүйе модельдерінің жүйесін (пакетін) жасақтау.

8 Нысананы басқару үшін ШҚ есептерінің қойылымын түзету.

9 Жүйені басқару мақсатында ШҚ есептерін (АЕМБ есептерін және көп критерийлі айқын емес оңтайландыру есептерін) шешу алгоритмдерін жасақтау.

10 Есеп шешудің жасақталған алгоритмдерінің бағдарламалық жүзеге асырылуын жүргізу және ШҚТ–компьютер диалогтық режимінде салынған шектелімдерді орындау кезінде локальды критерийлердің экстремалдық мәндерін қамтамасыз ететін режимдік (басқарушы) параметрлердің оңтайландыру мәндерін таңдау.

Күрделі жүйені басқарудың есептерін шешудің мұндай тәсілі өндірістік процестерді жедел жоспарлау және болжау типтерінің есептерін шешу кезінде тиімді жүзеге асырылады.

#### **2.4 Айқын емес математикалық бағдарламалау (айқын емес ортадағы ШҚ) есептері мен оларды шешу тәсілдері**

Бұл бөлімде өндірістік жағдайларға байланысты айқын емес математикалық бағдарламалау есептерін түрінде шешім қабылдаудың әртүрлі есептерін қалыптастырамыз және оларды шешу тәсілдерін сипаттаймыз. Ұсынылған тәсілдерді нақты алгоритмдерге дейін жеткіземіз [1, с. 514-519; 35, с. 72-77; 40, с. 262-266; 41, с. 62-68].

Объективті себептердің қатары бойынша анықсыздық болған жағдайларда ШҚ есептерін шешу үшін ықтималдық тәсілдерін қолдану ақталмайды. Оның үстіне зерттелетін нысандар өздерін ықтималдық заңдары бойынша ұстағанда ақпарат тапшылығы, статистикалық деректердің жеткіліксіздігі, оларды жинаудың жөнсіздігі шынайы процестерді сипаттаудың басқа жолдарына, статистикалық емес, мысалы шешім қабылдаудың айқын емес сұлбаларына итермелейді деп санауға негіз болады.

ШҚ есептерін айқын емес ортада бастапқы сипатын біз алдыңғы бөлімде келтірдік (2.3 бөлігін қараңыз). Стохастикалық және айқын емес типтерінің анықсыздықсыздарының әртүрлі көздеріне сүйене отырып, ШҚ есептерінің бөлек элементтерінің айқынсыздығын бұдан әрі талдап тексерейік. Критерийлерді бірыңғайланған сипаттау үшін олардың өзгеру диапазонын кесіндіге келтіріп олардың қалыптастырайық  $[0, 1]$ . Критерийлердің мұндай сипаты тиістілік функциясының мәндерімен олардың мәндерін салыстыру үшін және әртүрлі критерийлердің өлшемсіз мәндерін салыстыру үшін қолайлы.

Критерийлердің маңыздылығы туралы ақпарат: басымдылық қатарымен ( $I$ ), басымдылық векторымен ( $\lambda$ ) және салмақтық вектормен ( $\beta$ ) ұсынылуы

мүмкін. Айқын емес сандардан тұратын немесе айқын емес жиындарға жататын айқын емес салмақтық вектор  $\tilde{\beta}$  және басымдық векторы мүмкін.

Айқынсыздық әртүрлі көздерінің (критерийлер, шектелімдер, оларға қойылатын талаптар) үйлесімділігі ШҚ әртүрлі айқын емес есептеріне әкеледі.

Айқын емес ортадағы ШҚ есептерінің кейбір қойылымдарын және оларды шешу тәсілдерін келтірейік [43, с. 15-20; 45, с. 110-115; 61, с. 120-136; 78, с. 13-15]. Айқын емес бастапқы ақпарат кезінде ШҚ есебі айқын емес элементтерімен математикалық бағдарламалау есептері түрінде қисындалуы мүмкін.

*Айқын емес математикалық бағдарламалау – АЕМБ* есебі ретінде нысаналы функциясы немесе нысаналы функциялар векторы (критерийлер, локальды критерийлер) бар есептерді түсінеміз, оларды оңтайландыру қажет және шарттарды-шектегімдерді сипаттайтын, теңсіздіктер немесе теңдіктер, әрі есептің бөлігі (критерийлер, шектегімдер, олардың маңыздылығы туралы ақпарат және т.б.) айқын емес сипатталады.

Алдымен айқын емес математикалық бағдарламалау есебі бір критерий және бірнеше шектегімдер үшін қойылатын жағдайға назар аударайық, яғни өндірістік жағдайға (ӨЖ 1) сәйкес.

*АЕМБ 1 есебі.*  $\mu_0(x)$  түрінің және  $f_q(x) \gtrsim b_q, q = \overline{1, L}$  айқын емес нұсқауларымен  $L$  түрінің шектегімдерінің бір қалыпты критерийі бар болсын. Шектегімдерді  $\mu_q(x), q = \overline{1, L}$  орындаудың тиістілік функциялары әрбір шектегім үшін ШҚТ-мен, сарапшы-мамандардың диалогының нәтижесінде құрылған (мысалы, 1 бөлімде (1.6 бөлігі) келтірілген алгоритмнің негізінде). Оңтайландыру есебінің қойылымы кезеңіне шектегімдердің өзара маңыздылығын айқындайтын шектегімдер үшін басымдық қатары  $I = \{1, \dots, L\}$ , немесе салмақтық вектор  $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_L\}$  белгілі болсын.

Онда жалпы түрде АЕМБ есебін:

$$\max_{x \in X} \mu_0(x)$$

шарттарында:  $f_q(x) \gtrsim b_q, q = \overline{1, L}$ ,

келесідей жазуға болады:

$$\max_{x \in X} \mu_0(x), \\ X = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \mu_q(x), q = \overline{1, L} \right\}$$

Айқын емес нұсқауымен нысаналы айқын функция және айқын емес шектегімдер кезінде АЕМБ есебінің берілген қойылымы шектегімдердің талаптарын толығымен қанағаттандырып, нысаналы функцияны максимимдеу ұмтылысын айқындайды. Егер де барлық тиістілік функцияларыны қалыпты болса, онда АЕМБ есептері мынадай болады:

$$\text{П.0. } \max_{x \in X} \mu_0(x) \\ X = \{x : x \in \Omega \wedge \mu_q(x) = 1, q = \overline{1, L}\}$$

$X$  - айқын жиында нысаналы функцияны максимимдеу арқылы айқын математикалық бағдарламалау алдық. Бұдан әрі нысаналы функцияның ойыстығын, шектелімдерді,  $\mu_q, q = \overline{1, L}$  және рұқсат етілетін  $X$  жиынының ойыстығын болжайық. Берілген есеп математикалық бағдарламалаудың қарапайым тәсілдерімен шешіледі.

Тәжірибеде  $X$  жиыны бір уақытта барлық шектелімдерді қанағаттандыратын  $x$  альтернативаның болмауы салдарынан бос болатын жағдайлар мүмкін, сондықтан есептеің шешуі болмайды. Бұл жағдайда бастапқы айқын есептің айқын шешімінен бас тарту керек және шектелімдердің айқынсыздығын пайдалана отырып, осы айқынсыздықты ескеретін есептерді қою керек. Бұл жағдайда бір уақытта барлық критерийлік шектелімдерді қанағаттандыру мүмкін болмағандықтан әртүрлі критерийлік шектелімдердің талаптарын ескерудің ымыралы сұлбаларын қолдануға тура келеді. АЕМБ есебінің қойылымы және осы есептердің шешімін анықтау үшін альтернативаның тікелей көп критерийлі бағалауларына салынған идеяларды және ымыралы сұлбаларды қолданайық.

Алдымен бастапқы есепті шектелімдер арқылы туындаған *Парето жиыны (Pareto set)* [79] нүктелеріндегі нысаналы функцияға максимимдеуге келтірейік:

$$\text{П.1. } \max_{x \in X} \mu_0(x) \\ X = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \sum_{q=1}^L \beta_q \mu_q(x) \wedge \sum_{q=1}^L \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, q = \overline{1, L} \right\}$$

Берілген есепті шешу  $\beta$  салмақтық векторға байланысты және нысаналы функцияның тиімді мәндерін және айқын емес шектелімдердің орындалуын қамтамасыз ететін басқарушы әсерлер векторына (режимдік параметрлер, тәуелсіз айнымалылар) байланысты:  $x^*(\beta), \mu_0(x^*(\beta)), \mu_1(x^*(\beta)), \dots, \mu_L(x^*(\beta))$ .

Түрлендірілген Парето оптималдық (ПО) принципін қолдану негізінде П.1 есебі үшін шешімдерді іздеудің келесі алгоритмі ұсынылады [40, с. 262-266; 45, с. 110-117]:

*FPS алгоритмі.*

1  $p_q, q = \overline{1, L}$  беріледі – әрбір  $q$ -ші координата бойынша қадамдар саны.

2  $h_q = \frac{1}{p_q}, q = \overline{1, L}$  анықталады –  $\beta$  салмақтық векторды өзгерту үшін қадамдар шамалары.

3  $h_q$  қадамымен  $[0, 1]$  кесінділерінде, координаталарды түрлендіру арқылы  $N = (p_1 + 1) \cdot (p_2 + 1) \dots (p_L + 1)$  салмақтық векторлар жиыны  $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^N$ , құрылады.

4 ШҚТ-дан, сарапшы-мамандардан алынатын ақпараттың негізінде айқын емес параметрлердің терм-жиындары анықталады және әрбір шектелім үшін  $\mu_q, q = \overline{1, L}$  шектелімдерді орындаудың тиістілік функциясы құрылады.

5 П.1  $\beta^t, t = \overline{1, N}$  қойылымы кезінде  $N$  есептері шешіледі және ағымдағы шешім анықталады:  $x(\beta^t), \mu_0(x(\beta^t)), \mu_1(x(\beta^t)), \dots, \mu_L(x(\beta^t))$ .

6 Алынған ағымдағы шешім ШҚТ-ға соңғы жақсы шешімді таңдау үшін ұсынылады. Жақсы шешім ШҚТ-ның қалауларын ескере отырып таңдалады.

7 Егер де ағымдағы ШҚТ қанағаттандырмаса, онда ол салмақтық векторлардың (түзетіледі)  $\beta^t, t = \overline{1, N}$  жинағының жаңа мәндері тағайындайды және 4 тармаққа қайтару жүзеге асырылады. Әйтпесе 8 тармаққа көшіріледі.

8 Шешімді іздеу тоқтатылады, ШҚТ-ның соңғы таңдау нәтижелері шығарылады: критерийдің үздік мәнін -  $\mu_0(x^*(\beta^t))$  және айқын емес шектелімдердің орындалу деңгейін -  $\mu_1(x^*(\beta^t)), \dots, \mu_L(x^*(\beta^t))$  қамтамасыз ететін, режимдік, (басқарушы) параметрлердің тиімді мәндері.

Соңғы тармақтарды орындауда қиындықтар туындаған жағдайда ШҚТ-дан шешімдердің бастапқы жиынын маңызды тарылтатын, оның қалаулары туралы қосымша ақпаратты алуға мүмкіндік беретін диалогтық процедураны ұйымдастыру ұсынылады.

Берілген алгоритмде бастапқы Парето шешім жиындары  $N$  нүктелерімен аппроксимацияланады, олар үшін шешімдер ізделіп жатыр. Үздік шешімді таңдау туралы сұрақ осы және басқа алгоритмдерде ШҚТ жүктеледі.

$I = \{1, \dots, L\}$  приоритетінің қатары белгілі дейік. ШҚ есебінің қойылымы үшін негізгі критерий тәсілін пайдаланайық.

ШҚТ шектеулері үшін шектелімдерді тудыратын,  $\mu_q^r, q = \overline{1, L}$  шектеуші мәндер тағайындалады. Есеп келесі қойылымда шешіледі:

$$\text{П.2. } \begin{cases} \max_{x \in X} \mu_0(x), \\ X = \{x : x \in \Omega \wedge \arg(\mu_q(x) \geq \mu_q^r), \quad q = \overline{1, L}\} \end{cases}$$

Берілген есепті шешу шектеуші мәндерге -  $x^*(\mu_1^r, \dots, \mu_L^r)$  байланысты. Есептің берілген қойылымы П.0 қарағанда жалпылау, ал  $\mu_q^r, q = \overline{1, L}$  кезінде П.1 айналады. ШҚТ  $\mu_q^r, q = \overline{1, L}$  шектеуші мәндерді тағайындаудағы жөнсіздіктерді айта кетейік. Үлкен негізділік үшін әртүрлі шектеуші мәндерді тағайындау, ШҚТ алынған шешімдерін талдау және жаңа шектеуші мәндерді таңдау үшін диалогтық алгоритмдерді құруға болады. Жүйесімен диалог құру процесінде ШҚТ әртүрлі шешімдерді алу мүмкіндігін, олардың шектеуші мәндерге сезгіштігін зерттейді, шешімдердің сапасына әсер ету мүмкіндігін алады.

Мұндай мүмкіндіктер ШҚТ диалогының есебіне, оның жұмыс көлемінің ұлғаюына қарай жетеді.

Есептің ұсынылған қойылымын түрлендіру мүмкін:

$$\text{П.2.А. } \begin{matrix} \max_{x \in X} \mu_0(x), \\ X = \left\{ x : x \in \Omega \wedge \arg(\mu_q(x) \geq \max_{x \in \Omega} \mu_q(x) - \Delta_q), \quad q = \overline{1, L} \right\} \end{matrix}$$

мұнда П.2 - есебінің қойылымына қарағанда әрбір шектелім үшін максималды мәндер анықталады, (У)  $\Delta_q, q = \overline{1, L}$  кемітулер енгізіледі (максималдық мәндерінен рұқсат етілетін ауытқулар) және есеп рұқсат етілетін мәндердің алынған жиындарында шешіледі.

$\max_{x \in \Omega} \mu_q(x) = 1, q = \overline{1, L}$  кезінде, П.2 және П.2.А есептерінің қойылымдары сәйкес келеді.

П.2, П.2.А - кезінде ШҚ есептерін шешудің ұсынылатын алгоритмінің құрылымын келтірейік.

*FPS-Δ алгоритмі*

1  $I = \{1, \dots, L\}$  шектелімдері үшін приоритеттер қатарын беру.

2 ШҚТ-дан, сарапшы-мамандардан алынатын ақпараттың негізінде айқын емес параметрлердің терм-жиынын анықтау және әрбір шектелім үшін  $\mu_q, q = \overline{1, L}$  шектелімдерді орындаудың тиістілік функциясын құру.

3 ШҚТ  $\mu_q^{\Gamma(r)}, q = \overline{1, L}, r = 1$  шектелімдерінің бастапқы шектеуші мәндерін тағайындасын немесе әрбір шектелім үшін  $\max_{x \in \Omega} \mu_q(x), q = \overline{1, L}$  максималды мәндерді анықтасын және шектелімдердің (кемітулер)  $\Delta_q, q = \overline{1, L}$  (П.2.А жағдайы үшін) максималдық мәндерінен рұқсат етілетін ауытқуларды енгізсін.

4 П.2 немесе П.2. А салынған шектелімдерді ескере отырып  $\mu_0(x)$  нысаналы функцияны максимимдеу есептерін шешу, шешімдерді анықтау:

$$x^*(\mu_q^{\Gamma(r)}), \mu_0(x^*(\mu_q^{\Gamma(r)})), \mu_1(x^*(x^*(\mu_1^{\Gamma(r)}), \dots, \mu_L(x^*(\mu_q^{\Gamma(r)}))), \quad q = \overline{1, L} \quad (\text{П.2 үшін})$$

немесе

$$\begin{aligned} & x^*(\max \mu_q(x), \Delta_q), \mu_0(x^*(\max \mu_q(x), \Delta_q)), \\ & \mu_1(x^*(\max \mu_1(x), \Delta_1)), \dots, \mu_L(x^*(\max \mu_L(x), \Delta_L)), \quad q = \overline{1, L} \quad (\text{П.2 үшін}) \end{aligned}$$

5 Алынған ағымдағы шешім ШҚТ-ға соңғы жақсы шешімді таңдау үшін ұсынылады. Егер де ағымдағы шешім ШҚТ қанағаттандырса, онда шешімді іздеу процедурасы тоқтатылады және соңғы шешімдер шығарылады: басқару векторларының мәндері  $x^*(\mu_q^{\Gamma(r)})(x^*(\max \mu_q(x), \Delta_q))$ , нысаналы функцияның мәндері  $\mu_0(x^*(\max \mu_q(x), \Delta_q))$ ,  $q = \overline{1, L}$  және шектелімдерді орындау деңгейлері  $\mu_1(x^*(\mu_1^{\Gamma(r)}), \dots, \mu_L(x^*(\mu_L^{\Gamma(r)})), (\mu_1(x^*(\max \mu_1(x), \Delta_1)), \dots, \mu_L(x^*(\max \mu_L(x), \Delta_L)))$ .

6 Кері жағдайда ШҚТ шектелімдердің  $\mu_q^{\Gamma(r)}$ ,  $r = r + 1$  жаңа мәндерін тағайындайды және 4 тармаққа көшеді.

Критерийлі шектелімдер үшін  $I = \{1, \dots, L\}$  басымдықтар қатарын берілді дейік. *Тиімділіктің лексикографикалық принципін* қолдана отырып, ШҚ есебін айқын емес математикалық бағдарламалау түрінде қояйық [79, с. 139-148]:

$$\text{П.3. } \max_{x \in X_L} \mu_0(x)$$

мұнда  $X_L$  жиыны – есептердің реттілігін шешу нәтижесінде пайда болады:

- 1  $X_1 = \{x : \arg \max_{x \in \Omega} \mu_1(x)\},$
- 2  $X_2 = \{x : \arg \max_{x \in X_1} \mu_2(x)\},$
- .....
- L.  $X_L = \{x : \arg \max_{x \in X_{L-1}} \mu_L(x)\}$

Осы сұлба бойынша алдымен оңтайландыру ең маңызды  $\mu_1(x)$  критерийлі шектелім бойынша жүргізіледі және осы критерий үшін  $X_1$  тиімді мәндердің жиынын алады. Бұдан әрі  $X_1$  жиынында келесі критерий оңтайланады және екінші критерий  $X_2$  және т.б. үшін тиімді мәндердің жиынын алады.

Өте жиі бірінші есепті шешу нәтижесінде тек қана бір нүкте алынады және есептің шешімі бірінші кезеңде аяқталады және екінші және келесі критерийлердің мәндері есептелмейді. Оның «қаттылығымен» байланысты тиімділіктің лексикографикалық принципін кемшіліктері мұнда да кездеседі.

*Квазитиімділіктің лексикографикалық принципін* пайдаланып, критерийлік шектелімдерге қойылатын қаттылық талаптарын бәсеңдетуге болады:

$$\text{П.4. } \max_{x \in X_L} \mu_o(x)$$

мұнда  $X_L$  жиыны – есептердің реттілігін шешу нәтижесінде пайда болады:

- 1  $X_1 = \{x : \arg(\mu_1(x) \max_{x \in \Omega} \mu_1(x) - \Delta_1)\},$
- 2  $X_2 = \{x : \arg(\mu_2(x) \max_{x \in X_1} \mu_2(x) - \Delta_2)\},$
- .....
- L.  $X_L = \{x : \arg(\mu_L(x) \max_{x \in X_{L-1}} \mu_L(x) - \Delta_L)\}$

мұнда  $\Delta_q$ ,  $q = \overline{1, L}$  - ШҚТ тағайындалатын, критерийлік шектелімдердің өзара маңыздылығын ескеретін кері емес шамалары (кемітулері).

Лексикографикалық принцип және квазитиімділіктің лексикографикалық принцип идеяларын пайдаланып П.3, П.4 есептерін шешудің келесі алгоритмін ұсынамыз.

*FLG-Δ алгоритмі*

1  $I = \{1, \dots, L\}$  шектелімдері үшін приоритеттер қатарын беру.

2 ШҚТ-дан, сарапшы-мамандардан алынатын ақпараттың негізінде айқын емес параметрлердің терм-жиынын анықтау және әрбір шектелім үшін  $\mu_q, q = \overline{1, L}$  шектелімдерді орындаудың тиістілік функциясын құру.

3 ШҚТ алынатын ақпаратқа байланысты кеміту мәндерін  $\Delta_q > 0, q = \overline{1, L}$  тағайындау (П.3 кезінде квазитиімділіктің лексикографикалық принципін пайдалану жағдайында  $\Delta_q = 0, q = \overline{1, L}$  қабылдауға болады).

4 Критерийді  $\mu_0(x)$  максимимдеу есебін есептердің реттілігін шешу жолымен анықталатын  $X_L$  жиынында шешу:

$$X_q = \left\{ x : \arg \max_{x \in X_{q-1}} \mu_q(x), q = \overline{1, L} \right\} \text{ (П.3 жағдайында);}$$

$$X_q = \left\{ x : \arg(\mu_q(x) \geq \max_{x \in X_{q-1}} \mu_q(x) - \Delta_q), q = \overline{1, L} \right\} \text{ (П.4 жағдайында);}$$

$q=1, X_{q-1}=X_0=\Omega$  кезінде;

$x(\max \mu_0(x), \Delta_q); \mu_0(x(\max \mu_q(x), \Delta_q))$  және  $\mu_1(x(\max \mu_1(x), \Delta_1)), \dots, \mu_L(x(\max \mu_L(x), \Delta_L))$

шешімдерін анықтау.

5 Алынған ағымдағы шешім ШҚТ-ға жақсы шешімді қолдану үшін ұсынылады. Егер де ағымдағы шешім ШҚТ қанағаттандырса, онда шешімді іздеу процедурасы тоқтатылады және соңғы шешімдер шығарылады:  $x^*(\max \mu_0(x), \Delta_q)$  - басқарушы (режимдік) параметрлердің тиімді мәндері;  $\mu_0(x^*(\max \mu_q(x), \Delta_q))$  – оларға сәйкес критерийдің максималдық мәндері  $\mu_0(x)$  және  $\mu_1(x^*(\max \mu_1(x), \Delta_1)), \dots, \mu_L(x^*(\max \mu_L(x), \Delta_L))$  – айқын емес шектелімдерді орындау (тиістілік функциясы) деңгейінің мәндері.

6 Кері жағдайда ШҚТ  $\Delta_q > 0, q = \overline{1, L}$  жаңа мәндерін тағайындайды және 4 тармаққа көшеді.

ШҚТ-ның *теңдік принципінің* негізінде жақсы шешімді қабылдау үшін айқын емес математикалық бағдарламалау есебінің қойылымы:

$$\begin{aligned} & \max_{x \in X_p} \mu_0(x), \\ \text{П.5. } X_p &= \left\{ x : \arg \max_{x \in X_1} \mu_1(x) \right\}, \\ X_1 &= \left\{ x : x \in \Omega \wedge \arg(\beta_1 \mu_1(x) = \dots = \beta_L \mu_L(x)) \right\} \end{aligned}$$

$\beta = (\beta_1, \dots, \beta_L)$  векторын ауыстыру. Ең үздік шешімді таңдауды ШҚТ-мен диалогтың негізінде эвристикалық тәсілмен жүзеге асыруға болады.

П.5 есебінің кемшілігі болып  $X$  жиынынан (айқын есепке арналған  $X$  жиыны бір нүктеден тұрады) алынатын  $\mu_0(x)$  мәнінің алдын ала анықталуы табылады.

Квазитеңдік принципі бекітілген  $\beta$  кезінде  $X$  жиынын кеңейтуге мүмкіндік береді:

$$\text{П.6. } \begin{aligned} & \max_{x \in X} \mu_0(x), \\ & X = \{x : \arg(\|\mu(z) - \mu(x)\|_D \leq \delta_1), z \in X_p \wedge \arg Y_{II}\} \end{aligned}$$

Мұнда максимимдеу  $\mu_0(x)$  паретолық жиында  $\delta_1$  жүргізіледі –  $\beta_1 \mu_1(z) = \dots = \beta_L \mu_L(z)$  шарттарын қанағаттандыратын  $\mu_q(z)$ ,  $q = \overline{1, L}$  координаттарымен  $\mu(z)$  теңдік нүктелерінің маңайы. П.6 есебі  $\beta$  және  $\delta$ : байланысты. Жалғыз шешімді қабылдау үшін диалогтық алгоритмді құруға болады.

Квазитеңдік принципін салмақтық векторды  $\beta$  құбылту арқылы айқындауға болады.

$$\text{П.6.А. } \begin{aligned} & \max_{x \in X} \mu_o(x), \\ & X = \left\{ x : \arg \max_{x \in X_1} \mu_1(x) \wedge \arg Y_{II} \right\}, \\ & X_1 = \{x : x \in \Omega \wedge \arg(\beta_1 \mu_1(x) = \dots = \beta_L \mu_L(x)), \beta = (\beta_1, \dots, \beta_L) \in B\}, \\ & B = \left\{ \beta : \|\beta - \beta^0\|_D \leq \delta_2 \right\} \end{aligned}$$

мұнда  $\beta^0$  - бастапқы салмақтық вектор;

$\delta_2$  - салмақтық вектордың рұқсат етілетін құбылту шамасын анықтайды.

Теңдік ( $R$ ) және квазитеңдік ( $KR$ ) принциптері идеяларының негізінде П.5, П.6, П.6.А есептерін шешудің келесі алгоритмін ұсынамыз.

*FR(KR) алгоритмі*

1 ШҚТ-дан, сарапшы-мамандардан алынатын ақпараттың негізінде айқын емес параметрлердің терм-жиынын анықтау және әрбір шектелім үшін  $\mu_q(x)$ ,  $q = \overline{1, L}$  шектелімдерді орындаудың тиістілік функциясын құру.

2  $\beta_1 \mu_1(x) = \dots = \beta_L \mu_L(x)$ . қамтамасыз ететін, салмақтық вектордың мәндерін беру  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_L)$ .

3 Рұқсат етілетін ауытқудың мәндерін  $\delta_1$  (П.6 үшін) және салмақтық вектордың  $\delta_2$  рұқсат етілетін құбылту мәндерін беру  $\delta_2$  (П.6.А үшін),  $\|\mu(z) - \mu(x)\|_D \leq \delta_1$ ,  $\|\beta - \beta^0\|_D \leq \delta_2$  метрика түрін таңдау.

4 П.5, П.6 және П.6.А салынған шектелімдерді ескере отырып нысаналы функцияны  $\mu_0(x)$  максимимдеу есебін шешу, ағымдағы шешімдерді – басқарушы (режимдік) параметрлердің мәндерін, критерий мәндерін және айқын емес шектелімдерді орындаудың тиістілік функцияларының мәндерін



анықтау:  $x(\beta) - \mu_0(x(\beta)), \mu_1(x(\beta)), \dots, \mu_L(x(\beta))$  (П.5 есебі үшін);  $x(\beta, \delta), \mu_0(x(\beta, \delta)), \mu_1(x(\beta, \delta)), \dots, \mu_L(x(\beta, \delta))$  (П.6., П.6.А есептері үшін).

5 Шешімдерді ШҚТ-ға оның қалауларын ескере отырып соңғы шешім таңдау үшін ұсыну:  $x^*(\beta); \mu_0(x^*(\beta)), \mu_1(x^*(\beta)), \dots, \mu_L(x^*(\beta))$  (П.5 есебін шешу кезінде);  $x^*(\beta, \delta), \mu_0(x^*(\beta, \delta)), \mu_1(x^*(\beta, \delta)), \dots, \mu_L(x^*(\beta, \delta))$  (П.6 немесе П.6.А есебін шешу кезінде). Егер де ағымдағы шешімдер ШҚТ қанағаттандырмаса, ол жаңа мәндерді тағайындайды  $\beta$  және (немесе)  $a$  және  $\delta$  ( $\delta_1, \delta_2$ ) және жақсы шешімді іздеу процедурасы қайталанады.

Айқын емес бағдарламалау есебінің түрінде ШҚ есебінің қойылымын келтірейік:

- *максимин принципiнiң негiзiнде:*

$$\max_{x \in X} \mu_0(x),$$

$$\text{П.7. } X = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \min_q \beta_q \mu_q(x), q = \overline{1, L} \right\}$$

- *максиминнiң квазитиiмдiлiк принципiнiң негiзiнде:*

$$\max_{x \in X} \mu_0(x),$$

$$\text{П.8. } X = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \min_q \beta_q \mu_q(x) - \Delta_q, q = \overline{1, L} \right\}$$

мұнда  $\Delta_q$  - рұқсат етiлетiн ауытқулар (кемiтулер);

- *тiзбектi максимин принципiнiң негiзiнде:*

$$\max_{x \in X_L} \mu_0(x),$$

$$\begin{aligned} & 1. X_1 = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \min_{q \in I} \beta_q \mu_q(x) \right\} \\ \text{П.9. } & 2. X_2 = \left\{ x : \arg \max_{x \in X_1} \min_{q \in I_1} \beta_q \mu_q(x) \right\}, \\ & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ & L. X_L = \left\{ x : \arg \max_{x \in X_{L-1}} \min_{q \in I_{L-1}} \beta_q \mu_q(x) \right\} \end{aligned}$$

мұнда  $I$  – индекстердiң (шектелiмдер нөмiрлерiнiң) толық жиыны;  
 $I_1$  – алдыңғы  $I$  жиынынан шектелiм нөмiрi алынды, ол алдыңғы максимин есебiнiң шешiмiн тапты, ...;  
 $I_{L-1}$  – жиын соңғы қалған шектелiм нөмiрiнен тұрады  
 - *тiзбектi максиминнiң квазитиiмдiлiк принципiнiң негiзiнде:*

$$\max_{x \in X_L} \mu_0(x),$$

$$\begin{aligned} 1. X_1 &= \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \min_{q \in I} \beta_q \mu_q(x) - \Delta_1 \right\} \\ 2. X_2 &= \left\{ x : \arg \max_{x \in X_1} \min_{q \in I_1} \beta_q \mu_q(x) - \Delta_2 \right\}, \\ \text{П.10.} & \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\ L. X_L &= \left\{ x : \arg \max_{x \in X_{L-1}} \min_{q \in I_{L-1}} \beta_q \mu_q(x) - \Delta_L \right\} \end{aligned}$$

мұнда  $\Delta_q$  -  $q$ -ші есепті шешу кезінде ШҚТ таңдалатын кемітулер

П.7–П.10 есептерін шешу үшін алгоритмдердің негізгі құрылымын қарастырайық.

*FMM алгоритмі*

1  $p_q$  беріледі,  $q = \overline{1, L}$  – әрбір  $q$ -ші координата бойынша қадамдар саны.

2  $h_q = \frac{1}{p_q}$ ,  $q = \overline{1, L}$  анықталады –  $\beta$  салмақтық векторды өзгерту үшін

қадамдар шамалары.

3  $h_q$  қадамымен  $[0, 1]$  кесінділерінде, координаталарды түрлендіру арқылы  $N = (p_1 + 1) \cdot (p_2 + 1) \dots (p_L + 1)$  салмақтық векторлар жиыны  $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^N$ , құрылады.

4 ШҚТ-дан, сарапшы-мамандардан алынатын ақпараттың негізінде айқын емес параметрлердің терм-жиындары анықталады және әрбір шектелім үшін  $\mu_q$ ,  $q = \overline{1, L}$  шектелімдерді орындаудың тиістілік функциясы құрылады.

5 Нысаналы функцияны максимимдеу есебін шешу: таңдалған принципке: (П.7), максиминнің квазитиімділік принципіне (П.8), жүйелі максиминге (П.9) және жүйелі максиминнің квазитиімділік принципіне (П.7) байланысты анықталатын  $\max \mu_0(x)$  жиынында шешу. Шешімдерді – басқару векторының мәндерін; айқын емес шектелімдерді орындаудың тиістілік функциясын (деңгейін) және критерийін анықтау:  $x(\beta), \mu_0(x(\beta)), \mu_1(x(\beta)), \dots, \mu_L(x(\beta))$  (П.7, П.9 қойылымдары кезінде) немесе  $x(\beta, \Delta_q), \mu_0(x(\beta, \Delta_q)), \mu_1(x(\beta, \Delta_q)), \dots, \mu_L(x(\beta, \Delta_q))$  (П.8, П.10 қойылымдары кезінде).

6 Ағымдағы шешімдерді ШҚТ-ға оның қалауларын ескере отырып соңғы шешім таңдау үшін ұсыну:  $x^*(\beta); \mu_0(x^*(\beta)), \mu_1(x^*(\beta)), \dots, \mu_L(x^*(\beta))$  (П.7, П.9 есептерін шешу кезінде);  $x^*(\beta, \Delta_q), \mu_0(x^*(\beta, \Delta_q)), \mu_1(x^*(\beta, \Delta_q)), \dots, \mu_L(x^*(\beta, \Delta_q))$  (П.8 немесе П.10 есептерін шешу кезінде). Егер де ағымдағы шешімдер ШҚТ қанағаттандырмаса, ол жаңа мәндерді тағайындайды  $\beta$  және (немесе) кемітулер  $\Delta_q$  және үздік шешімді іздеудің жаңа процедурасын жүргізу үшін 5 тармаққа қайта оралу.

Біз бір нысаналы функциясымен (критерийімен) және бірнеше критерийлік шектелімдерімен айқын емес математикалық бағдарламалау есептеріне

келтірілген айқын емес ортадағы ШҚ есептерін қарастырдық. Көп критерийлі нысанның жағдайында критерийлердің біреуісін нысаналы функция ретінде (немесе локальды критерийлердің тұқырту) таңдауға мүмкін болатындығы жорамалданды, ал басқалары шектелімдер ретінде қарастырылады. АЕМБ ұсынылған қойылымдарында және берілген түрлерінде нысаналы функция сондай-ақ оның бөлек шектелімдері айқын емес немесе айқын болулары мүмкін.

Тәжірибеде критерийлердің әртүрлі физикалық табиғатына, олардың сипаттарының айқынсыздығына, шешімді қабылдау және сипаттау процесінде ШҚТ-ның қалыптаспауына байланысты жиі есепті бір критерийлікке келтіре алмаймыз, яғни ӨЖ – 2 өндірістік жағдай 2 туындайды. Осы жағдайларда АЕМБ есептерін қалыптастыруға және шешуге көшейік.

*АЕМБ 2 есептері.* Бірнеше нысаналы функция (критерийлер) (ӨЖ 2-өндірістік жағдай 2) кезінде айқын емес математикалық бағдарламалау есептерінің түрінде айқын емес ортада,  $I=\{1,\dots,m\}$  басымдықтың белгілі қатарында немесе нысаналы функциялардың (локальды критерийлердің) өзара маңызды белгілі салмақтық векторда  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$ ,  $\gamma_i \geq 0, i = \overline{1,m}, \sum_{i=1}^m \gamma_i = 1$ , ШҚ есебін қоюға тура келеді  $\mu(x) = (\mu_0^1(x), \dots, \mu_0^m(x))$ . Онда АЕМБ көп критерийлі есебінің келесі қойылымын келтіруге болады:

$$П.11. \max_{x \in \Omega} \mu_0^i(x), i = \overline{1, m}$$

Мұндай қойылымдағы есептің шешімі сирек кездеседі, өйткені  $m$  нысаналы функциялардың бір нүктеде максимумға жетуін талап етеді.

Бұл жағдайда универсалды шешім болып Парето жиынын құру және осы жиынан ШҚТ-ның ең жақсы шешімді таңдауы табылады:

$$П.12. \max_{x \in \Omega} \mu_0(x), \mu_0(x) = \sum_{i=1}^m \gamma_i \mu_0^i(x)$$

Көп критерийлі айқын емес П.12 есебін шешу үшін келесі алгоритм ұсынылады.

*FMPS алгоритмі.*

1 Эксперттік бағалаудың негізінде локальды критерийлердің (нысаналы функциялардың) өзара маңыздылығын бағалайтын салмақтық вектордың мәндерін анықтау  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$ ,  $\gamma_i \geq 0, i = \overline{1,m}, \sum_{i=1}^m \gamma_i = 1$ .

2 Егер де  $\mu_0^i(x), i = \overline{1,m}$  және/немесе  $\gamma$ -анықтама айқын емес болса, олар үшін терм-жиынды анықтау және тиістілік функциясын құру.

3 Есепті шешу (П.12):

$$\max_{x \in \Omega} \mu_0(x) = \max_{x \in \Omega} \sum_{i=1}^m \gamma_i \mu_0^i(x)$$

және салмақтық вектордың әртүрлі мәндеріне шешімдер жиынын  $x^*(\gamma), \mu_0^1(x^*(\gamma)), \dots, \mu_0^m(x^*(\gamma))$  анықтау.

4. Алынған шешімдер жинағын ШҚТ-ға жақсысын тандау үшін ұсыну.

Қысқаша, алгоритмді талқылаусыз қарастырылатын жағдай үшін әртүрлі ымыралық сұлбаларды және оларды шешу тәсілдерін пайдалану арқылы айқын емес математикалық бағдарламалаудың негізгі қойылымдарын келтірейік.

*Лексикографикалық принцип:*

$$\begin{aligned} & \max_{x \in \Omega} \mu_0(x), \\ \text{П.13. } & \mu_0(x) = \sum_{x \in X_{m-1}} \mu_0^m(x) \end{aligned}$$

мұнда  $X_{m-1}$  есептердің реттілігін шешу нәтижесінде туындайды:

$$\begin{aligned} 1. \quad & X_1 = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \mu_0^1(x) \right\} \\ 2. \quad & X_2 = \left\{ x : \arg \max_{x \in X_1} \mu_0^2(x) \right\}, \\ & \dots \dots \dots \\ m-1. & X_{m-1} = \left\{ x : \arg \max_{x \in X_{m-2}} \mu_0^{m-1}(x) \right\} \end{aligned}$$

яғни әрбір келесі ( $I$  басымдығы бойынша) локальды критерий, өз максимумына жеткен алдыңғы критерийдің жиынында максимумделеді.

*Квазитивімділіктің лексикографикалық принципі:*

$$\text{П.14. } \max_{x \in \Omega} \mu_0(x), \quad \mu_0(x) = \sum_{x \in X_{m-1}} \mu_0^m(x)$$

$$\begin{aligned} 1. \quad & X_1 = \left\{ x : \arg \left( \mu_0^1(x) \geq \max_{x \in \Omega} \mu_0^1(x) - \Delta_1 \right) \right\} \\ 2. \quad & X_2 = \left\{ x : \arg \left( \mu_0^2(x) \geq \max_{x \in X_1} \mu_0^2(x) - \Delta_2 \right) \right\}, \\ & \dots \dots \dots \\ m-1. & X_{m-1} = \left\{ x : \arg \left( \mu_0^{m-1}(x) \geq \max_{x \in X_{m-2}} \mu_0^{m-1}(x) - \Delta_{m-1} \right) \right\}. \end{aligned}$$

Лексикографикалық принциптердің негізінде АЕМБ көп критерийлі есептерін (П.13, П.14 қойылымдары кезінде) шешу процедурасының негізгі кезеңдерін қарастырайық

*FMLG-Δ алгоритмі.*

1  $I = \{1, \dots, m\}$  локальды критерийлері үшін басымдықтар қатарын беру.

2  $\Delta_i, i = \overline{1, m-1}$  кемітулердің мәндерін енгізу (П.19 қойылымы кезінде).

3 Айқынсыздық жағдайында  $\mu_0^i(x)$ ,  $I$  және  $\Delta_i$  олар үшін терм-жиынды анықтау және тиістілік функцияларын құру.

4 Сәйкесінше П.13 немесе П.14 көрсетілген  $1, 2, \dots, m-1$  есептерінің реттілігін шешу арқылы анықталатын  $X_{m-1}$  жиынында П.13 немесе П.14 максимимдеу есебін шешу.  $x^*(I), \mu_0^i(x^*(I)), \dots, \mu_0^m(x^*(I))$  немесе  $x^*(I, \Delta), \mu_0^i(x^*(I, \Delta_1)), \dots, \mu_0^m(x^*(I, \Delta_m))$  шешімдерін анықтау.

5 Шешімдерді ШҚТ-ға үздігін таңдау үшін ұсыну. Егер де ағымдағы шешімдер ШҚТ қанағаттандырмаса, онда ол  $I, \Delta_i$  мәндерін түзетеді және 3 тармаққа қайта оралады.

*Негізгі критерий тәсілі:*

П.15.  $\max_{x \in X} \mu_0(x), \mu_0(x) = \mu_0^1(x),$

$$X = \{x : x \in \Omega \wedge \arg(\mu_0^i(x) \geq \mu_{0R}^i), i = \overline{2, m}\},$$

*Негізгі критерийдің түрлендірілген тәсілі:*

П.16.  $\max_{x \in X} \mu_0(x), \mu_0(x) = \mu_0^1(x),$

$$X = \{x : x \in \Omega \wedge \arg(\mu_0^i(x) \geq \max_{x \in \Omega} \mu_0^i(x) - \Delta_i), i = \overline{2, m}\},$$

FPS-Δ алгоритміне ұқсас негізгі критерий – МС тәсілі идеясының негізінде АЕМБ көп критерийлі есептерін шешу үшін келесі алгоритмді келтіруге болады:

*FMMC-Δ алгоритмі*

1  $I = \{1, \dots, m\}$  локальды критерийлері үшін басымдықтар қатарын беру (әрі, ең негізгі критерийдің басымдылығы 1 болуға тиіс) және  $\mu_0^i(x) : \Delta_i, i = \overline{2, m}$  максималды мәнінен ауытқуларды беру (П.16 қойылымы кезінде).

2 ШҚТ  $\mu_{0R}^i : \Delta_i, i = \overline{2, m}$  критерийлердің (басты – бірінші критерийден басқасы) шектеуші мәндерін (шектелімдерін) тағайындасын.

3 Терм-жиынды анықтау және  $\mu_0^i(x) \geq \mu_{0R}^i, i = \overline{2, m}$  шектелімдерін орындаудың тиістілік функциясын құру.

4 П.15 немесе П.16 ( $i = \overline{2, m}$ ) критерийлеріне салынған шектелімдерді ескере отырып  $\max_{x \in X} \mu_0(x), \mu_0(x) = \mu_0^1(x)$  есебін шешу.  $x^*(\mu_{0R}^i), \mu_0^1(x^*(\mu_{0R}^i)), \mu_0^i(x^*(\mu_{0R}^i)), i = \overline{2, m}$  шешімдерін анықтау.

5 Шешімдерді ШҚТ-ға соңғы шешім таңдау үшін ұсыну. Егер де ағымдағы шешімдер ШҚТ қанағаттандырмаса, онда жаңа мәндер  $\mu_{0R}^i, i = \overline{2, m}$  тағайындалсын және 3 тармаққа қайта оралады.

*Теңдік принципі:*

$$\begin{aligned} & \max_{x \in \Omega} \mu_0(x), \\ \text{П.17. } & \mu_0(x) = \max_{x \in X_\rho} \mu_0^1(x), \\ & X_\rho = \{x : x \in \Omega \wedge \arg(\gamma_1 \mu_0^1(x) = \dots = \gamma_m \mu_0^m(x))\} \end{aligned}$$

*Квазитеңдік принципі:*

$$\begin{aligned} \text{П.18. } & \max_{x \in X} \mu_0^1(x), \\ & X = \{x : \arg(\|\mu(z) - \mu_0(x)\|_D \leq \delta), z \in X_\rho \wedge \arg Y_\Pi\} \end{aligned}$$

*FPR(KR) алгоритмі:*

1  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$  салмақтық вектордың мәндерін енгізу.

2  $\delta$  – теңдіктерді орындаудың рұқсат етілетін дәлдігін беру және  $\|\mu(z) - \mu_0(x)\|_D$  метриканың түрін анықтау.

3 Егер де  $\mu_0^i(x), i = \overline{1, m}, \gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$  немесе  $\delta$  – айқын емес болса, олар үшін терм-жиындарды анықтау және тиістілік функциясын құру.

4 Локальды критерийлердің біреуісін максимимдеу, мысалы біріншісі:  $X_\rho$  (П. 17 кезінде) немесе  $X$  (П.18 кезінде) жиынында  $\max \mu_0^1(x)$ . Шешімдер анықталсын:  $x(\gamma)$ - басқару векторының мәндері (нысанның режимдік параметрлерінің);  $\mu_0^1(x(\gamma)), \dots, \mu_0^m(x(\gamma))$  – локальды критерийлер мәндері немесе  $x(\gamma, \delta), \mu_0^1(x(\gamma, \delta)), \dots, \mu_0^m(x(\gamma, \delta))$ .

5 Диалогтық режимде, құбылту арқылы  $\gamma$  немесе  $(\|\cdot\|_D, \delta)$ , соңғы шешімді қабылдау:  $x^*(\gamma), \mu_0^1(x^*(\gamma)), \dots, \mu_0^m(x^*(\gamma))$  немесе  $x^*(\gamma, \delta), \mu_0^1(x^*(\gamma, \delta)), \dots, \mu_0^m(x^*(\gamma, \delta))$ .

*Абсолюттік кеміту принципі:*

$$\begin{aligned} & \max_{x \in \Omega} \mu_0(x), \\ \text{П.19. } & \mu_0(x) = \sum_{i=1}^m \gamma_i \mu_0^i(x). \end{aligned}$$

*Қатысты кеміту принципі:*

$$\begin{aligned} & \max_{x \in \Omega} \mu_0(x), \\ \text{П.20. } & \mu_0(x) = \prod_{i=1}^m (\mu_0^i(x))^{\gamma_i} \text{ немесе } \mu_0(x) = \sum_{i=1}^m \gamma_i \log \mu_0^i(x). \end{aligned}$$

П.19 немесе П.20 АЕМБ көп критерийлі есептерін шешудің келесі алгоритмі ұсынылады.

*FMA(O)-Δ алгоритмі:*

1 Эксперттік ақпараттың негізінде  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$ ,  $\sum_{i=1}^m \gamma_i = 1$ ;  $\gamma_i \geq 1$ ;  $\gamma_i \geq 0$ ,  $i = \overline{1, m}$

салмақтық вектордың мәнін анықтау.

2 Айқынсыздық жағдайында  $\mu_0(x)$ ,  $\gamma$  олар үшін терм-жиындарды анықтау және тиістілік функцияларын құру.

3 П.19 немесе П.20 кезінде  $\max_{x \in \Omega} \mu_0(x)$  максимимдеу есебін шешу.  $x^*(\gamma)$ ,  $\mu_0^1(x^*(\gamma))$ , ...,  $\mu_0^m(x^*(\gamma))$  шешімдерін анықтау.

4 Шешімдерді ШҚТ-ға соңғы шешім таңдау үшін ұсыну. Егер де ағымдағы шешімдер ШҚТ қанағаттандырмаса, онда ол салмақтық вектордың  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$  мәндерін түзетеді және 3 тармаққа қайта оралады.

Шешімнің бұл алгоритмінде, алдымен, салмақтық вектордың  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$  мәндері тәуелді. Бұл вектордың мәндері ШҚТ-мен тағайындалады немесе эксперттік бағалау негізінде анықталады. Қолайлылық үшін олар  $[0, 1]$  интервалында қалыптасады, яғни  $\sum_{i=1}^m \gamma_i = 1$ ;  $\gamma_i \geq 0$ . Ең жоғарғы мәні  $\gamma_i$  ең маңызды критерийге  $\mu_0^i(x)$  беріледі. Қалған салмақтардың мәндері  $(\gamma_i)$  бұл критерийлердің маңыздылығы бойынша алдыңғы критерийлерге қаншалықты берілетіндігін ескере отырып анықталады.

Біз айқын емес шектелімдер кезінде (өндірістік жағдай  $\Theta_j - 1$ ) айқын емес математикалық бағдарламалау есептерінде келтірілген айқын емес ортадағы ШҚ есептерінің қойылымын және бірнеше нысаналы функциялар кезінде осы есептердің қойылымын қарастырдық және оларды шешу алгоритмдерін ұсындық.

Егер де критерийлер П.11.- П.20. есептерінде айқын емес берілсе, онда айқын емес локальды критерийлердің тиістілік функциялары құрылады –  $\mu_0(x) = (\mu_0^1(x), \dots, \mu_0^m(x))$  одан кейін олар оңтайландырудың әртүрлі принциптерінің негізінде максимимделеді.

Келтірілген әдістер мен принциптерді қолдану арқылы бірнеше критерий мен бірнеше шектелімдер кезінде АЕМБ есептері қойылымының ең ортақ жағдайы есептердің қарастырылған қойылымдарына келтіріледі. Сондай-ақ екі тәсілді бөлуге болады [57, p. 7278-7283; 80].

Біріншісі – П.1–П.10 оңтайландырудың әртүрлі принциптерімен рұқсат етілетін құру әдістерін шектеу үшін қолдану болып табылады және бірнеше нысаналы функция кезінде ШҚ (АЕМБ есептерінің) есептерінің қойылым мәселелері алынған рұқсат етілетін жиында максимимдеумен П.12–П.20 оңтайландыру принциптерін пайдалану арқылы шешіледі. Критерийлер айқын емес болған жағдайда, олардың тиістілік функциясы максимимделеді:

$$\max_{x \in \Omega} \arg \mu_0(x)$$

Екінші тәсіл нысаналы функцияларды шектелімдер ретінде қарастырудан және содан кейін осы нұсқа үшін АЕМП есептерінің қойылымына бірінші тәсілді қолданудан тұрады.

*АЕМБ 3 есептері.* Бірнеше шектелімдерімен (ӨЖ – 3 өндірістік жағдай) АЕМБ көп критерийлі есептерді шешу және қою мысалдары ретінде келесі есептерді (П.21, П.22) қарастырайық.

$\mu_0(x) = (\mu_0^1(x), \dots, \mu_0^m(x))$  – өндірістік нысанның жұмыс сапасына бағалайтын, критерийлердің қалыптастырылған вектор дейік. Эксперттік процедуралардың негізінде әрбір шектелім үшін  $\varphi_q(x), q = \overline{1, L}$  шектелімдерді орындаудың тиістілік функциясы  $\mu_q(x), q = \overline{1, L}$  құрылсын. Локальды критерийлер үшін  $I_C = \{1, \dots, m\}$  және  $I_R = \{1, \dots, L\}$  шектелімдер үшін басымдықтар қатары, немесе критерийлердің  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$  және шектелімдердің  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_L)$  өзара маңыздылығын айқындайтын салмақтық вектор белгілі дейік. Онда жоғарыда қарастырылған шешім қабылдаудың ымыралық сұлбаларының негізінде АЕМБ көп критерийлі есептерінің түрінде критерийлер векторымен және шектелімдерімен айқын емес ортада ШҚ әртүрлі есептерін қалыптастыруға және оларды шешу алгоритмін ұсынуға мүмкіндік береді.

Мысалы, бірнеше критерийлерімен және шектелімдерімен АЕМБ есебіне ортақ, Парето – оптималдық принципінің негізінде:

$$\max_{x \in X} \mu_0^i(x), i = \overline{1, m} \quad (2.17)$$

$$X = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \mu_q(x), q = \overline{1, L} \right\} \quad (2.18)$$

келесі қойылымда жазуға болады:

$$\text{П.21. } \max_{x \in X} \left( \sum_{i=1}^m \gamma_i \mu_0^i(x) \right), \quad i = \overline{1, m},$$

$$X = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \sum_{q=1}^L \beta_q \mu_q(x) \wedge \sum_{q=1}^L \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, q = \overline{1, L} \right\}$$

мұнда шектелімдерден туындаған Парето жиынының нүктелеріндегі шешімдердің тиімді жиыны іздестіріледі.

П.21 есебі үшін шешімдерді іздеудің келесі алгоритмінің негізінде жүзеге асыруға болады.

*FPS+PS алгоритмі*

1 Эксперттік бағалаудың негізінде, локальды критерийлердің (нысаналы функциялардың)  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m), \quad \gamma_i \geq 0, i = \overline{1, m}, \quad \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_m = 1$  өзара маңыздылығын бағалайтын салмақтық вектордың мәндері анықталады.

2  $p_q, q = \overline{1, L}$  беріледі – әрбір  $q$ -ші координата бойынша қадамдар саны.



3  $h_q = 1/p_q, q = \overline{1, L}$  анықталады –  $\beta$  салмақтық векторлардың координаталарын өзгерту үшін қадамдар адымы.

4 Салмақтық векторлардың жиыны анықталады  $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^N$ ,  $N = (p_1 + 1)(p_2 + 1) \dots (p_L + 1)$ , қадамымен  $[0, 1]$  кесінділерінде координаталарды құбылту.

5 Егер де  $\mu_0^i(x), i = \overline{1, m}$  және/немесе  $\gamma$  – айқын емес анықталса, онда олар үшін терм-жиындар анықталады және  $\mu_q(x), q = \overline{1, L}$  шектелімдердің орындалуын бағалау үшін тиістілік функциялары құрылады.

6 П.21 анықталатын,  $X$  жиынында  $\max_{x \in X} \mu_0(x) = \max_{x \in X} \sum_{i=1}^m \gamma_i \mu_0^i(x)$  есебінің шешімі және салмақтық вектордың әртүрлі мәндері үшін шешімдер жинағы анықталады: режимдік параметрлер мәндері  $x(\gamma, \beta)$ ; локальды критерийлер мәндері  $\mu_0^1(x(\gamma, \beta)), \dots, \mu_0^m(x(\gamma, \beta))$  және шектелімдерді орындау деңгейі  $\mu_1(x(\gamma, \beta)), \dots, \mu_L(x(\gamma, \beta))$ .

7 Алынған шешімдер жинағы ШҚТ-ға жақсысын таңдау және талдау үшін ұсынылады.

Егер де ағымдағы шешімдер ШҚТ қанағаттандырса, онда 8 тармаққа ауысу жүзеге асырылады, әйтпесе  $\gamma$  және (немесе)  $\beta$  мәндері түзетіледі және 2 тармаққа қайта оралу жүзеге асырылады.

8 ШҚТ қанағаттандыратын соңғы шешім шығарылады: локальды критерийлердің  $\mu_0^1(x^*(\gamma, \beta)), \dots, \mu_0^m(x^*(\gamma, \beta))$  тиімді мәндерін және шектелімдерді орындаудың тиістілік функцияларының максималды мәндері  $\mu_1(x^*(\gamma, \beta)), \dots, \mu_L(x^*(\gamma, \beta))$ . қамтамасыз етілетін режимдік параметрлердің  $x^*(\gamma, \beta)$  мәндері.

Өндірістік есептерді шешу кезінде алгоритмдердің жасақталған жиынынан (FPS, FPS- $\Delta$ , FLG- $\Delta$ , FR(KR), FMPS, FMLG- $\Delta$ , FMR(KR), FMA(O)- $\Delta$ ) нақты алгоритмді таңдау тәсілдемесін қарастырайық.

Әртүрлі өндірістік есептерді шешу кезінде алгоритмдердің ұсынылған кешенінен нақты алгоритмді таңдау ШҚТ-мен өндірісте қалыптасқан жағдайға, жоспар-тапсырысқа, нысанның күйіне, есептің қойылымына және оның қарастыруына байланысты жүзеге асырылады. Айта кетейік, егер де есеп бірнеше анық емес шектелімдер кезінде (ӨЖ 1- өндірістік жағдай 1) бір критерийді максимимдеуге (минимимдеуге) тірелетін болса, FPS, FPS- $\Delta$ , FLG- $\Delta$ , FR(KR), FMM тобынан алгоритмдер қолданылады, бірнеше критерийлерді максимимдеу кезінде (ӨЖ 2- өндірістік жағдай 2) - FMPS, FMLG- $\Delta$ , FMMS- $\Delta$ , FMR(KR), FMA(O)- $\Delta$  тобынан алгоритмдер қолданылады, ал жалпы жағдайда, бірнеше критерийлер және шектелімдер кезінде (ӨЖ 3 - өндірістік жағдай 3) FMM+PO алгоритмі қолданылады.

Егер де объектінің жұмыс тәртібіне, өнімнің сапа көрсеткіштеріне қойылатын талаптар «қатан» болса, онда ШҚТ кепілді нәтижелерді қамтамасыз ететін (ӨЖ 1 - өндірістік жағдай 1 кезінде FMM, ӨЖ-2 FMMS- $\Delta$ ) алгоритмдерді таңдайтыны анық.

Егер де өндірістік есеп былай қойылатын болса: қалған критерийлердің мәндеріне (басқа өнімдердің шығуына, өнімнің сапа көрсеткіштеріне және т.б.) шектеуші мәндер тағайындау арқылы бір (басты) критерийді (мысалы, сұранысы көбірек өнімнің өндірісін максимимдеу) максимимдеу қажет, онда FPS-Δ, FMMC-Δ немесе FMC+MC алгоритмдер таңдалады.

Егер де өндірісті басқару критерийлері маңыздылығы бойынша бірдей болатын болса, онда есепті теңдік және квазитендік принциптерінде негізделген FR(KR), FMR(KR) алгоритмдерінің негізінде шешуге болады.

Лексикографиялық принциптерде негізделген FLG-Δ, FMLG-Δ алгоритмдері критерийлер басымдығының, шектеулерінің қатары анық болған жағдайларда қолданылады және ең маңызды критерийден бастап критерийлерді реттік оңтайландыруды енгізу қажет.

Локальды критерийлердің онша үлкен емес саны жағдайларында ШҚТ өзінің қалауларының негізінде тиімді шешімдердің жинағынан ең жақсы шешімді қабылдауы мүмкін болғанда FPS (ӨЖ 1- өндірістік жағдай 1 үшін), немесе FPS+FS (ӨЖ - өндірістік жағдай 3 үшін) алгоритмдерін пайдаланған жөн.

Кейбір шектелімдердің «қатаңдықты» бәсеңдету үшін, локальды критерийлер мен шектелімдердің өзара маңыздылығын ескеру үшін есептер П.2А, П.4, П.6 және т.б. түрлендірілген қойылымдарда шешіледі, ШҚТ рұқсат етілетін ауытқуларды, кемітулерді -  $\Delta_i, \Delta_q, i = \overline{1, m}, q = \overline{1, L}$  енгізеді. Жоғарыда келтірілген шешім қабылдау есептерінде, олардың негізін тиістілік функциясы құрайтын, айқын емес математикалық бағдарламалау есептерінің түрінде айқын еместігін және қойылымын сақтау идеясы жүзеге асырылды. Алынған АЕМБ есептерінің нысаны олардың шешімі үшін математикалық бағдарламалау есептерін шешудің қарапайым айқын тәсілдерін қолдануға мүмкіндік береді. Бұл, біздің пікіріміз бойынша жүзеге асырылған тәсілдің құндылығын, әмбебаптығын көтереді.

Практикалық есепті шешу үшін келтірілген тәсілдердің қолдану мысалын келтірейік.

Максимин принципінің – *ММ* (критерийлер үшін) және *Парето оптималдық* – *РО* (шектелімдер үшін) негізінде шектелімдер векторымен режимдік параметрлерді оңтайландыру үшін шешім қабылдау есептерінің қойылымдарын келтірейік:

$$\max_{x \in X} \mu_0^1(x), \quad (2.19)$$

$$X = \{x : \arg \max_{x \in \Omega} \min_{i \in I_0} (\gamma_i \mu_i^i) \wedge \arg \max_{x \in \Omega} \sum_{q=1}^L \beta_q \mu_q(x) \wedge \sum_{q=1}^L \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, I_0 = \{2, \dots, m\}, q = \overline{1, L}\} \quad (2.20)$$

(2.19)–(2.20) есебінде 1 басымдығымен негізгі критерий максимимделеді, басқа критерийлер шектелімдерге максимин принципі бойынша енгізіледі, ал айқын емес шектелімдер Парето оптималдық принципінің негізінде ескеріледі.

Бұл есепті шешу алгоритмінің келесі құрылымы болады.

*FMM+PO алгоритмі:*

1 ШҚТ-мен диалогтық режимде локальды критерийлер үшін салмақтық коэффициенттердің мәндері анықталады  $\mu_0^i(x), i = \overline{1, m}: \gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m), \sum_{i=1}^m \gamma_i = 1, \gamma_i \geq 0, i = \overline{1, m}$ .

2 Егер де критерий  $\mu_0^i(x)$ , салмақтық вектор  $\gamma$  айқын емес болса, онда олар үшін терм-жиындар анықталады және тиістілік функциялары құрылады.

3 ШҚТ-мен диалогтық режимде шектелімдер үшін салмақтық коэффициенттердің мәндері анықталады  $\mu_q(x), q = \overline{1, L}: \beta = (\beta_1, \dots, \beta_L), \sum_{q=1}^L \beta_q = 1, \beta_q \geq 0, q = \overline{1, L}$ .

4  $p_q, q = \overline{1, L}$  - беріледі, – әрбір  $q$ -ші координата бойынша қадамдар саны.

5  $h_q = \frac{1}{p_q}, q = \overline{1, L}$  анықталады – салмақтық вектордың  $\beta_q$  координаталарын өзгертуге арналған қадамдар шамалары.

6 Қадаммен  $h_q$  кесінділерде  $[0, 1]$  координаталарды құбылту арқылы  $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^N, N = (p_1 + 1) \cdot (p_2 + 1) \cdot \dots \cdot (p_L + 1)$  салмақтық векторлар жинағын құру.

7 Терм-жиын анықталады және шектелімдерді орындаудың  $\mu_q(x), q = \overline{1, L}$  тиістілік функциялары құрылады.

8 Нысанның моделінің негізінде (2.17) өрнегі бойынша анықталатын,  $X$  жиынында  $\max_{x \in X} \mu_0^1(x)$  (4.41) максимимдеу есебі шешіледі. Ағымдағы шешімдер анықталады  $x(\gamma, \beta), \mu_0^1(x(\gamma, \beta)), \dots, \mu_0^m(x(\gamma, \beta)), \mu_1(x(\gamma, \beta)), \dots, \mu_L(x(\gamma, \beta))$ .

9 Алынған шешім ШҚТ ұсынылады. Егер де ағымдағы нәтижелер ШҚТ қанағаттандырмаса, онда ол жаңа мәндерді тағайындайды немесе  $\gamma$  және (немесе)  $\beta$  мәндері түзетіледі, және 2 тармаққа қайта оралу жүзеге асырылады. Әйтпесе 10 тармаққа өтеді.

10 Шешімдерді іздеу тоқтатылады, ШҚТ соңғы таңдауының: технологиялық нысанның  $x^*(\gamma, \beta)$  режимдік параметрлерінің тиімді режимдерін;  $\mu_0^1(x^*(\gamma, \beta)), \dots, \mu_0^m(x^*(\gamma, \beta))$  локальды критерийлердің тиімді мәндерін  $\mu_1(x^*(\gamma, \beta)), \dots, \mu_L(x^*(\gamma, \beta))$  айқын емес шектелімдердің орындалуының максималды деңгейін қамтамасыз ететін нәтижелері шығарылады.

Зерттеудің жоғарыда келтірілген нәтижелерін пайдалана отырып және максимин тәсілдерін және Парето оптималдық принципін түрлендіру негізінде бензолды өндіру бойынша кешеннің жұмыс жасау режимін басқару бойынша ШҚ есептерін дәлдеуге және келесі әдісте қоюға болады:

$\mu_0(x) = (\mu_0^1(x), \dots, \mu_0^3(x))$  – бензолды өндіру бойынша технологиялық кешен өнімдерінің шығуын бағалайтын, қалыпты критерий болсын (бензолды бағанасымен бензол – 127÷138 мың тн.; бензолды бағанадан рафинат 77–86 мың тн.; ректификациялы бағанадан ауыр ароматика 445–456 мың тн.). ШҚТ және сарапшы-мамандар ақпараттарының негізінде айқын емес шектелімдердің  $\mu_q(x) \gtrsim b_q, q=1, 2$  тиістілік функциялары құрылысы дейік (бензолдың орташа октандық саны ( $\gtrsim$ ) 102 кем емес; бензолдың құрамындағы күкірттің құрамы

( $\cong$ ) 0,00005%) артық емес –  $\mu_1(x), \mu_2(x)$ . Критерийлердің  $\gamma=(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$  және шектелімдерді  $\beta=(\beta_1, \beta_2)$  өзара маңыздылығын айқындайтын салмақтық векторлары белгілі.

Режимдік параметрлердің мәндерін оңтайландыру және технологиялық кешендерді басқару бойынша шешім қабылдау есептерінің математикалық қойылымын келесі түрде жазуға болады [81]:

$$\max_{x \in X} \mu_0^1(x), \quad (2.21)$$

$$X = \{x : \operatorname{argmax}_{x \in \Omega} \min_{i \in I_0} (\gamma_i \mu_{0R}^i) \wedge \operatorname{argmax}_{x \in \Omega} \sum_{q=1}^2 \beta_q \mu_q(x) \wedge \sum_{q=1}^2 \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, I_0 = \{2,3\}, q = 1,2\} \quad (2.22)$$

мұнда  $\wedge$  – логикалық белгі «және», ол байланыстыратын барлық бекітулердің, ШҚТ берілетін;

$\mu_{0R}^i$  – локальды критерийлер үшін шектеуші мәндердің шынайы болуын талап етеді.  $\gamma=(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$  - критерийдің салмақтық векторларының және  $\beta=(\beta_1, \beta_2)$  шектелімдердің мәндерін өзгерте отырып (2.21)–(2.22) есептерінің шешімдерін аламыз, яғни шектелімдерді бұзбай, яғни нысанның жұмыс режимдерін оңтайландыруды бұзбай, критерийлердің максималдық мәндерін қамтамасыз ететін  $x^*(\gamma, \beta)$  айналымдар мәндерін аламыз. Соңғы шешімді ШҚТ қалауларын ескере отырып қабылдайды.

Бензолдың өндірісі бойынша (2.21)–(2.22) технологиялық кешеннің параметрлерін оңтайландыру есептерінің қойылымын шешу үшін *максимин және Парето оптималдық* тәсілдерінің түрлендірілген комбинациясын қолданамыз. Мұнда ШҚТ локальды критерийлер мен шектелімдердің маңыздылық векторларының салмақтық коэффициенттері анықталады. Айқын емес шектелімдерді орындаудың тиістілік функциялары [82] жұмысында ұсынылған алгоритмнің көмегі арқылы эксперттік бағалаулардың негізінде құрылады.

(2.21)–(2.22) есептерін шешу үшін *FMM+PO* алгоритмін және алынған нәтижелерді дәлдеуді келтірейік:

1 ШҚТ-мен диалогтық режимде локальды критерийлер үшін салмақтық коэффициенттердің мәндері анықталады  $\mu_0^i(x), i = \overline{1,3}$ :  $\gamma = (0.7, 0.2, 0.1)$ ,  $\sum_{i=1}^3 \gamma_i = 1, \gamma_i \geq 0, i=1,2,3$ .

2  $\mu_0^i(x)$  және  $\gamma$  н айқын емес болғандықтан, олар үшін терм-жиындарды анықтау және тиістілік функцияларын құру қажеттілігі жоқ. Критерийлер  $[0,1]$  интервалында қалыптастырылған және жоғарыда құрылған модельдердің көмегі арқылы анықталады.

3 ШҚТ-мен және сарапшы-мамандармен диалогтық режимде келесі шектелімдер үшін салмақтық коэффициенттердің мәндері анықталды  $\mu_q(x)$ ,  $q = \overline{1,3}$ :  $\beta = (0.7, 0.3)$ ,  $\sum_{q=1}^2 \beta_q = 1$ ,  $\beta_q \geq 0$ ,  $q = 1, 2$ .

4  $p_q$ ,  $q = 1, 2$  анықталды – әрбір  $q$ -ші координата бойынша қадамдар саны:  $p_1 = 5$ ;  $p_2 = 2$ .

5  $h_q = \frac{1}{p_q}$ ,  $q = \overline{1,2}$  анықталды – салмақтық вектордың  $\beta_q$ :  $h_1 = \frac{1}{p_1} = \frac{1}{5} = 0,2$ ;  $h_2 = \frac{1}{p_2} = \frac{1}{2} = 0,5$ . координаттарын өзгертуге арналған қадамдар шамалары.

6 Қадаммен  $h_q$ ,  $q = 1, 2$  кесінділерде  $[0, 1]$  координаталарды құбылту арқылы  $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^N$ ,  $N = (5 + 1) \cdot (2 + 1) = 18$  салмақтық векторлар жинағы құрылды.

7 Терм-жиын анықталды және  $\mu_q(x)$ ,  $q = 1, 2$  шектелімдерді орындаудың тиістілік функциялары құрылды. Шешілетін есеп екі айқын емес шектеліммен сипатталады: бензолдың орташа октандық саны  $\gtrsim$  (кем емес) 102 және бензол құрамындағы күкірттің үлесі  $\lesssim$  (артық емес) 0,00005%. Бұл айқын емес шектелімдерді сипаттау үшін келесі терм-жиын анықталды:  $T(X, Y) = \{\text{төмен, орташадан төмен, орташа, орташадан жоғары, жоғары}\}$ . Келтірілген терм-жиынды қолдану арқылы айқын емес шектелімдерді орындаудың тиістілік функциялары құрылды:

$$\begin{aligned} \mu_1^1(x) &= \exp(0.5|y_4 - 97|^{0.60}) \\ \mu_1^2(x) &= \exp(0.5|y_4 - 100|^{0.55}) \\ \mu_1^3(x) &= \exp(0.5|y_4 - 102|^{0.50}) \\ \mu_1^4(x) &= \exp(0.5|y_4 - 104|^{0.55}) \\ \mu_1^5(x) &= \exp(0.5|y_4 - 107|^{0.60}) \\ \mu_2^1(x) &= \exp(0.3|y_5 - 0,000005|^{0.15}) \\ \mu_2^2(x) &= \exp(0.3|y_5 - 0,000002|^{0.12}) \\ \mu_2^3(x) &= \exp(0.3|y_5 - 0,000005|^{0.10}) \\ \mu_2^4(x) &= \exp(0.3|y_5 - 0,000008|^{0.12}) \\ \mu_2^5(x) &= \exp(0.3|y_5 - 0,000010|^{0.15}) \end{aligned}$$

мұнда  $\mu_1^p(x)$ ,  $\mu_2^p(x)$ ,  $p = \overline{1,5}$  – бензолдың ( $\mu_1^p(x)$ ) және ( $\mu_2^p(x)$ ) бензолдың құрамындағы күкірт үлесінің бензолдың орташа октандық санына әрбір квант  $p$  үшін айқын емес шектелімдерді орындау деңгейлерін сипаттайтын, тиістілік функциялары,  $y_4$  және  $y_5$  –  $\alpha$  деңгейі жиының негізінде бензолдың сапасының айқын емес көрсеткіштерінің сандық мәндері.

8 Локальды критерийлердің айнымалылардан (режимдік параметрлерден)  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  тәуелділігін сипаттайтын нысанның моделінің негізінде, (2.21) өрнегі бойынша анықталатын  $X$  жиынында  $\max_{x \in X} \mu_0^1(x)$  (2.22) максимимдеу

есебі шешілді. Критерийлер 1 тармақта анықталған маңыздылық коэффициенттерін ескеру арқылы  $X$  жиынында максимимделді. Ағымдағы шешімдер анықталды  $x(\gamma, \beta), \mu_0^1(x(\gamma, \beta)), \mu_0^2(x(\gamma, \beta)), \mu_0^3(x(\gamma, \beta)), \mu_1(x(\gamma, \beta)), \mu_2(x(\gamma, \beta))$ . Мұнда берілген есептің ең қолайлы тәсілін қолдануға болады, біздің жағдайда айқын емес ортада жұмыс жасау үшін айыппұл функцияларының түрлендірілген тәсілі қолданылды.

9 Алынған шешім ШҚТ ұсынылады. Егер де ағымдағы нәтижелер ШҚТ қанағаттандырмаса, онда ол жаңа мәндерді тағайындайды немесе  $\gamma$  және (немесе)  $\beta$  мәндері түзетіледі, және 2 тармаққа қайта оралу жүзеге асырылады. Әйтпесе 10 тармаққа өтеді. Біздің мысалда, ШҚТ таңдаған шешім циклдан кейін 2.2 кестесіне енгізілді.

10 Шешімдерді іздеу тоқтатылады, ШҚТ соңғы таңдауының: бензолдың өндірісі бойынша кешеннің:  $x_1^*(\gamma, \beta), x_2^*(\gamma, \beta), x_3^*(\gamma, \beta), x_4^*(\gamma, \beta), x_5^*(\gamma, \beta)$  (2.2 кестені қараңыз) тиімді режимдерін;  $\mu_0^1(x^*(\gamma, \beta)), \mu_0^2(x^*(\gamma, \beta)), \mu_0^3(x^*(\gamma, \beta))$  локальды критерийлердің тиімді мәндерін  $\mu_1(x^*(\gamma, \beta)), \mu_2(x^*(\gamma, \beta))$  (2.2 кестені қараңыз),  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ ;  $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) = (0.7, 0.2, 0.1)$ ;  $\beta = (\beta_1, \beta_2) = (0.7, 0.3)$  айқын емес шектелімдердің орындалуының максималды деңгейін қамтамасыз ететін нәтижелері шығарылады.

Кесте 2.2 – (FMM+PO) ұсынылған алгоритм бойынша, детерминді әдіс бойынша оңтайландыру есептерін шешу нәтижелерін салыстыру

Критерийлер мен шектеулер мәні	Детерминді әдіс	Ұсынылған алгоритм (FMM+PO)
Бензолды колоннадан бензол шығысы, мың. тн – критерий $y_1$	133	134,1
Бензолды колоннадан рафинад шығысы, мың. тн – критерий $y_2$	82	82,4
Ректификационды колоннадан ауыр ароматика шығысы, мың. тн – критерий $y_3$	450	450
«Бензолдың орташа октандық саны - $\geq 102 - \mu_1(x^*(\beta))$ кем болмауы керек» айқын емес шектеуі орындалуының тиістілік функциясы	–	1.0
«Бензол құрамындағы күкірт мөлшері $\leq 0,00005\% - \mu_2(x^*(\beta))$ үлкен болмауы керек» айқын емес шектеуі орындалуының тиістілік функциясы	–	1.0
Бензол өндіру кешенінің режим параметрлерінің оңтайлы мәндері $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*)$ : $x_1^*$ – шикізат, реформат кірісі; мың.тн.	746	746
$x_2^*$ – бензолды колоннадағы температура, °C;	1240	1230
$x_3^*$ – бензолды колоннадағы қысым, кг/см <sup>2</sup> ;	37	35
$x_4^*$ – шикізат құрамындағы күкірт мөлшері, %;	0,005	0,005
$x_5^*$ – шикізат құрамындағы ароматикалық көмірсутек мөлшері, %	50	50
Ескерту (–) сәйкес көрсеткіштер берілген тәсілмен анықталмайтындығын білдіреді		

Дегенмен, айқын емес оңтайландыру есептерін шешудің және қойылымның альтернативалық жолы бар. Ол айқын емес жиындарды  $\alpha$  деңгейіндегі айқын жиындармен алмастырудан тұрады. Бұл жағдайда бастапқы айқын емес есептің орнына  $\alpha$  деңгейінен алынғанға тәуелді және  $\alpha$  деңгейінің әрбір есебіне сәйкес айқын есептердің жинағын алады, шешімі  $x^*(\alpha)$  [45, с. 108-110; 61, с. 120-131; 80, р. 689-708]. ШҚТ үшін мәселе туындайды: бастапқы айқын емес есептің қай  $\alpha$  жуықтатуды және  $x^*(\alpha)$  айқын шешімді таңдау керек. Шын мәнінде ШҚТ көп критерийлі таңдауының бұл мәселесі алынған  $x^*(\alpha)$  нысаналы функциялардың және шектелімдердің мәндерімен сипатталатын шешімдердің сапасын, және сәйкес шешімдерге жететін  $\alpha$ , мәндерін салыстыруы керек. Бастапқы айқын емес ақпаратты жуықтатудың беріктік сипаттамалары ретінде  $\alpha$  шамаларын түсіндіру кезінде ШҚТ ең үздік шешімді таңдайды.

ШҚ оңтайландыру есептерінде  $\alpha$  деңгейінің жиындарын қолданудың кейбір ерекшеліктерін бөлу үшін бір айқын емес шектелімде айқын емес нысаналы функцияны максимимдеудің жеке жағдайын қарастырайық:

$$\text{П.23. } \max_{x \in X} f_0(x, \tilde{\alpha}_0)$$

$$X = \{x : x \in \Omega \wedge \arg(\varphi_1(x, \tilde{\alpha}_1) \geq \tilde{b}_1)\}$$

мұнда  $f_0(x, \tilde{\alpha}_0)$  -  $\alpha$  айқын емес коэффициенттерімен (параметрлерімен) нысаналы функция;

$\varphi_1(x, \tilde{\alpha}_1)$  - айқын емес коэффициенттерімен шектелімдер функциясы;

$\tilde{b}_1$  - айқын емес сан.

$\alpha$  деңгейінің жиынын енгізе отырып алатынымыз:

$$\tilde{f}_0(x, \tilde{\alpha}_0) \Rightarrow f_0(x, a_0^\alpha),$$

$$\tilde{\varphi}_1(x, \tilde{\alpha}_1) \Rightarrow \varphi_1(x, a_1^\alpha),$$

$$\tilde{b}_1 \Rightarrow b_1^\alpha$$

Функцияның және сандардың алынатын айқын мәндерінің мүмкін бірімнді еместігін айта кетейік.  $\tilde{b}_1 = \{b_1, \mu(b_1)\}$ ,  $b_1 \in [\underline{b}_1, \bar{b}_1]$  айқын емес сандары үшін  $\alpha$  деңгейінің жиынына ауысу кезінде  $b_1^\alpha \in [\underline{b}_1^\alpha, \bar{b}_1^\alpha]$  аламыз. Функцияның айқын мәндері ұқсас айқын емес коэффициенттерді айқын сандарға ауыстыру кезінде пайда болатын кесінділерге жатады.

Белгіленген бірімнді еместіктерді шешетін, МП есептерінің айқын қойылымдарының келесі нұсқасы ұсынылады [45, с. 108-111]:

$$\max_{x \in X} \min_{a_0^\alpha} f_0(x, a_0^\alpha)$$

$$X = \{x : x \in \Omega \wedge \arg(\min_{a_1^\alpha} g_1(x, a_1^\alpha) \geq \max b_1^\alpha)\}$$

Математикалық бағдарламалау есептерінің қойылымдарының мұндай нұсқасы кезінде коэффициенттердің ең нашар мәндері кезінде есептерді шешудің ең үздік нұсқалары ізделеді. Шын мәнінде есептің қойылымы кезінде максимин принципі жүзеге асырылады.

П.1–П.20 типті АЕМБ есептерін  $\alpha$  деңгейінің жиындарымен ұқсас тәсілдерді пайдалана отырып математикалық бағдарламалаудың айқын есептерінің қойылымдарына келтіруге болады.  $\alpha$  деңгейінің жиындарының негізінде көп критерийлі айқын емес есептерін шешудің тәсілдері мен кейбір алгоритмдері келесі бөліктерде келтірілген.

Нысандардың бастапқы сипатында айқын емес салмақтық коэффициенттердің болуы жағдайында сондай-ақ салмақтық коэффициенттер үшін  $\alpha$  деңгейінің жиындарын енгізе отырып АЕМБ есептерін қоюға болады.

2.2 кестеде келтірілген деректемелерді талдау нәтижесінде келесі қорытындылар алынды:

1 Ұсынылған *FMM+PO* алгоритмі анықталған тәсілмен салыстыру бойынша оларды анықталған нұсқаға алдын-ала түрлендірусіз айқын емес шектелімдерімен есептерді шешуге мүмкіндік береді, кейбір көрсеткіштері бойынша үздік нәтижелерді қамтамасыз етеді.

2 Айқын емес қойылымда көп критерийлі есепті шешу кезінде өндірістік есептерді шешу адекваттығы жақсарады, өйткені идеализациясыз шынайы жағдайда адекватты түрде сипаттауға мүмкіндік беретін айқын емес ақпарат (өндірістік қызметкерлердің, сарапшы-мамандардың білімдері, тәжірибелері) қолданылады.

3 *FMM+PO* алгоритмі тиістілік функциясын анықтауға мүмкіндік береді, яғни айқын емес шектелімдерді орындау деңгейі өндірістік жағдайларда жиі туындайтын айқын емес шектелімдерімен есептердің шешімдерін қамтамасыз етеді.

4 ШҚТ көмегімен оңтайландыру процесінде өнімнің саны мен сапасының арасындағы ымыралық шешімді анықтайды.

Осылайша, өнімнің сапасын  $(y_1, y_2, y_3)$  жақсарту үшін олардың көлемін азайту керек. Сондықтан бір уақытта оның сапасын жақсарту арқылы бензолдың шығыс көлемін максимимдеу есептерінің қойылымы дұрыс емес болып табылады. Бұл жағдайда есептің дұрыс қойылымының екі нұсқасы болуы мүмкін:

1) берілген мәндерден кем емес сапа көрсеткіштерін қамтамасыз ету арқылы өнімнің шығыс көлемін максимимдеу;

2) өнімнің шығысына берілген көлемді қамтамасыз ету арқылы өнімнің сапасын максималды жақсарту, яғни өнімнің көлеміне шектелімдер енгізу және есепке алу.

Кестеде келтірілген нәтижелер айқын емес ортада шешім қабылдау есептерінің ұсынылған алгоритмінің тиімділігін көрсетеді, өйткені белгілі тәсілдердің [83] нәтижелерімен салыстырғанда барлық көрсеткіштері бойынша жаман емес нәтижелер көрсетеді, ал бензол мен рафинаттың шығысы бойынша нәтижелері жақсартылған. Бұдан басқа *FMM+PO* алгоритмі айқын емес шектелімдерді есептеуге мүмкіндік береді, айқын емес шектелімдердің



орындалу деңгейін анықтайды. Көрініп тұрғандай оңтайландыру кезінде айқын емес шектелімдердің толық орындалуы қамтамасыз етіледі, яғни олардың тиістілік функциялары  $\mu_1(x^*(\beta))$  және  $\mu_2(x^*(\beta))$  1 тең.

Осылайша, бұл бөлікте эквивалентті анықталған нұсқаларға түзетусіз айқын емес ортада қойылатын және шешілетін бензолдың өндірісінің ХТЖ режимдік параметрлерін оңтайландыру үшін шешім қабылдау есептерінің жаңа қойылымдары алынды, оларды шешудің эвристикалық алгоритмдері жасақталды. Жасақталған алгоритмдер тиімділіктің әртүрлі принциптерін түрлендіруге және комбинациялауға негізделген, олар айқын емес математика тәсілдерінің негізінде айқын емес ортада жұмыс жасау үшін түрлендірілген. Атырау МӨЗ-ның бензол өндірісі бойынша кешеннің технологиялық агрегаттарының модельдерінің жүйелерін жасақтау кезінде жүзеге асырылған, айқын емес ақпаратты ескеру арқылы анықсыздық шарттарында технологиялық жүйелердің математикалық модельдерін құру тәсілдері ұсынылды. Жасақталған модельдер зерттелетін нысанның жұмыстарының тиімді режимдерін таңдау бойынша шешім қабылдау кезінде қолданылды.

Нәтижелердің жаңалығы болып айқын емес ақпараттың негізінде анықсыздық жағдайларында технологиялық жүйелердің математикалық модельдерін жасақтаудың ортақ тәсілін ұсыну табылады, нысанның тиімді жұмыс режимдерін таңдау есептері айқын емес ортада оларды анықталған эквивалентті есептерге алдын-ала түзетусіз қойылады және шешіледі. Осылайша, басқа авторлардың тәсілдеріне қарағанда ұсынылатын айқын емес ортада шешім қабылдау есептерін шешу тәсілдерінде критерийлер мен шектелімдерді сипаттау кезінде алынатын бастапқы ақпараттың айқынсыздығы сақталады және ШҚТ үшін ыңғайлы түрде тиімділіктің әртүрлі принциптерінің негізінде көп критерийлік мәселелері рұқсат етіледі. Бұл айқын емес ортада өндірістік жағдайларды өте адекватты сипаттауға және оңтайландырудың туындайтын есептерінің тиімді шешімдерін алуға мүмкіндік береді. Есептің қойылымы кезінде оңтайландырудың сол немесе басқа принциптерін пайдалана отырып, біз режимдік параметрлерді оңтайландыру үшін шешім қабылдаудың бастапқы есептерінің әртүрлі шешімдерін және қойылымдарын жасаймыз, бұл ШҚТ-ға таңдау мүмкіндігін береді, оларды салыстыру арқылы қолайлысын және оның қалауы бойынша жақсы шешімдерін таңдайды.

## **2.5 Бөлімнің қорытындысы**

1 Өндірістік жүйелерді басқару үшін модельдеу және шешім қабылдау есептері зерттелді және сипатталды.

2 Әртүрлі өндірістік жағдайларда айқын емес ортада көп критерийлі өндірістік жүйелерді басқару үшін модельдеу және шешім қабылдау есептерінің қойылымдары зерттелді, қалыптастырылды және алынды және олардың шешудің эвристикалық тәсілдері жасақталды, есептерді шешу әдістерін таңдау тәсілдемесі ұсынылды.

3 Көп критерийлі өндірістік жүйелерді басқару үшін шешім қабылдау есептері зерттелді. ШҚ есептерін жіктеу және оларды шешу тәсілдеріне талдау

жүргізілді. Айқын емес математикалық бағдарламалау және оңтайландыру есептері бөлінді.

4 Бастапқы ақпараттың айқынсыздығын ескеру арқылы өндірістік жүйелердің модельдерін құру тәсілдемесі ұсынылды. Айқын емес ортада модельдерді синтездеуге қойылатын тәсілдер зерттелді және айқын емес ақпараттың негізінде өндірістік модельдердің модельдерін жасақтау тәсілдері ұсынылды.

5 Ұсынылған тәсілдеменің негізінде бастапқы ақпараттың тапшылығы және айқынсыздығы жағдайларында бензолдың өндірісі бойынша технологиялық кешеннің модельдері жасақталды, бензолдың өндірісін басқару бойынша айқын емес ортада ШҚ есептерінің қойылымы алынды, қалыптастырылды. Алынған нәтижелерге талдау жүргізілді.

### **3 ҚҰРЫЛҒАН МОДЕЛЬДЕР МЕН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ӘДІСТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДАНДЫРЫЛҒАН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ НЕГІЗГІ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ БЛОКТАРЫ МЕН ҚҰРЫЛЫМЫН ТҰРҒЫЗУ**

#### **3.1 ХТЖ-ні басқару кезінде шешім қабылдауды қолдау үшін интеллектуалды жүйелерді құру тәсілдемесі**

Өндірісте ШҚТ көбінесе дұрыс шешім қабылдау үшін, үлкен көлемдегі ақпаратты өңдеу керек, түрлі балама түрлерін қарастырады, әр түрлі факторлардың әсерін ескереді және анықсыздық жағдайында шешімнің салдарын бағалайды.

Мұндай жағдайлар көпкритериалды ХТЖ оңтайландыру және басқару үшін өндірістік міндеттерді шешу қажет болғанда туындайды.

Мұндай міндеттерді шешу үшін шешім қабылдауды қолдау жүйесі (ШҚҚЖ) өте пайдалы [68, р. 95-99; 75, с. 4-9; 84]. ШҚҚЖ шешім қабылдау процедурасын едәуір жылдамтатуға және жақсартуға мүмкіндік беретін, шешім қабылдау теориясының әдістері мен заманауи компьютерлік техниканың мүмкіндіктерін біріктіреді. Мұндай жүйелердің құрамына келесі негізгі блоктар кіреді: шешім қабылдау және мәселелерді талдау, білім және мәліметтер базасы, модельдер жүйесі, модельдер идентификаторы және қолданушы интерфейсі. Бұл блоктар ақпаратты ағындармен байланысқан және олардың әрқайсысы белгілі бір функцияны орындайды.

Әртүрлі өндірістік нысандарды басқаруда туындайтын негізгі мәселелердің бірі - үздік шешімдерді іздеу және іріктеу болып табылады. Өндірістік объектінің кіріс және шығыс параметрлері туралы объективті ақпарат болған кезде, олардың негізінде шешілетін математикалық модельдер дәстүрлі тәсілдермен, эксперименттік статистикалық әдістерді қолданумен жасақталады.

Дегенмен, іс жүзінде модельдерді құрастыруда сарапшы –мамандардан, ШҚТ-дан алынған сапалы, айқын емес сипаттағы және өндірістік жүйе ерекшеліктерін көрсететін ақпараттар өте маңызды. Мұндай ақпарат, әдетте, табиғи немесе табиғиға жақын кәсіптік тілде келтіріледі.

Өндірістік жағдайлардың басты ерекшелігі - бастапқы ақпараттың анық болмауы. Мұндай жағдайларда сапалы сипатқа ие ШҚТ-дың, сарапшы-мамандардың білімі мен шешімдерін қалыптастыру қажет. ШҚ-дың айқын емес есептерін шешу үшін, шешім қабылдау жүйесінің құрамына, олармен табиғи емес немесе кәсіби –бағытталған тілде ақпарат алмастыруға мүмкіндік беретін интеллектуалдандыру элементтерін қосу керек. Мұндай мүмкіндіктер жасанды интеллект әдістері негізінде, шешім қабылдауды қолдау жүйесінің құрамына: білімдер базасы, логикалық қортындылау блогы және таңдау нәтижесін түсіндіру, ШҚ есептерін шешудің эвристикалық алгоритмдерін және интеллектуалды интерфейсті қосумен жүзеге асырылады. Шешім қабылдауды қолдау үшін шешім қабылдаудың интеллектуалды жүйелері (ШҚИЖ) деп атаймыз [1, с. 514-519; 53, с. 8-11; 54, с. 12-13]. Келесі анықтамаларды келтіреміз.

*Анықтама.* Интеллектуалды шешім қабылдау жүйесі дегеніміз, адамның (ШҚТ, сарапшы) білімі мен тәжірибесі негізінде, өндірістік нысандардың тиімді жұмыс режимдерін таңдауға мүмкіндік беретін, ШҚ-дың көпкритериалды есептерін шешуге және қалыптастыруға қабілетті адам-машиналық жүйе.

ШҚИЖ өндірісті басқару бойынша ұсыныс беретін ШҚТ –мен диалогтық режимде жұмыс жасайтын, заманауи компьютерлер негізінде интеллектуалдандырылған автоматтандырылған жүйелер болып табылады.

Бұл жүйелер шешім қабылдау үшін және ШҚТ-ның қалауы (предпочтения) және толық емес ақпарат жағдайында күрделі өндірістік кешендерді басқару үшін қолданылады.

ШҚИЖ құру келесі негізгі кезеңдермен жүргізіледі [53, с. 8-11]:

1 Мәселелік аумақты және шешілетін есептерды идентификациялау, ШҚ есептерінің мазмұндық қойылымы.

2 ШҚТ мен сарапшы-мамандардың басқарылатын нысан туралы білімін қалыптастыру және мәліметтер мен білім базасын.

3 Нысан модельдерінің жүйесін жасақтау.

4 Нысанды басқару бойынша шешім қабылдау есептерін алгоритмдеу.

5 Модель идентификаторын жасақтау.

6 Қолданушының интеллектуалдандырылған интерфейсіні жасақтау.

7 Жасақталған модельдер мен алгоритмдердің бағдарламалық жүзеге асуы.

Келтірілген ШҚИЖ жасақтаудың кейбір кезеңдеріне түсінік береміз. Екінші кезеңде эксперттік бағалау процедуралары ұйымдастырылып, нәтижесінде ШҚ есептері қалыптастырылады және білім базасы құрылады. Мәліметтер базасын толтыру нысанның жұмыс істеуі туралы статистикалық мәліметтері негізінде жүзеге асырылады.

Үшінші кезеңде нысан элементтерінің (ішкі жүйелер) моделдері жасақталып, бірыңғай жүйеге (пакет) біріктіріледі. Ішкі жүйе модельдерінің бір бөлігі немесе барлығы анық емес болуы мүмкін. Сонымен бірге, 1-ші бөлімде ұсынылған айқын емес модельдерді синтездеу әдістері мен әр түрлі сипаттағы қолжетімді ақпараттар негізінде модельдер құру методологиясын қолдануға болады. ШҚ формалданған есептерін шешу алгоритмі ретінде (төртінші кезең), 2-ші бөлімде жасақталған, өндірістік жағдайларға байланысты ШҚ есептерін шешудің эвристикалық алгоритмдерін таңдауға болады, яғни ШҚТ-ның иелігіне, алгоритм кешендері ұсынылады. ШҚИЖ жасақтаудың бесінші кезеңінде, модельмен алынған мәліметтер нысанның нақты көрсеткіштермен (сарапшы–мамандардың бағалауы бойынша) сәйкестігін салыстыруды жүзеге асыратын бағдарлама құрылады. Егер осы параметрлер арасындағы ауытқулары жол бергісіз болса, идентификатор модельді күйге келтіреді, яғни ағымдағы режимдік параметрлер және сарапшы-мамандардан алынған ақпараттар негізінде жана мәндерді есептейді.

ИШҚЖ-нің архитектурасын және оның негізгі блоктарының қызметін қарастырамыз.

### 3.2 ХТЖ интеллектуалды басқару жүйесінің құрылымы және оның негізгі функционалдық блоктары

Есте сақтау көлемі үлкен, үлкен көлемді ақпаратты өңдей алатын, өнімділігі жоғары компьютерлік техниканың пайда болуы, білімдер базасын қолдану, табиғи тілге жақын тілде ЭЕМ жұмыс істеуді жеңілдететін талаптар, әр түрлі интеллектуалдық жүйелерді (интеллектуалды ақпаратты-іздеу жүйелері, қолданбалы бағдарламалардың интеллектуалды пакеттері, есептеу-жүйелер,эксперттік жүйелер, ШҚИЖ) құруға әкелді [53, с. 8-11; 54, с. 12-13; 85]. ХТЖ-ні басқаруға арналған ШҚИЖ-нің негізгі компоненттеріне келесі блоктарды жатқызуға болады: нысанның модельдер (пакет) жүйесі, анықсыздық жағдайында ШҚ есептерін шешу алгоритмдерінің кешені, мәліметтер және білім базасы, шешімдерді түсіндіру және логикалық қортындылау блогы, модель параметрлерінің идентификаторы, ақпараттық ағындардың өзара байланысы бар қолданушы интерфейсі. Бұл блоктардың әрқайсысы белгілі бір қызметті атқарады, ал олардың бірлесіп жұмыс істеуі ШҚТ-ға өндірісті басқару туралы тиімді шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Жасақталатын жүйе қызметіне қойылатын талаптарды талдау нәтижесінде, ШҚИЖ-нің архитектурасы (құрылымы) [53, с. 8-11; 54, с. 12-13] 3.1 суретте келтірілген.



Сурет 3.1 – ШҚИЖ архитектурасы.

ШҚИЖ-нің негізгі компоненттерінің (блоктарының) функционалдық тағайындалуын қарастырамыз.

*Қолданушы - ШҚТ*, басқару критерийлерінің қалаған мәндерін қамтамасыз ететін, нысанның жұмыс режимін (шешім нұсқасы) таңдайды. Шешімді таңдау өндірістегі туындаған жағдайларға байланысты жүзеге асырылады, мысалы жеке критерийлер маңыздылығын (салмақ векторы, критерийлер

басымдылығы) және қойылған шектеулерді (басқарушы және режимдік параметрлер мәніне, жеке критерийлер мәніне) ескере отырып, өнім өндіру жоспарына, бастапқы шикізат құрамына, өнімнің сапасына қойылатын талаптар және т.б.

*Модельдер жүйесі* әртүрлі модельдерден тұрады, соның ішінде айқын емес, тұтастай алғанда нысандарды пайдаланудың жүйелік модельдеуін жүзеге асыруға мүмкіндік беретін бірыңғай пакетте біріктірілген өндіріс жүйесінің жекелеген элементтері. Бұл модельдер жеке критерийлердің ( өндіріс жұмысының сапа көрсеткіштері) кіріс әсерінің мәндеріне (басқару, процесстің режимдік параметрлері, өндіріс жағдайының көрсеткіштері) қатысты мәндерін анықтауға (есептеуге) арналған.

*ШҚ есептерін шешу алгоритмдер кешені:* 3-ші бөлімде қарастырылған айқын емес математикалық бағдарламалау алгоритмдері және көпкритериалды айқын емес оңтайландыру, айқын емес ортада ШҚ есептерін шешу үшін арналған. Бұл алгоритмдер модельдер пакетінің, білімдер базасының және логикалық қорытынды блогының негізінде таңдалған критерийлер бойынша нысан жұмысының рационалдық режимін іздеуді жүзеге асырады және осы режимдерді қамтамасыз ететін басқарушы әсерлердің ұсынылатын мәндерін анықтайды. Түпкілікті шешімді таңдау, әдетте, ШҚТ қабылдайды.

*Түсіндіру және логикалық қортындылау блогында* алынған нәтижелерді түсіндіру және кеңестер, қортындылау стратегиялары жүзеге асырылады. Бұл блок ШҚ есептерін шешу алгоритмдері, мәліметтер және білім базасы негізінде ШҚТ-ға (өндірістік қызметкерге, операторға) өдірісті (технологиялық процесті, өндірістік нысанды) оперативті басқаруға кезінде ұсыныс береді және басқарушы әсерді қалыптастырады. Бұл процедуралар айқын емес жиындарды синтездеу арқылы және логикалық (композициялық) қортындылау ережелері негізінде олар бойынша операциялар жүргізу арқылы жүзеге асырылады.

ШҚТ берілетін ұсыныстар, оның қалауы бойынша логикалық қортындылау ізіне негізделген түсініктемелермен жүруі мүмкін. Жүйенің пайдаланушылары жүйе берген ұсыныстарды, тұжырымдардың жарамды екенін жиі тексергісі келеді. Адамдарға талдау үшін ыңғайлы және қысқа түрде алынған түпкілікті нәтижелерді түсіндіру, альтернативті таңдау кезінде қабылданған барлық ой пікірлерді тіркеу жолымен жүзеге асырылады. Түсіндірмені қалыптастыру үшін, сипатталған блок көп критерийлік таңдаудың және білім базасының алгоритмдерімен байланысты.

*Мәліметтер және білім базасы* өндіріс туралы статистикалық мәліметтерді, пәндік саланы зерттеушілер, сарапшы-мамандардың формалданған білімін сақтау үшін арналған. Бұл блоктағы ақпарат таңдау нәтижесін түсіндіру үшін, өндірістік есеп беруді құру және модельдерді жаңа жағдайға бейімдеу үшін, шешім қабылдау және талдау процессінде қолданылады.

*Модель параметрлерін идентификациялаушы,* нысанның жұмыс режимін және берілген жағдайда модельдің адекватты жұмыс істеуін, сонымен қатар қажет болғанда модель параметрлерін қайта есептеуді (идентификациялауды) жүзеге асыратын бағдарлама түрінде келтіріледі. Бұл үшін

идентификациялаушы режимдік параметрлердің ағымдағы мәні туралы, сонымен қатар мәліметтер және білім базасындағы ақпаратты қолданады. Нысан күйінің және процесс ағыны шартының өзгерісі кезінде блок модельдерді нақты нысандарға бейімдейді және өндірісте орын алған жағдайда есептеу (модель бойынша) және эксперименттік мәліметтер (өндірістің негізгі көрсеткіштері бойынша) көрсеткіштерінің айырмашылығын қолдануға болады, мысалы:

$$R = \sum_{j=1}^m |y_j^M - y_j^Э| \leq R_{дон}$$

мұнда  $y_j^M, y_j^Э$  – сәйкесінше, көрсеткіштердің модельдік және эксперименталды мәндері;

$R_{дон}$  – рұхсат етілетін ауытқулар (модель дәлдігі).

Эксперименттік мәліметтер сараптамалық бағалау қорытындысы негізінде алуға болады және сапалық сипатқа ие екендігін атап өткен жөн. Мұндай жағдайда  $\tilde{R}$  айқын емес сипатқа ие және оны шешу үшін айқын емес жиындар теориясының тәсілдемесін қолданады. Басқару R критерий мәнін минималдау мақсатында таңдалу қажет.

*Қолданушы интерфейсі* нысанды басқару кезінде жүйе мен қолданушының ыңғайлы диалогтық жұмыс режимін қамтамасыз етуге және ШҚИЖ-нің басқа да бірқатар қызметтерін жүзеге асыру үшін арналған.

Жүйемен жұмыс жасау барысында қажеттілік туындаған жағдайда жүзеге асырылатындар: дисплейге өндіріс нысандарының сұлбаларын (технологиялық, принципиалдық сұлбаларын) және осы нысандардың жағдайы туралы ақпаратты шығару; басқарушы параметрлерінің мәндерін және қолданушы үшін ыңғайлы үлгіде (мәтіннің кестелері, графиктері, диаграммалары) алынған есептеу нәтижелерін экраннан көрсету; нысанның жұмыс режимінің оңтайландыру процессін көзбен бақылау; өндіріс басқару үшін қажетті параметрлерді енгізу және түзету және т.б.

Диалог қолданушының кәсіптік тілінде жүзеге асырылуға тиіс. Кәсіптік тіл кәдімгі табиғи тілдің көп емес қосалқы жиынтықтығын құрайды және зерттелетін нысан бойынша талқыланатын мәселелердің түйінін мамандармен өзара түсінуін жеңілдетеді. Мұндай тілде синонимдер болмауға тиіс, яғни әрбір сөздің бірмағыналы мағынасы болуға тиіс. Сөйлемдер мен мәтіндер кәсіптік тілде, табиғи тілдің сөйлемдері мен мәтіндеріне қарағанда қатал ережелер бойынша құрылады. Бірақ та бұл «жеңілдетілген» тіл өте ыңғайлы және ШҚИЖ-ШҚТ қолданушысы, өндірістік қызметкерлер үшін түсінікті.

Жүйе кәсіптік тілді, қолданушы хабарлайтын есептің тұжырымдамасын түсінуі үшін оның сәйкес блоктары – басқарудың диалогтық алгоритмдері, нысанның модельдер пакеті және біз жоғарыда қарастырған білімдер базасы болуға тиіс. Интерфейстің интеллектуалдық деңгейі қолданушымен жүйенің қарым-қатынасының қарапайымдылығына және ыңғайлығына және базада

сақталатын білімдердің, тіл және мәселелі сала туралы мәліметтердің құрамына және көлеміне байланысты.

### **3.3 Шешім қабылдау жүйесінің «интеллектуалдығын» жоғарылату тәсілдері**

ШҚИЖ тиімдігін жоғарылату үшін олардың интеллектуалдық деңгейін көтеру қажет, яғни интеллектуалдылық дәрежесін көтеру қажет, бұл тәжірибелі мамандардың білімдерінің негізінде концептуалдық қателерінің ықтималдығын төмендетеді және қолданушы үшін үйреншікті және ыңғайлы тілде қатынасуға мүмкіндік беретін, достық жүйесін жоғарылатады.

Атап өткендей, ШҚИЖ негізгі қызметі болып өндірістік жүйенің жұмысының тиімді режимін қамтамасыз ететін, түрлі шектеулерді (критерийлер, процесстің режимдік параметрлері және т.б.) ескере отырып басқарушы әсерлердің осындай мәндерін анықтау және іздеу табылады. Сонымен бірге, әдеттегідей, нысан айқын емес ортада қызмет етеді, ал оның жұмысының сапасын бағалау бірнеше критерийлер бойынша жүзеге асырылады. Бұл есептерді шешуге арналған алгоритмдердің интеллектуалдығы айқын емес жиындар теорисы тәсілдерінің, эксперттік бағалаулардың негізінде адамның (ШҚТ, сарапшы-мамандар, нысан салаларын зерттеушілер) талқылауларын, білімін және ішкі түйсігі болып табылатын айқын емес ақпараттың және кәсіптік-бағытталған тілде есептерді шешудің диалогтық процедурасын ұйымдастыру есебінен көтеріледі. Мұндай алгоритмдерге ШҚТ-компьютер диалогында жұмыс жасайтын, біз 2 бөлімде ұсынған эвристикалық алгоритмдер жатады.

Өндірістік жүйелерді басқаруға арналған ШҚИЖ интеллектуалдылық есептері көптеген өзара байланысқан технологиялық, өндірістік жағдайларды бір уақытта тану сұрақтарымен байланысты. Көптеген практикалық жағдайларда шешім қабылдау процедураларын жүзеге асыру кезінде жағдайды сипаттайтын параметрлердің барлық үйлестіру мүмкіндіктерін бағалау қиын. Бұдан басқа тиімді басқарушы шешімдерді қабылдау нысанның үлкен өлшемділігі және нысанның күрделілігі жағдайлары тураы ақпараттың толық еместігіне, нысанның формалданған сипаттамасының болмауына байланысты өндірістің қызметкерлері (ШҚТ) үшін үшін күрделі есеп болып табылады. Өртүрлі өндірістік жағдайлар ШҚТ-дан сәйкес шешімдерді қабылдау үшін білімнің түрлі типтерін талап етеді. Жағдайларды анықтау және шешім қабылдау процедурасы алдын-ала бағдарламаланған шешімі жоқ штаттық емес жағдайлар туындаған кезде біршама күрделенеді. Бұл шарттарда ШҚ есептерінің мәселелері ШҚ жүйесін интеллектуалдандыру негізінде, білім базасының, логикалық қорытынды және шешімді түсіндіру, сондай-ақ қолданушының интеллектуалдық интерфейсінің негізінде шешілуі мүмкін.

ШҚ модельдерін құру және есептерді алгоритмдеу кезінде сарапшы-мамандардан және ШҚТ-дан алынатын қосымша (айқын емес) сапалы ақпаратты қалыптастыру және пайдалану ШҚИЖ интеллектуалдығын маңызды жоғарылатуға мүмкіндік береді.



Білімдер (формалданған талқылаулар, сарапшы-мамандардың ішкі түйсіктері) білімдер базасында, жиі ережелер - өнімдер [12, с. 32-37; 52, с. 230-235] түрінде жазылады, мысалы «егер  $A$  болса, онда  $B$ », мұндағы  $A$  – шарт (өндірістік жағдай),  $B$  - әрекет (шешім). Мұндай пішінде білімдер базасында нақты өндірістік жағдайлар, жүйенің қызметінің жағдайлары туралы және әрекеттер, кепілдемелер туралы мәліметтер бар.

Айқын емес ортада қызмет ететін нысандар үшін жоғарыда көрсетілген ереже (өнімдер) айқын емес болып табылады, яғни  $A$  және  $B$  сәйкесінше нысанның кіріс және шығыс параметрлерінің айқын емес жиындары болып табылады.

Логикалық қорытынды және түсіндіру блогы қорытындының логикалық ережесінің негізінде, мысалы қорытындының композициялық ережесінің негізінде бастапқы ақпаратты (мәліметтер және білімдер, ағымдағы мәліметтер базасынан) жүзеге асырады.

ШҚТ-мен, оның қалауы бойынша берілетін кепілдемелер түсініктемелермен сүйемелденеді. Сонымен бірге қолданушының ШҚИЖ-ге деген сенімі артады, өйткені ол шешімді талдау және таңдау нәтижелерін көріп қана қоймай, сол немесе басқа нәтиженің пайда болғанын түсінеді. Қолданушының интерфейсі нақты қолданушы үшін түсінікті және үйреншікті кәсіптік тілде кепілдемені беру кезінде қолданушы мен жүйе арасында интерактивті жұмыс режимін қамтамасыз етуге тиіс.

Осылайша ШҚИЖ сапалы ерекшелігі жүйенің бағдарламалық-алгоритмдік қамтамасыз етілуін құру кезінде және оны пайдалану процесінде сарапшы-мамандардың білімдерін максималды қолдануында.

### **3.4 Бөлімнің қорытындысы**

1 ШҚИЖ құру тәсілдемесі ұсынылды, олардың негізгі құрауыштары болып табылатындар: нысанның (өндірістік жүйенің) модельдер жүйесі (пакеті), айқын емес ортада жұмыс жасайтын, ШҚ есептер алгоритмдерінің жиынтығы; білімдер мен мәліметтер базасы; логикалық қортынды және түсіндірулер блогы; модельдер идентификаторы және қолданушының интеллектуалдық интерфейсі. Өндірістік нысандарды басқаруға арналған ШҚИЖ архитектурасы құрылды.

2 Шешімді қабылдауды қолдауға арналған интеллектуалдық жүйелерді құруға қатысты тәсіл баяндалды, мұндай жүйелерді құрудың негізгі кезеңдері келтірілді. Адамның білімі түрінде қосымша сапалы ақпаратты басқару үлгілерін және алгоритмдерін құру кезінде есептеуде, білімдер базасын және ШҚТ және ЭЕМ арасында ыңғайлы диалогты қамтамасыз ететін, қолданушының «интеллектуалдық» интерфейсін құруда болатын, шешімді қабылдау жүйесінің «интеллектуалдығын» көтерудің негізгі тәсілдері ұсынылды.

## **4 ЖАСАҚТАЛҒАН АЛГОРИТМДЕРДІҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ ЖҮЙЕСІН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ**

### **4.1 Ұсынылатын алгоритмдердің қасиеттерін талдау үшін сынақтарды жүргізу тәсілдемесі**

Есептеуші эксперимент ретінде жалпы жағдайда ЭЕМ қолдану арқылы олардың математикалық модельдерінің негізінде күрделі нысандардың және процесстердің сандық зерттелуі түсініледі [86]. ЭЕМ есептеуші экспериментінің процессінде тек есептеулерді автоматтау құралы ғана емес, сондай-ақ экспериментші-зерттеуші құралы болып табылады, өйткені есептеуші эксперимент тек қана зерттелетін процестің сандық және сапалы сипаттамаларын алуға мүмкіндік беріп қоймай, сонымен бірге жаңа қасиеттерін анықтайды. Біздің жағдайда, есептеуші эксперимент (сынақ) ретінде олардың жұмыс қабілеттілігін және басқа да сипаттамаларын анықтау, осы көрсеткіштерді өзара және біркелкі шарттарда әртүрлі есептерді шешу кезінде белгілі алгоритмдердің сипаттамаларымен салыстыру мақсатында жасақталған алгоритмдерді бағдарламалық жүзеге асыруды зерттеу болып табылады.

Есептеуші эксперименттің негізгі кезеңдеріне жататындар:

- зерттеу нысанын зерделеу, есептің қойылымы, модельді құру;
- есептеуші алгоритмді жасақтау;
- жасақталған алгоритмдерді бағдарламалық жүзеге асыру;
- есептерді жүргізу және алынған ақпаратты өңдеу;
- нәтижелерді талдау, шынайы мәліметтермен және алгоритмдердің әртүрлі көрсеткіштерін өзара салыстыру.

Есептеуші эксперименттің нәтижелері бойынша бірнеше алгоритмдерді өзара салыстыру әдетте бір алгоритмнің екіншісінен басымдылығы туралы бірмәнді қорытындыға әкелмейтінін атап өткен жөн. Бұдан басқа салыстыруға тәсілдер мен алгоритмдердің өздері емес, ал олардың бағдарламалық жүзеге асырылуы жататынын ескеру қажет [87].

### **4.2 Алгоритмдердің дұрыстығы (корректность) және жұмыс қабілеттілігі**

ШҚ есептерін шешудің диалогтық алгоритмдерінің туралылығы ең алдымен ақпаратты және жүйеге енгізілетін жауаптарды қолданушыдан сұранатын бірмәнділікпен анықталады. Осыған байланысты есепті шешу процессінде ЭЕМ және адам арасындағы диалог үшін қолданылатын кәсіптік тілде қатаң формалданған тілде бірмәндік еместік көзі болып табылатын синонимдер мен омонимдер болмауға тиіс. Сондықтан да қолданушының интерфейсі және диалогтық алгоритмдер осы талаптарды ескере отырып қолданылуға тиіс және негізінде мәзір түріндегі регламентталған диалог қолданылады.

Бастапқы ақпараттың айқын еместігінен туындайтын жаңылыс мәселелерін жою үшін проблемалық саланы сипаттайтын терм-жиыны анықталады және айқын емес параметрлердің тиістілік функциялары құрылады. Айқын емес сипатталған категориялардың тиістілік функцияларының

адекваттылығын жоғарылату мақсаттарында тиістілік емес функциясын құру тәсілдемесі және айқын емес параметрлерді сипаттайтын аналитикалық тәуелділіктің параметрлерін түзету қолданылды.

Атап өткендей, жасақталған алгоритмдердің жұмыс қабілеттілігін белгілеу үшін тексерілетін алгоритмді жүзеге асыратын бағдарламаны құру және алгоритмнің жұмыс нәтижесіне әсер ететін әртүрлі факторлар ескерілетін есептеуші эксперимент жүргізу қажет. Біз жасақталған алгоритмдердің жұмыс қабілеттіліктерін бағалау үшін әртүрлі өндірістік есептерді шешу кезінде оларды сынаймыз (бензол өндірісін басқару, тестік есептер 1-3). Сонымен бірге алынған нәтижелердің шынайы деректерге және ШҚТ талқылауларына сәйкестігі, соңғы нәтижелерге жету уақыты, әртүрлі өндірістік жағдайларда алгоритмдерді қолдану ыңғайлылығы және қарапайымдылығы бағаланды.

Сынақтар нәтижелері ұсынылатын алгоритмдердің барлық сипаттамалары бойынша ШҚТ талаптарына салынған шектеулерге және т.б. сәйкес келетінін көрсетті. Есептеуші эксперименттің нәтижелері бойынша барлық көрсеткіштері бойынша ең үздік бір алгоритмді бөлуге болмайды. Бір алгоритмдер жинақтылығы (тезәрекеттігі) (FR(KR)) бойынша үздік, басқалары қолдану қарапайымдылығы (FMC+MC, FMMC-Δ) бойынша үздік, енді біреулері кепілді нәтижелерді қамтамасыз етеді (FMM, FMM+PO), басқалары өте тиімді, бірақта анық бір қатерімен және т.б. Бұдан басқа сол бір алгоритм өндірістің әртүрлі жағдайларында және шарттарында түрлі болуы мүмкін. Осыған байланысты біз ШҚТ қарауына алгоритмдер жинағын ұсынамыз, олардың арасынан ол болған жағдайға және бастапқы ақпаратқа байланысты сәйкесін таңдайды. Сынақтар нәтижелері (алгоритмдер сыналды, шынайы өндірістік есептерді шешу кезінде қолданылды және Атыраулық МӨЗ мұнайды қайта өндірудің технологиялық қондырғыларының тиімді жұмыс режимін анықтау және таңдау үшін өндіріске енгізілді) ұсынылатын алгоритмдердің жұмыс қабілеттілігін және тиімділігін растады. Тексерілетін алгоритмдер үшін параметрлердің және қолданушылардың арнайы таңдалмайтынын немесе нәтижелерді жетілдіру мақсатымен қолданушылардың оқытылмайтынын атап өткен жөн.

### **4.3 Алгоритмдердің жинақтылығы және шешімнің тұрақтылығы. Алгоритмдердің тиімділігін талдау**

Көпкритерийлі таңдау алгоритмдерінің жинақтылығы ШҚТ қанағаттандыратын, нәтижелерді алу үшін қажетті уақытпен анықталады. Бұл уақыт субъективті факторларға (білімдер, тәжірибе, реакция, жұмыс шарттары, көңіл-күй, қолданушылардың дайындығы), интерфейстің құрылымына, ШҚТ талап етілетін ақпараттың санына және мазмұнына, алгоритмдер құрылымына және олардың бағдарламалық жүзеге асырылуына, есептің өлшемділігіне және ЭЕМ сипаттамаларына (өнімділігі, тезәрекеттігі және т.б.) тәуелді екені анық.

Сондықтанда әртүрлі алгоритмдерді талдау және тез әрекеттігін салыстыру үшін біркелкі жағдайларда сынақтар (есептеуші эксперимент) жүргізу қажет. Қолданушы (зерттеуші) есепті шешу үшін сол бір ЭЕМ қолданатын бір адам болуға тиіс. Есептеуші эксперименттің нәтижелері бойынша ең жедел жинақталатын алгоритмдерге тепе-теңдік принципін қолданатын FR(KR),

FPR(KR)) алгоритмдері, ал ең баяу алгоритмдерге – лексикографикалық принциптерді қолданатын, есептің реттілігін шешуші FLG-Δ, FMLG-Δ алгоритмдері жататынын қорытындылауға болады.

Шешімнің тұрақтылығын анықтау үшін, жасақталған алгоритмдер өндірістік есептерді шешу кезінде бірнеше рет (5-6 рет) сыналуға тиіс. Әр жолы алгоритмдердің негізгі сипаттамалары және алынған нәтижелер салыстырылды. Бұл сынақтарда кедергілердің (ашынған) негізгі көзіне жүйені қолданушы-адамды жатқызуға болады. Бұл сынақтардың нәтижелері жасақталған алгоритмдердің тұрақтылығын растағанын атап өткен жөн. Әр жолы сынақтың бірдей шарттарында дерлік сәйкес келетін нәтижелер алынды.

Көп критерийлі есептерді шешудің тұрақтылығын талдау есебін келесі тәсілмен тұжырымдауға болады.

Альтернативалардың  $\Omega$  жиынында векторлық бағалардың  $Q$  жиынын анықтайтын  $J_1(x), \dots, J_n(x)$  критерийлері берілді. Онда қалыпты болжал кезінде, мысалы жасақталған алгоритмдер негізінде алынатын, Парето бойынша тиімді альтернативалар  $X_{\Pi}$  және векторлық бағалар  $Q_{\Pi}$ , жиындары туралы айтуға болады.

Альтернативалардың  $X$  және критерийлердің  $\tilde{f}_1(x), \dots, \tilde{f}_n(x)$  басқа біршама жиыны үшін, векторлық бағалардың  $\tilde{Q}$  өз жиындары және  $X_{\Pi}$  және  $Q_{\Pi}$  жуық сәйкес пареттік жиындары  $\tilde{X}_{\Pi}$  және  $\tilde{Q}_{\Pi}$  алынады.

$Q_{\Pi}$  парето жиынының тұрақтылығын талдайық, солайша дәл осы жиынның шешім қабылдау есептері үшін ерекше мәні бар, өйткені онда ШҚТ қалаулары анықталады. Парето бойынша тиімді векторлық бағалардың тұрақтылығы мен көпмәнді кейбір кескіндердің үздіксіздігі арасында байланыс орнатылды және есептердің жеке класының тұрақтылығының қажетті және жеткілікті шарттары анықталды.

Альтернативалар жиынының өзгермейтіні болжанады, яғни  $\tilde{X} \equiv X$ , ал өзгеріске тек  $f_1(x), \dots, f_n(x)$  критерийлері жатады.  $U(u \in U)$  кейбір жиынның  $u$  элементтерін енгізе отырып критерийлерді  $f(x, u) = \{f_1(x, u), \dots, f_n(x, u)\}$ . Түрінде жазуға болады.  $U$  жинақтылық реттілік терминдерінде анықталатын, кейбір қалыпты сызықтық топологиялық кеңістік құрамында делік. Тұтастықты жоғалтусыз  $0 \in U$  деуге болады.

Бұл жағдайда векторлық бағалардың жиыны  $u$  параметріне тәуелді:  $Q(u) = f(x, u), u \in U$ .

Егер де  $\|u\| < \eta$  кезінде  $\rho(Q_{\Pi}(u), Q_{\Pi}(0)) < \delta$  ара қашықтығы,  $\forall \delta > 0$  үшін  $\eta > 0$  көрсетуге болса, Парето бойынша тиімді векторларлық бағалардың  $Q_{\Pi}(u)$  жиыны нөлде тұрақты болып аталады.  $Q_{\Pi}(u), Q_{\Pi}(0) \in R^n$  жиындары арасындағы ара қашықтықты, мысалы Хаусфорд метрикасының көмегі арқылы анықтауға болады:

$$\rho(Q_{\Pi}(u), Q_{\Pi}(0)) = \max \left\{ \sup_{\alpha \in Q_{\Pi}(u)} \inf_{b \in Q_{\Pi}(0)} r(\alpha, b), \sup_{b \in Q_{\Pi}(0)} \inf_{\alpha \in Q_{\Pi}(u)} r(\alpha, b) \right\} \quad (4.1)$$

мұнда  $r(a, b)$  – ара қашықтық  $R^n$ .

$sup$  және  $inf$  (4.1) операцияларының қолданылуы, жалпы жағдайларда Парето жиындарының тұйық еместігімен түсіндіріледі, демек бұл жиында максимумге және минимумге жету мүмкін емес.

ШҚ есептерін шешу тұрақтылығын,  $u \rightarrow Q_{II}(u)$  көпмәнді кескіні нөлде үздіксіз болғанда қамтамасыз етуге болатыны анық, яғни тұрақтылықтың жеткілікті шарты бұл кескіннің үздіксіздігімен анықталады.

Жасақталған алгоритмдердің тиімділігі ретінде көрсеткіштердің бірқатарымен, мысалы өндіріске енгізу кезінде және т.б. алынатын, алгоритмдердің тезәрекеттілігімен, жинақтылығымен, дәлдігімен, кедергіге тұрақтылығымен, экономдық әсерімен анықталатын олардың функционалдық жетілуі деңгейін түсінуге болады.

Өндірістік нысандардың жұмыс режимдерінің көп критерийлі таңдау және оңтайландыру алгоритмдерінің тиімділік критерийлері ретінде келесі қатынасты қабылдауға болады [88, 89]:

$$E = \frac{f(x^*)}{f(x)}, \quad x = (x_1, \dots, x_n), \quad x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$$

мұнда  $f(x)$  – мақсаттық функцияның максималдық мәні (сапа функциясының);

$f(x^*)$  –  $(x)$  өндірісті сипаттайтын, сыналатын алгоритмнің  $(x^*)$  негізінде оңтайландыру нәтижесінде алынған, бағаларға тең болған жағдайдағы мақсаттық функцияның мәні.

Тиімділіктің жинақталған негізгі құрауышы болып өндіріске алгоритмді енгізу нәтижесінде алынатын экономикалық тиімділіктің мәні табылады. Бензол өндіру кешенін басқару кезінде қолданылатын көп критерийлі айқын емес таңдау алгоритмдерін тәжірибелік-өнеркәсіптік сынау нәтижелері олардың жоғары тиімділігін көрсетті [89, с. 92-100].

Сынақтар және әртүрлі есептерді шешу кезінде алгоритмдер талдауларының қорытындыларын келтіре отырып жасақталған алгоритмдердің тиімділігі бастапқы ақпаратқа, есептің өлшемділігіне және ШҚИТ қолданушысына байланысты өзгеретінін айтып өткен жөн.

Әртүрлі жағдайларда ең тұрақты болып максимум принципінде және оның түрленуінде негізделген FMM, FMM+PO және FMMC-Δ алгоритмдері табылады. Есептің өлшемділігінің көтерілуіне қарай FPS, FPS-Δ, FPS+PS алгоритмдерінің тиімділігі төмендейді. Мұны есептің өлшемділігінің өсуіне қарай тиімді шешімдердің жинағы ұлғаяды, олардың арасынан ШҚТ соңғы шешім қабылдайды немесе ШҚТ талап етілетін ақпараттың саны ұлғаяды.

#### **4.4 Бензол өндіру кешенін басқаруға арналған интеллектуалдық жүйенің модельдеу блогын бағдарламалық жүзеге асыру**

Бензол өндіру кешенін басқаруға арналған интеллектуалдық жүйенің негізгі бағдарламалық модульдері құрылды [90-92]. Бағдарламаның мақсаты бензол өндіру технологиялық кешеннің тиімді жұмыс режимін анықтау және

ыңғайлы және оперативті режимде модельдеу болып табылады. Құрылған бағдарламаға авторлық құқық куәлігі алынды (№93 08.10.2018 ж) (Қосымша Ә).

«Бензол өндіру кешенінің жұмыс режимін басқару бойынша шешімдерді қабылдау және модельдеу жүйесі» ЭЕМ арналған нақты бағдарлама сандық модельдеу және комплекстің режимдік (кіріс, басқарушы) параметрлерінің өзгеруіне байланысты бензол өндіру кешенінің шығу параметрлерінің (критерийлер, бензолдың көлемі және сапа көрсеткіштері) мәнін анықтауға арналған, сонымен қатар кешеннің шығыс параметрлерінің (шығарылатын бензол көлемі мен сапасы), критерийлерді жақсартуды қамтамасыз ететін процесстің оптималды режимдерін (кіріс параметрлер) таңдауға арналған [93-95].

*Бағдарламаның негізгі функциялары:*

1) кешеннің технологиялық агрегаттардың математикалық модельдер негізінде бензол өндіру технологиялық кешеннің жұмыс режимін зерттеу;

2) бензол өндіру технологиялық кешені бойынша агрегаттардың жұмыс режимдерін модельдеу, компьютерде есептеу тәжірибелерін өткізу, бензолды өндіру бойынша технологиялық кешеннің жұмыс сапасын бағалау критерийлерінің оңтайлы мәндерін қамтамасыз ететін агрегаттар мен жалпы технологиялық кешеннің оптималды жұмыс режимін анықтау;

3) ЖОО-ның химия-технологиялық мамандықтарының студенттерімен бензол өндіру технологиялық процессін виртуалды орта ретінде қолдану, сонымен қатар автоматтандыру және басқару, компьютерлік модельдеу, ақпараттық жүйелер және т.б. мамандықтардың студенттері мен магистранттарымен қолдану;

4) технологиялық кешенде бензол алудың технологиялық процессін зерттеу, бензол өндіру технологиялық кешеннің әр түрлі жағдайларда және процесстің режимдік параметрлерінің мәндерінде күтілетін нәтижесін болжау.

*Бағдарламаны пайдалану әдістері:*

1) бензол өндіру технологиялық кешенінің жұмыс режимдерін (кіріс) режимдік параметрлер мәндерін өзгерте отырып және шығыс параметрлерінің мәндерін, шығыс өнімдерінің көлемдерін (бензол, рафинат, ауыр ароматика), бензолдың негізгі сапалық көрсеткіштерін бақылай отырып зерттеу;

2) ароматикалық көмірсутектерді (бензол, рафинат, ауыр ароматика) алу технологиялық процессін бұл процеске режимдік параметрлердің:  $x_1$  – шикізат, реформат кірісі;  $x_2$  – бензолды колоннадағы температура;  $x_3$  – бензолды колоннадағы қысым;  $x_4$  – күкірт үлесі және  $x_5$  – шикізат құрамындағы ароматикалық көмірсутектердің үлесі, яғни кешеннің технологиялық агрегаттар жұмыс режимінің әсер етуін зерттеу бойынша компьютерлік тәжірибелер жүргізу;

3) бензолдың максималды шығуы және бензолдың сапалық көрсеткіштері жақсару кезіндегі бензол өндіру кешеннің оптималды жұмыс режимдерін анықтау және зерттеу;

4) автоматтандыру және басқару, ақпараттық жүйелер және химия-технологиялық мамандықтарының студенттері мен магистранттарына ЖОО оқу процессінде қолдану.

Бағдарлама бензол өндіру бойынша технологиялық кешеннің әр түрлі режимдерін модельдеуге бағытталған, бензол өндіру бойынша технологиялық кешеннің агрегаттарының тиімді жұмыс режимін қамтамасыз ететін режимдік параметрлер мәндерін анықтау, бензол өндіру бойынша технологиялық кешеннің мақсатты өнім (бензол) сапалық көрсеткіштерін жақсарту және көлемін ұлғайту [96].

*Қолданушы интерфейсінің қысқаша сипаттамасы*

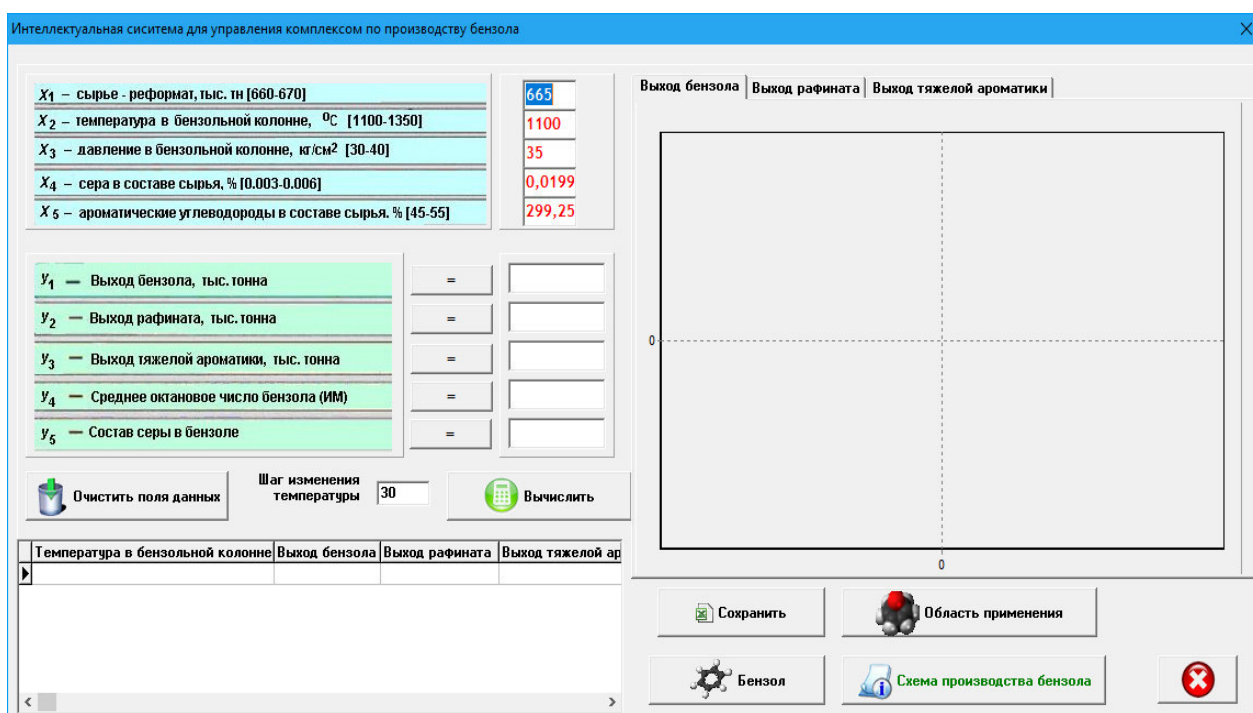
Бағдарламаның басты терезесінде (4.1 сурет) бағдарлама бойынша негізгі ақпарат келтірілген:

- Бағдарламаның негізгі тағайындалуы және функциялары, бағдарламаның функционалды мүмкіндіктері туралы ақпарат тізбектей шығарылады;
- Жұмыс орындалған мекеме және авторлар туралы ақпарат келтірілген;
- Төменгі оң жақ бөлігінде құпия сөзді енгізу терезесі бар, ол жүйеге кіруге арналған.



Сурет 4.1 – «Бензол өндіру кешені жұмыс режимін басқару бойынша ШҚ және модельдеу жүйесі» ЭЕМ арналған бағдарламаның басты терезесі

«Бензол өндіру кешенінің жұмыс режимін басқару бойынша шешімдерді қабылдау және модельдеу жүйесі» бағдарламасына кіргеннен кейін пайдаланушыға «Кіріс, режимдік параметрлер мәндерін енгізу, кешеннің шығыс параметрлерін (модельдеу) есептеу және графикалық тәуелділіктерді салу» терезесі ашылады (сурет 4.2).



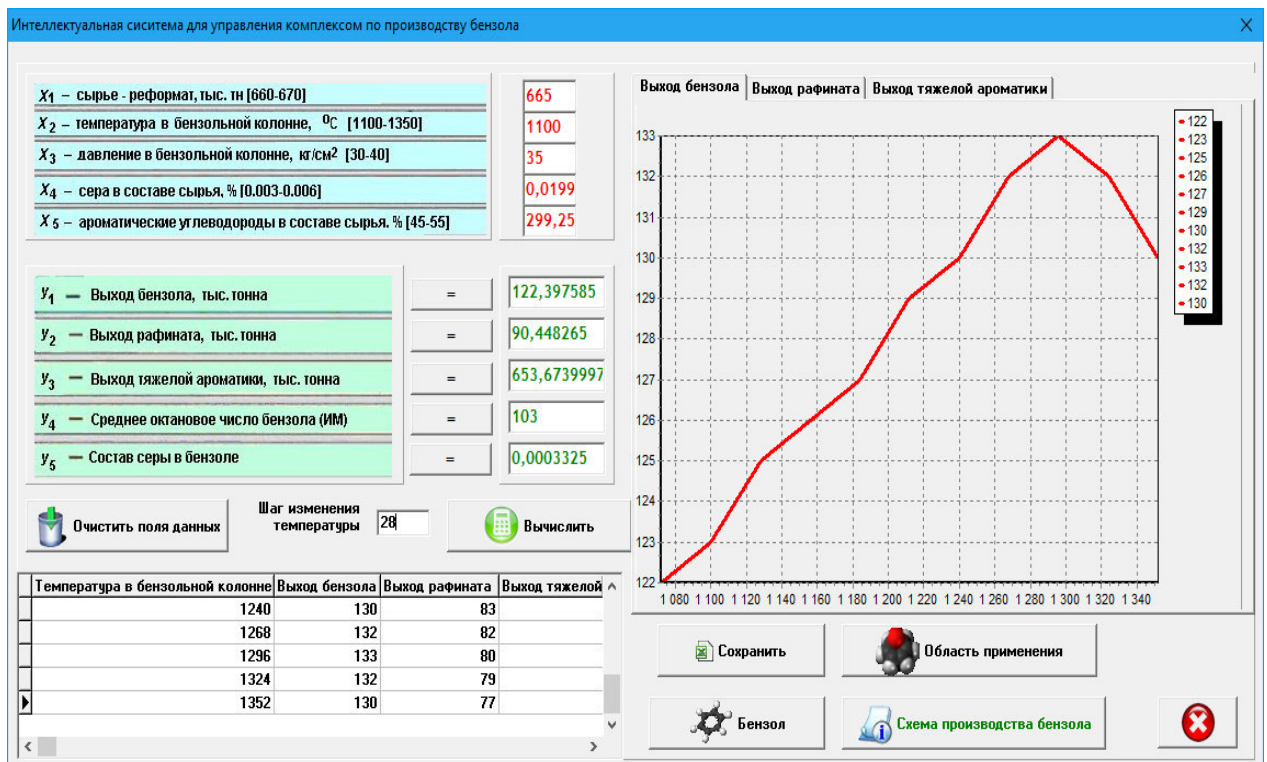
Сурет 4.2 – «Кіріс, режимдік параметрлер мәндерін енгізу, кешеннің шығыс параметрлерін (модельдеу) есептеу және графикалық тәуелділіктерді салу» терезесі

«Кіріс, режимдік параметрлер мәндерін енгізу, кешеннің шығыс параметрлерін (модельдеу) есептеу және графикалық тәуелділіктерді салу» терезесінің төменгі сол жағында кестелік форма келтірілген, мұнда кешеннің шығыс параметрлерінің тәуелділігінің модельдеу нәтижелері енгізіледі: бензол шығысы; рафинат шығысы; бензолды колоннадағы температурадан ауыр ароматиканың шығысы.

«Кіріс, режимдік параметрлер мәндерін енгізу, комплекстің шығыс параметрлерін (модельдеу) есептеу және графикалық тәуелділіктерді салу» терезесінің оң жағында кешеннен өнімнің шығыс параметрлерінің графикалық тәуелділіктерін енгізуге арналған терезе келтірілген: температураға байланысты (температура мәні шығу мәліметтерін енгізу блогында енгізіледі) бензол, рафинат және ауыр ароматика.

4.3-суретте «Модельдеу нәтижелерінің анализі және графикалық тәуелділіктерді құру» терезесі келтірілген, «Бензол шығысы» кірмесін таңдағанда, бензолды колоннадағы оңтайлы температураның мәнін визуалды түрде анықтауға болады (1295°С), ол мақсатты өнім – бензолдың максималды көлемін алуға мүмкіндік береді (133 мың тн.).





Сурет 4.3 – «Модельдеу нәтижелерінің анализі және графикалық тәуелділіктерді құру» терезесі

«Сақтау» батырмасын басқанда модельдеу нәтижелері Excel - .xls, .xlsx форматында сақталады (сурет 4.4).

№	Температура в бензольной колонне	Выход бензола	Выход рафината	Выход тяжелой ароматики
1	1072,00	122,00	91,00	666,00
2	1100,00	123,00	90,00	653,00
3	1128,00	125,00	89,00	640,00
4	1156,00	126,00	87,00	627,00
5	1184,00	127,00	86,00	614,00
6	1212,00	129,00	85,00	600,00
7	1240,00	130,00	83,00	586,00
8	1268,00	132,00	82,00	572,00
9	1296,00	133,00	80,00	558,00
10	1324,00	132,00	79,00	543,00
11	1352,00	130,00	77,00	529,00

Сурет 4.4 – Баспаға шығатын модельдеу нәтижесі.

«Бензол» батырмасын басқанда бензолдың физикалық қасиеттері туралы ақпарат шығады.

«Бензол өндірісінің сұлбасы» батырмасын басқанда экранға және баспаға бензол өндірісі кешенінің технологиялық сұлбасы шығады.

«Бензол өндіру кешенінің жұмыс режимін басқару бойынша шешімдерді қабылдау және модельдеу жүйесі» бағдарлама зерттеу жұмысының нәтижесі болып табылады [97, 98]. Жасақталған бағдарлама технологиялық кешеннің режимдік (кіріс, басқарушы) параметрлерінің өзгеруіне байланысты, сондай-ақ критерийлерді оптималдау, кешеннің шығыс параметрлері – нысанның негізгі мақсатты өнімі, яғни шығарылатын бензолдың көлемі мен сапасының жақсаруын қамтамасыз ететін нысанның оптималды жұмыс режимдерін (кіріс, режимдік параметрлер) таңдауға, бензол өндіру кешенінің шығыс параметрлерінің (критерийлер, бензолдың көлемі және сапа көрсеткіштері) мәндерін анықтауға және сандық модельдеуге мүмкіндік береді.

Жасалған бағдарламаны сонымен қатар «Автоматтандыру және басқару» және ақпараттық және химиялық технологиялар мамандықтарының студенттері, магистранттары үшін ЖОО-ның оқу процесінде, сондай-ақ бензол өндіру кешені бойынша өндірісте технологтарды оқытудағы тәжірибеде қолдануға болады.

«Бензол өндіру кешенінің жұмыс режимін басқару бойынша шешімдерді қабылдау және модельдеу жүйесі» ЭЕМ арналған бағдарлама ШҚТ білімін, тәжірибесін ескере отырып, бензол өндіру технологиялық кешені бойынша жұмыс режимін басқаруда оптималды шешімдерін қабылдауға және модельдеуге, зерттеуге мүмкіндік береді. Бағдарламама листингісі Б қосымшасында келтірілген.

*Жасақталған бағдарламаны жүзеге асыру үшін келесі техникалық сипаттамасы бар компьютерлер қажет:*

Аппараттық құралдарды таңдау таңдалған бағдарламалық қамтамасыз етудің ең төменгі жүйелік талаптарына негізделген.

*Аппараттық құралдар:*

- IntelPentiumI 100 МГц төмен емес процессор;
- Оперативті жады көлемі 1024 Мб төмен емес;
- Қатқыл дискідегі бос орын көлемі 1024 Мб төмен емес;
- Үзіліссіз және резервті қорек көзінің болуы;

- ЭЕМ арналған бағдарлама «Бензол өндіру кешенінің жұмыс режимін басқару бойынша шешімдерді қабылдау және модельдеу жүйесі» интерактивті аппараттық және дербес компьютерлермен қоса, әр түрлі аппараттық платформаларда MS Windows операциялық жүйесімен үйлесімділікті қамтамасыз етеді.

*Бағдарламалық құралдар:*

- Windows7 және одан жоғары операционды жүйе.

Берілген бағдарламалық өнім EmbarcaderoDelphiXE7 ортасында жүзеге асырылған, Бағдарламалау тілі: ObjectPascal.

Қосымша компоненттер:

Мәліметтер қорына кіру ado технологиясымен жізеге асырылады.

AlphaControls 10.17 – сыртқы көрінісінің күйі.  
RichView 14.9.1 – мәтінмен жұмыс.

#### **4.5 Бөлімнің қорытындысы**

1 Ұсынылатын алгоритмдердің қасиеттерін талдау үшін сынақтарды жүргізу тәсілдемесі сипатталды. Сынақтың негізгі кезеңдері қарастырылды.

2 Жасақталған алгоритмдердің жұмыс қабілеттіліктерін бағалау үшін әртүрлі өндірістік есептерді шешу кезінде оларды сынақтан өткізу, сонымен бірге алынған нәтижелердің шынайы деректерге және ШҚТ барлық талаптарына сәйкестігі, соңғы нәтижелерге жету уақыты, әртүрлі өндірістік жағдайларда алгоритмдерді қолдану ыңғайлылығы және қарапайымдылығы бағаланды. Алгоритмдерді бағалау нәтижесінде әр ұсынылған алгоритмдердің белгілі-бір жағдайда артықшылықтары болатыны анықталды.

3 Алгоритмдердің жинақтылығы және шешімнің тұрақтылығы және алгоритмдердің тиімділігі зерттеліп, талдау жасалды. Парето бойынша тиімді шешімдер тұрақтылығы мен көпмәнді кейбір бейнелердің үздіксіздігі арасында байланыс орнатылды және есептердің жеке класының тұрақтылығының қажетті және жеткілікті шарттары анықталды. Есептеуші эксперименттің нәтижелері бойынша ең жедел жинақталатын алгоритмдерге тепе-теңдік принципін қолданатын FR(KR), FPR(KR)) алгоритмдері, ал ең баяу алгоритмдерге – лексикографикалық принциптерді қолданатын, есептің реттілігін шешуші FLG-Δ, FMLG-Δ алгоритмдері жататынын анықталды.

4 Бензол өндіру кешенін басқаруға арналған интеллектуалдық жүйені құруды бағдарламалық жүзеге асыру мәселелері зерттеліп, құрылған бағдарламалық қамтудың негізгі сипаттамасы келтірілді. Құрылған жүйенің негізгі интерфейстері келтіріп, сипаттамалары келтірілген. Жүйенің функционалдық мүмкіншіліктері қарастырылған және құрылған бағдарламалық жүйені орындау үшін компьютердің негізгі техникалық сипаттамаларына қойылатын талаптар, жүйені құруда қолданылған бағдарламалық орталар туралы ақпарат келтірілген.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Берілген диссертациялық жұмыста келесі практикалық және теориялық нәтижелер алынды.

Өндірістік жүйелердің негізгі сипаттамалары зерттеліп, тұжырымдалды, анықсыздық жағдайларында оларды басқару мәселелері мен оларды шешу тәсілдері жүйленді. Түрлі өндірістік жағдайлар тұжырымдалып, сипатталды.

Эксперттік бағалаулар тәсілдері жүйеленіп, оларды зерттеу есептерін шешуді қолдану мәселелері зерттелді. Айқын емес ортада эксперттік бағалауды ұйымдастыру және жүргізу тәсілдемесі ұсынылды.

Зерттеу нысаны ретінде бензол өндірісінің химиялық-технологиялық кешені жүйелік талданып, сипатталды.

Өртүрлі өндірістік жағдайларда айқын емес ортада көпкритерийлі өндірістік жүйелерді басқару үшін модельдеу және шешім қабылдау есептерінің қойылымдары қалыптастырылып, олардың математикалық қойылымдары алынды және олардың шешудің эвристикалық тәсілдері жасақталды, есептерді шешу әдістерін таңдау тәсілдемесі ұсынылды.

Көпкритерийлі өндірістік жүйелерді басқару үшін шешім қабылдау есептері зерттеліп, тұжырымдалды. Зерттеу есептерін шешуде туындайтын ШҚ есептері айқын емес математикалық бағдарламалау және оңтайландыру есептері ретінде қойылып, оларды шешу тәсілдері жасақталды.

Бастапқы ақпараттың айқынсыздығын ескеру арқылы өндірістік жүйелердің модельдерін құру тәсілдемесі ұсынылды. Айқын емес ортада модельдерді синтездеу тәсілдемелері зерттеліп, нақты екі тәсілді ұсынылды.

Ұсынылған тәсілдеменің негізінде бастапқы ақпараттың тапшылығы және айқынсыздығы жағдайларында бензол өндіру технологиялық кешенінің модельдері жасақталды, бензол өндіру процесін басқару бойынша айқын емес ортада ШҚ есептері қалыптастырылып, қойылымы алынды.

ШҚИТ құру тәсілдемесі, олардың негізгі құрауыштары болып табылатындар: нысанның (өндірістік жүйенің) модельдер жүйесі (пакеті), айқын емес ортада жұмыс жасайтын, ШҚ есептер алгоритмдерінің жиынтығы; білімдер мен мәліметтер базасы; логикалық қорытынды және түсіндірулер блогы; модельдер идентификаторы және қолданушының интеллектуалдық интерфейсі ұсынылды. Өндірістік нысандарды басқаруға арналған ШҚИТ архитектурасы құрылды.

Шешім қабылдауды қолдауға арналған интеллектуалдық жүйелерді құру тәсілі сипатталды, мұндай жүйелерді құрудың негізгі кезеңдері келтірілді. Адамның білімі түрінде босатын қосымша айқын емес ақпаратты басқару модельдерін және алгоритмдерін құру кезінде ескеретін, білімдер базасын және ШҚТ және ЭЕМ арасында ыңғайлы диалогты қамтамасыз ететін, қолданушының «интеллектуалдық» интерфейсін құрудың, шешімді қабылдау жүйесінің «интеллектуалдығын» көтерудің негізгі тәсілдері ұсынылды.

Ұсынылатын алгоритмдердің қасиеттерін талдау үшін сынақтарды жүргізу тәсілдемесі мен сынақтың негізгі кезеңдері сипатталған, жасақталған

алгоритмдердің жұмыс қабілеттіліктері, жинақтылы, дұрыстығы тұрақтылығы бағаланған.

Бензол өндіру кешенін басқару интеллектуалдық жүйесі бағдарламалық жүзеге асырылған және құрылған жүйенің негізгі интерфейстері сипатталған, жүйенің функционалдық мүмкіншіліктері қарастырылып, оның жұмыс жасауына қажетті компьютердің негізгі техникалық сипаттамалары келтірілген.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А. Мұнай өңдеу технологиялық кешендерін модельдеу және оптимизациялау үшін интеллектуалды шешім қабылдау жүйесі // Студенттер мен жас ғалымдардың «Ғылым және білім-2016»: 11-я халық. ғыл. конф. баяндамалар жинағы. – Астана, 2016. – Б. 514-519.
- 2 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Оразбаев К.Н. Системный подход к разработке математических моделей сложных технологических объектов в условиях неопределенности // Информационные технологии в науке управлении, социальной сфере и медицине: сб. науч. тр. 3-й междунар. науч. конф. – Томск, 2016. – Ч. 1. – С. 63-65.
- 3 Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1976. – 327 с.
- 4 Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. – Изд. 12-е, перер. – М.: Высшее образование, 2006. – 479 с.
- 5 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Оразбаева К.Н., Кисикова Н.М. Ақпараттың жетіспеушілігі және айқынсыздығымен сипатталатын өндірістік нысандардың модельдерін жасақтау // Инновационные подходы и технологии для повышения эффективности производств в условиях глобальной конкуренции: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Астана, 2016. – Ч. 1. – С. 438-441.
- 6 Zhao Zh.-W., Wang D.-H. Statistical inference for generalized random coefficient autoregressive model // Mathematical and Computer Modelling. – 2012. – Vol. 56. – P. 152-166.
- 7 Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику // <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/2.php>. 10.12.2017.
- 8 Рыков А.С., Оразбаев Б.Б. Системный анализ и исследование операций: Экспертные методы. Методы и применение. – М.: МИСиС, 1995. – 115 с.
- 9 Рыков А.С., Оразбаев Б.Б. Методы исследования систем и разработки математических моделей в нечеткой среде // В кн.: Системный анализ и исследование операций. – М.: МИСиС, 1995. – 112 с.
- 10 Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений. – М.: МГУ, 2003. – 81 с.
- 11 Оразбаев Б.Б., Сериков Ф.Т., Оразбаева К.Н. Системный анализ и исследование операций: учебное пособие. – Ақтобе, 2008. – 158 с.
- 12 Сулейменов Б.А. Интеллектуальные и гибридные системы управления технологическими процессами. – Алматы: Пикула и К, 2009. – 345 с.
- 13 Ицкович Э.Л., Сорокин Л.Р. Оперативное управление непрерывным производством: задачи, методы, модели. – М.: Наука, 1989. – 160 с.
- 14 Оразбаев Б.Б. Методы моделирования и принятия решений для управления производством в нечеткой среде. – Астана: ЕНУ, 2016. – 397 с.
- 15 Данциг Дж. Линейное программирование, его обобщение и применение / пер. с англ. – М.: Прогресс, 1966. – 357 с.
- 16 Карманов В.Г. Математическое программирование. – М.: Наука, 1994. – 407 с.

- 17 Оразбаев Б.Б., Жумагулов Б.Т., Сериков Ф.Т. Новые методы моделирования и оптимизации производственных объектов в нечеткой среде и компьютерные системы их реализации // Нефть и газ. – 2005. – №5. – С. 129-136.
- 18 Orazbayev B., Ospanov E., Orazbayeva K., Gancarzyk T., Shaikhanova A. Control of Fuzzy Technological Objects Based on Mathematical Model // Automation and Systems (ICCAS 2016): 16-th internat. conf. on control. – Gyengju, 2016. – P. 1487-1493.
- 19 Orazbayev B.B., Ospanov E.A., Orazbayeva K.N., Demyanenko A.I. Mathematical modeling and decision-making on controlling modes of technological objects in the fuzzy environment // World congress on Intelligent Control and Automation. – Guilin, 2016. – P. 103-108.
- 20 Оразбаев Б.Б., Ауданов Д.Т., Курмангазиева Л.Т., Оспанов Е.А., Оразбаева К.Н. Мұнай өңдеу технологиялық кешендерінің математикалық модельдерін айқынсыздық жағдайда құру тәсілі // Вестник ЕНУ. – 2016. – №2(111). – С. 289-298.
- 21 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Оразбаева К.Н., Курмангазиева Л.Т. Гибридный метод разработки математических моделей химико-технологической системы в условиях неопределенности // Матем. моделирование. – 2017. – Т. 29, №4. – С. 30-44.
- 22 Валеев С.Г. Регрессивное моделирование при обработке наблюдений. – М.: Наука, 1991. – 272 с.
- 23 Zadeh L.A. Fuzzy Sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.
- 24 Соловьев Н.А, Семенов А.М. Экспертные системы: учебное пособие для студентов. – Оренбург, 2007. – 231 с.
- 25 Оразбаев Б.Б. Теория и практика методов нечетких множеств: учебник. – Алматы: Бастау, 2014. – 448 с.
- 26 Rykov A.S., Orazbaev B.B., Kuznetsov A.G. A Fuzzy Model of the Column in the Decision Making System for the control of Rectification Process // Magazine of the Romanian Society for Fuzzy Systems. – 1991. – Vol. 2, №1. – P. 5-12.
- 27 Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / пер. с фр. – М.: Радио и связь, 1982. – 357 с.
- 28 Dubua D., Prade H. Systems of Linear fuzzy constraints // Fuzzy Sets and Systems. – 2008. – Vol. 20, №3. – P. 23-38.
- 29 Orazbayeva K., Orazbayev B., Kurmangaziyeva L., Utenova B. Formalization and Solving the Problem of the Fuzzy Mathematical Programming to Optimize the Operation at Oil Equipment Plant // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 15(1). – P. 1879-1887.
- 30 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Оразбаев К.Н., Жанбирова Г.А. Гидротазалау ректорының математикалық модельдерін айқын емес ортада құру // Информатизация общества: тр. 5-й междунар. науч.-практ. конф. – Астана, 2016. – С. 117.
- 31 Әуелбек С.Б., Измаханова Э.А., Оспанов Е.А., Оразбаев Б.Б. Бензол өндіру кешенінің негізгі агрегаттарының математикалық модельдерінің жүйесін

құру // Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете стратегии «Казахстан - 2050»: тр. 3-й междунар. науч.-практ. конф. – Астана, 2016. – С. 299-302.

32 Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. – М.: Мир, 1990. – 208 с.

33 Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М., 1981. – 368 с.

34 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Бекешова Г.Б., Мухаметов Е.М. Принятия решений при управлении режимами работы технологических объектов в нечеткой среде. Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева // Научный журнал Евразийского национального университета. – 2015. – №6(109), ч. 1. – С. 42-52.

35 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е., Оразбаева К.Н., Аманбаева Ж.Ш. Задачи многокритериальной оптимизации технологических объектов и алгоритмы их решения на основе методов нечеткой математики // Вестник Атырауского института нефти и газа. – 2015. – №3(35). – С. 72-77.

36 Кузьмин В.Б., Травкин С.И. Теория нечетких множеств в задачах управления и принципах устройства нечетких процессов. Обзор зарубежной литературы // Автоматика и телемеханика. – 1992. – №11. – С. 3-36.

37 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Оразбаева К.Н. и др. Бензол өндіру технологиялық кешенінің құрымдалған моделін құру // Вестник Каз НИТУ им. К.И. Сатпаева. – 2017. – №62(120). – С. 352-358.

38 Алексеев А.В., Глушков В.И. и др. Интерпретация значений функций принадлежности и операции над нечеткими множествами // Методы и системы принятия решений. Прикладные задачи анализа решений в организационных технических системах: сб науч. тр. – Рига: РПИ, 1983. – С. 16-21.

39 Сваровский С.Г. Аппроксимация функций принадлежности значений лингвистической переменной // В кн.: Математические вопросы анализа данных. –Новосибирск, 1980. – С. 127-131.

40 Оспанов Е.А., Оразбаев Б.Б., Оразбаева К.Н. Эвристический алгоритм решения задачи многокритериальной оптимизации химико-технологических систем в нечеткой среде // Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии». – Кемерово, 2015. – С. 262-266.

41 Оспанов Е.А., Оразбаев Б.Б., Жанузаков Е.Т. Многокритериальная оптимизация режимов работы агрегатов нефтепровода в нечеткой среде и эвристический алгоритм ее решения // Матер. 23-й междунар. науч.-практ. конф. «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке». – М., 2015. – С. 62-68.

42 Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 347 с.

43 Оразбаев Б.Б., Рыков А.С. Задачи многокритериального нечеткого выбора при управлении технологическим комплексом и алгоритмы их решения // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 1995. – №9. – С. 15-20.



- 44 Зайченко Ю.П. Исследование операций: нечеткая оптимизация. – Киев: Выща шк., 1991. – 278 с.
- 45 Рыков А.С., Оразбаев Б.Б. Задачи и методы принятия решений. Многокритериальный нечеткий выбор // В кн.: Системный анализ и исследование операций. – М.: МИСиС, 1995. – 124 с.
- 46 Язенин А.В. Возможностное и интервальное линейное программирование // Техническая кибернетика. – 1993. – №5. – С. 149-155.
- 47 Zimmerman H.J. Fuzzy programming and linear programming With several objective functions // Fuzzy sets and systems. – 2008. – Vol. 1, №1. – P. 45-55.
- 48 Бешелов С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – Изд. 2-е перер. и доп. – М.: Статистика, 1980. – 458 с.
- 49 Оразбаев Б.Б., Кульжанов Д.У., Оразбаева К.Н., Жанбирова Г.А. Исследование и описание процесса производства бензола на основе методов экспертных оценок // Новости науки Казахстана. – 2015. – №2(124). – С. 172-186.
- 50 Rykov A.S., Orazbaev B.B. Application of Fuzzy Sets Theory for Dialogue Modeling of Petroleum Coking Process // Internat. AMSE conf. «Signal & systems». – Warsaw, 1991. – P. 5.
- 51 Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении. – М.: Экономика, 1978. – 175 с.
- 52 Мешалкин В.П. Экспертные системы в химической технологии. – М.: Химия, 1995. – 368 с.
- 53 Оразбаев Б.Б. Интеллектуальные системы для поддержки принятия решений при управлении сложными объектами в условиях неопределенности // Интеллектуальные системы 94: сб. докл. 1-го междунар. симпозиума. – М.: 1994, МГТУ им. Н.Э. Баумана. – С. 8-11.
- 54 Оразбаев Б.Б. Интеллектуальные системы принятия решений для управления технологическими объектами при дефиците информации // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 1994. – №7. – С. 12-13.
- 55 Tapio P. Using cluster analysis as a tool for systematic scenario formation, Technological Forecasting and Social Change // Expert systems. – 2005. – Vol. 10. – P. 25-33.
- 56 Математическое моделирование: темат. сб. науч. тр. / под ред. А.И. Широкова. – М.: Металлургия, 1990. – Вып. 182. – 180 с.
- 57 Ospanov E., Orazbayev B.B., Mukataev N.S. et al. Mathematical modeling for reforming unit of chemical technological system in refinery production under uncertainty // International Journal of Applied Engineering Research – 2016. – Vol. 11, №11. – P. 7278-7283.
- 58 Оразбаев Б.Б., Калымов Ж., Оспанов Е.А. Разработка математических моделей реакторов УЗК // Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете стратегии «Казахстан - 2050»: тр. 3-й междунар. науч.-практ. конф. – Астана, 2016. – С. 346-349.

59 Оразбаев Б.Б., Шагаева А.Б. Казиева А.Б. Задачи принятия решений при управлении процессом плавки чугуна // Вестник НИИ РК. – 2015. – №1. – С. 95-101.

60 Дьячко А.Г. Применение регрессионного анализа для ранжировки факторов // В кн.: Математические модели металлургических процессов. – М.: МИСиС, 1981. – 110 с.

61 Оразбаев Б.Б., Курмангазиева Л.Т. Разработка математических моделей и оптимизация химико-технологических систем при нечеткости исходной информации. – М.: Российская Академия Естествознания. 2014. – 163 с.

62 Оразбаев Б.Б. Математические методы оптимального планирования и управления производством. – Алматы: Ғылым, 2001. – 200 с.

63 Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Введение в системный анализ и моделирование химико-технологических процессов и систем. – М.: МХТИ, 1984. – 407 с.

64 Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения. – М.: Наука, 1987. – 278 с.

65 Анасимов И.В., Бодров В.И., Покровский В.Б. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок. – М.: Химия, 1975. – 212 с.

66 Колесников И.М., Салащенко В.Л. Эмпирические методы математического моделирования и оптимизации процессов нефтепереработки. – М.: МИНХиТП им. И.М. Губкина, 1985. – 258 с.

67 Оразбаева К.Н. Мұнай өңдеу және мұнай химиясы кешендерінің тиімділігін математикалық тәсілдер арқылы арттыру: 05.13.18: техн. ғыл. док. ... дис. - Атырау, 2010. – 268 б.

68 Rykov A.S., Orazbaev B.B., Kuznetsov A.C. A Fuzzy sets application for modelling and control of rectification technology // Advanced control of chemical process: internat. symposi. – Toulouse, 2011. – P. 95-99.

69 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Оразбаева К.Н. Системный подход к разработке математических моделей сложных технологических объектов в условиях неопределенности // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сб. науч. тр. 3-й междунар. науч. конф. – Томск, 2016. – Ч. 1. – С. 63-65.

70 Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А., Оразбаева К.Н., Золотов А.Д. Разработка математических моделей технологических комплексов в нечеткой среде на основе системного подхода // Вестник ГК имени Шакарима г. Семей. – 2017. – №3(79). – С. 26-31.

71 Дилигенская А.Н. Идентификация объектов управления: учебное пособие. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2009. – 142 с.

72 Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2003. – 475 с.

73 Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений. – М.: Знание, 1986. – 29 с.

- 74 Жуковин В.Е. Нечеткие многокритериальные задачи принятия решений. // Известия АН СССР. – 1986. – №2. – С. 129-133.
- 75 Ларичев О.И. Проблемы построения эффективных систем поддержки принятия решений // Новые направления в системах поддержки принятия решений: сб. тр. – М.: ВНИИСИ, 1988. – С. 4-9.
- 76 Оразбаев Б.Б., Шагаева А.Б., Казиева А.Б. Задачи принятия решений при управлении процессом плавки чугуна // Вестник НИА РК. – 2015. – №1. – С. 95-101.
- 77 Мелихов А.Н. Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
- 78 Оразбаев Б.Б. Система поддержки принятия решений при управлений промышленными объектами // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – М., 1994. – №3. – С. 13-15.
- 79 Першин О.Ю. Парето-оптимальные и лексикографические решения частично-целочисленных задач, линейных по непрерывным переменным // Автоматика и телемеханика. – 1994. – №2. – С. 139-148.
- 80 Orazbayev B.B., Ospanov Y.A., Orazbayeva K.N. Kenzhebaeva T.S. System Development for Model of Technological Complex on Benzene Production // Engineering Studies. – 2017. – Vol. 10, №3. – P 689-708.
- 81 Orazbayev B.B., Orazbayeva K.N., Kurmangaziyeva L.T., Makhatova V.E. Multi-criteria optimisation problems for chemical engineering systems and algorithms for their solution based on fuzzy mathematical methods // EXCLI Journal. – 2015. – Vol. 14. – P. 984-998.
- 82 Оразбаева К.Н. Алгоритмы определения терм-множеств и построения функции принадлежности при оптимизации в нечеткой среде // Вестник АИНГ. – 2009. – №3. – С. 216-223.
- 83 Шумский В.М., Зырянова Л.А. Инженерные задачи в нефтепереработке и нефтехимии. – М.: Химия, 1981. – 348 с.
- 84 Иоффин А.И. Системы поддержки принятия решений // Мир ПК. – 1993. – №5. – С. 47-57.
- 85 Пупков К.А. Проблемы теории и практики интеллектуальных систем // Матер. 1-го междунар. симпозиума «Интеллектуальные системы 94». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. – С. А1-А6.
- 86 Бакаев А.А., Олеярш Г.Б., Иванина Д.С. и др. Математическое моделирование при проектировании магистральных трубопроводов. – Киев: Наукова думка, 1990. – 162 с.
- 87 Рыков А.С., Оразбаев Б.Б., Кузнецов А.Г. Математическое моделирование процесса получения кокса на установках замедленного коксования // Известия ВУЗов. – 1991. – №8. – С. 66-69.
- 88 Язенин А.В. Квазиэффективные решения задач многокритериальной нечеткой оптимизации // Известия РАН. – 1992. – №5. – С. 45-57.
- 89 Рыков А.С., Кузнецов А.Г. Сходимость адаптивных алгоритмов минимизации при дрейфе минимума целевой функции // Автоматика и телемеханика. – 1990. – №3. – С. 92-100.

90 Оразбаева К.Н. Системное моделирование комплекса технологических агрегатов нефтегазового производства в условиях неопределенности // Mater. 2-й miedzynar. nauk.-prakt. konf. «Wykszta cenie nauka bez granic – 2005». – Praha, 2005. – Т. 13. – Р. 51-56.

91 Оразбаева К.Н. Мұнай-газ өндіріс объектілерінің математикалық модельдерін айқын емес жағдайда құрудың алгоритмі // АтМГИ хабаршысы. – 2006. – №8-9. – Б. 20-26.

92 Оразбаев Б.Б., Оразбаева К.Н., Курмангазиева Л.Т. Компьютерное моделирование блока риформинга на основе доступной информации различного характера // International Independent Institute of Mathematics and Systems: тр. 7-й междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2014. – С. 36-42.

93 Ларичев О.И. Свойства методов принятия решений в многокритериальных задачах индивидуального выбора // Автоматика и телемеханика. – 2002. – №2. – С. 146-158.

94 Orazbayev B.B., Ospanov Y.A., Kissikova N., Mukataev N., Orazbayeva K.N. Decision-making in the fuzzy environment on the basis of various compromise schemes // The 9-th internat. conf. «Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perception». – Budapest, 2017. – Р. 945-952

95 Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. – М.: Наука, 1979. – 307 с.

96 Федумец Н.И., Фомчиева О.Е., Ромасенко С.С. Интеллектуальная поддержка решений диспетчера горного предприятия на основе объектно-ориентированной экспертной системы // Матер. 4-го междунар. симпозиума «Интеллектуальные системы 10». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – С. 200-203.

97 Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / пер. с англ. – М.: ЛКИ, 2008. – 360 с.

98 Канеман Д., Словик П., Тверский А. Принятие решений в неопределенности: правила и предубеждения. – Харьков: Гумм. Центр, 2005. – 632 с.

## ҚОСЫМША А

### Енгізу актілері



УТВЕРЖДАЮ

Зам. ген. директора-главный инженер Атырауского НПЗ

Козырев Д.В.

«09» 04 2018 г.

### А к т

опытно-промышленных испытаний комплекса моделей и алгоритмов многокритериального выбора эффективных режимов работы основных агрегатов комплекса по производству бензола Атырауского НПЗ в условиях нечеткости исходной информации и внедрения их в производство.

Мы, нижеподписавшиеся, представители Атырауского НПЗ главный метролог-начальник отдела Кушанов Д.Б., ведущий инженер КИП и А Амельченко А.В. и представители Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, кафедра «Системный анализ и управление», д.т.н., профессор, академик НИА РК Оразбаев Б.Б., докторант данной кафедры Оспанов Е.А. составили настоящий акт о том, что в 05-07 апреля 2018 г. проведены опытно-промышленные испытания системы моделей и многокритериального выбора эффективных режимов работы основных агрегатов комплекса по производству бензола Атырауского НПЗ. Система включает в себя комплекс моделей основных агрегатов комплекса по производству бензола и набор алгоритмов решения задач многокритериальной оптимизации, позволяющих выбрать оптимальных режимов работы технологических агрегатов производства бензола с учетом неопределенности исходной информации, созданные в процессе выполнения докторской диссертации в кафедре Системного анализа и управления ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. Система предназначена для выполнения следующих основных функций:

- поиск рациональных режимов работы технологических агрегатов комплекса по производству бензола, осуществляемый на основе системного моделирования комплекса;
- поддержка принятия решений по выбору оптимальных режимов работы объектов исследования;
- выработка рекомендаций по корректировке режимных параметров с целью обеспечения оптимальных значений критериев управления основными агрегатами и комплексом по производству бензола в целом;
- обработка, эффективное представление и хранение необходимой информации в базе данных и базе знаний;
- прогнозирование и определение неизмеряемых величин.

Разработанные методы системного моделирования и алгоритмы решения задач многокритериального выбора режимов работы агрегатов в условиях многокритериальности и нечеткости исходной информации и их программная реализация в процессе испытаний показали высокую эффективность и приняты к внедрению. Погрешность оперативного материального баланса технологического комплекса по товарным продуктам и по качественным показателям целевой продукции не превышает 3%.

Рациональные режимы работы технологических агрегатов блока производства бензола, определяемые с помощью полученных результатов исследований в зависимости от производственной ситуации, позволяет получить экономический эффект.

**От Атырауского нефтеперерабатывающего завода:**

главный метролог-начальник  
отдела:

  
\_\_\_\_\_ Кушанов Д.Б.

Ведущий инженер КИП иА:

  
\_\_\_\_\_ Амельченко А.В.

**От ЕНУ им. Л.Н. Гумилева:**

Научный руководитель, д.т.н.,  
проф., академик НИА РК

  
\_\_\_\_\_ Б.Б. Оразбаев

Докторант кафедры САУ:

  
\_\_\_\_\_ Е.А. Оспанов

«УТВЕРЖДАЮ»  
 Первый проректор,  
 проректор по учебной работе  
 ЕНУ им. Л.Н.Гумилева



А.А. Молдажанова

«26» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**АКТ**  
**Внедрения результатов научно-исследовательской работы**  
**в учебный процесс**

Мы, нижеподписавшиеся, директор Департамента по академическим вопросам Палымбетов Ш.Б., начальник учебно-методического отдела Куангалиева Т.К., декан факультета информационных технологий Нурбекова Ж.К., заведующий кафедры «Системный анализ и управление» Оспанов С.С. составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы Оспанова Е.А. (руководитель Оразбаев Б.Б.), полученные им в результате выполнения диссертации на соискание степени доктора PhD, тема «Разработка математической модели и алгоритмов принятия решений интеллектуальных систем управления производственными объектами» внедрены в учебный процесс для магистрантов специальности 6M070200 «Автоматизация и управление». Указанные результаты используются при чтении лекции, проведении лабораторно-практических занятий, по дисциплине «Идентификация систем управления»

№	Объект внедрения	Наименование дисциплин	Место внедрения	Авторы
1	Учебное пособие «Баскару жүйелерін идентификациялау»	«Баскару жүйелерін идентификациялау»	ЕНУ им. Л.Н.Гумилева	Оразбаев Б.Б., Оспанов Е.А.

Данные УП соответствуют МОП у специальности «6M070200 – Автоматизация и управление», силлабусу, УМКД дисциплин.

Прилагаются рецензии, выписки заседания кафедры и учебно-методической комиссии ФИТ, заключения экспертной комиссии ФИТ, выписка заседания Ученого совета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева.

Директор Департамента по академическим вопросам

Палымбетов Ш.Б.

Начальник учебно-методического отдела

Куангалиева Т.К.

Декан факультета информационных технологий

Нурбекова Ж.К.

Заведующий кафедры «Системный анализ и управление»

Оспанов С.С.

Авторы

Оразбаев Б.Б.

Оспанов Е.А.

Министерство образования и науки Республики Казахстан  
Государственный университет имени Шакарима города Семей

СОГЛАСОВАНО

Проректор по учебно-  
воспитательной работе

  
\_\_\_\_\_ М.О. Абдикаримов

« 15 » 01 2018г

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ГУ имени Шакарима  
города Семей

  
\_\_\_\_\_ М.Г. Ескендиоров

« 15 » 01 2018г

Акт

внедрения результатов научно-исследовательской работы  
в учебный процесс

Мы, нижеподписавшиеся члены комиссии:

Тулугалиева С.С., к.б.н., директор департамента по академическим вопросам, Есимбеков Ж.С., PhD, руководитель отдела по управлению научной и инновационной деятельностью, Шайханова А.К., PhD, декан факультета информационно - коммуникационных технологий, Золотов А.Д., к.т.н., заведующий кафедры «Автоматика и вычислительная техника» составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы Оспанова Е.А., полученные им в результате выполнения диссертации на соискание степени доктора PhD по теме «Разработка математической модели и алгоритмов принятия решений интеллектуальных систем управления производственными объектами» внедрены в учебный процесс Государственного университета имени Шакарима города Семей на факультете информационно - коммуникационных технологий для студентов специальности 5В070200 «Автоматизация и управление», 5В070400 «Вычислительная техника и программное обеспечение» и 6М070200 «Автоматизация и управление». Указанные результаты используются при чтении лекций, проведении лабораторно-практических занятий по дисциплинам: «Экспертные и интеллектуальные системы», «Нечеткие системы управления» и «Интеллектуальные системы управления».

Настоящий акт составлен в 3-х экземплярах и передан на хранение: первый экземпляр - на кафедру «Автоматика и вычислительная техника», второй экземпляр - в деканат факультета информационно - коммуникационных технологий, третий экземпляр - в отдел науки.

Члены комиссии:

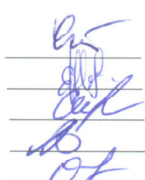
Тулугалиева С.С. \_\_\_\_\_

Есимбеков Ж.С. \_\_\_\_\_

Шайханова А.К. \_\_\_\_\_

Золотов А.Д. \_\_\_\_\_

Оспанов Е.А. \_\_\_\_\_





# ҚОСЫМША Ә

## Куәлік

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ**      **РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН**

**АВТОРЛЫҚ ҚҰҚЫҚПЕН ҚОРҒАЛАТЫН ОБЪЕКТІЛЕРГЕ ҚҰҚЫҚТАРДЫҢ  
МЕМЛЕКЕТТІК ТІЗІЛІМГЕ МӘЛІМЕТТЕРДІ ЕНГІЗУ ТУРАЛЫ**

**КУӘЛІК**

2018 жылғы 8 - қазан      № 93

Автордың (ярдның) жеңі, аты, есімінен алы (әгер ол жеке бастан құбыландыратын құқықта көрсетілсе):  
осымен өрнегі және суреті, балықтай суреті және өрнегімен, арнайы өрнегі өткізіледі

Автордың құқық объектісі: **ЗЕМ-ге арналған бағдарлама**  
Система моделирования и принятия решений по управлению режимами работы

Объектінің атауы: **комплекс по производству бензола**

Объектіні жариялан күні: **01.10.2018**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

**О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР  
ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

№ 93      от 8 - октября      2018 года

Фамилия, имя, отчество: (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):  
осымен өрнегі және суреті, балықтай суреті және өрнегімен, арнайы өрнегі өткізіледі

Вид объекта авторского права: **программа для ЭВМ**  
Система моделирования и принятия решений по управлению режимами работы

Название объекта: **комплекс по производству бензола**

Дата создания объекта: **01.10.2018**





Ақпараттың толық мағлұматы үшін: [www.kazpatent.kz](http://www.kazpatent.kz) немесе сайттың  
"Авторлық құқық" бөліміндегі ақпараттық бөліміне кіріңіз: [www.kazpatent.kz](http://www.kazpatent.kz)

Подлинность документа можно проверить на сайте [kazpatent.kz](http://www.kazpatent.kz)  
в разделе «Авторское право» либо по телефону [+77777000000](tel:+77777000000)

Подписано ЗЦП      **Оспанова Р. К.**

## ҚОСЫМША В

### Бағдарлама листингі

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Buttons, jpeg, ExtCtrls, OleCtrls, SHDocVw, Text3D;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Edit1: TEdit;
    SpeedButton1: TSpeedButton;
    Panel1: TPanel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label1: TLabel;
    Image1: TImage;
    Label8: TLabel;
    Timer1: TTimer;
    Label9: TLabel;
    procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
    procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
    procedure FormShow(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;
  s,s0,s1,s3,s6,s7,s4,s5,s2:string;
  i,i1,i2,i3,i4,i5,i6,i7:integer;
  procedure Delay (dwMilliseconds: Longint);
implementation

uses Unit2;

{$R *.dfm}
procedure Delay (dwMilliseconds: Longint);
var iStart, iStop: DWORD;
begin iStart := GetTickCount;
  repeat iStop := GetTickCount;
    Sleep(1);
  Application.ProcessMessages;
```

```

until (iStop - iStart) >= dwMilliseconds;
end;

procedure TForm1.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
if (form1.Edit1.Text ='login') then Form2.Show
else MessageDlg('Вы ввели не правельные данные',mtError,mbOKCancel,0);
timer1.Enabled:=false;
end;

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
i:=i+1;
if i<=length(s) then
begin
s0:=s0+s[i];
label8.Caption:="";
label8.Caption:=s0;
if i=length(s)then s0:="";
end;
if (i>length(s))and (i<=length(s)+length(s1)) then
begin
i1:=i1+1;
s0:=s0+s1[i1];
label9.Caption:="";
label9.Caption:=s0;
if i=(length(s)+length(s1)) then s0:="";
end;
if (i>(length(s)+length(s1)))and (i<=(length(s)+length(s1)+length(s3))) then
begin
i3:=i3+1;
s0:=s0+s3[i3];
label9.Caption:="";
label9.Caption:=s0;
if i=(length(s)+length(s1)+length(s3)) then s0:="";
end;
if (i>(length(s)+length(s1)+length(s3)))and (i<=(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4))) then
begin
i4:=i4+1;
s0:=s0+s4[i4];
label9.Caption:="";
label9.Caption:=s0;
if i=(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)) then s0:="";
end;

if (i>(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)))and
(i<=(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)+length(s5))) then
begin
i5:=i5+1;
s0:=s0+s5[i5];
label9.Caption:="";
label9.Caption:=s0;

```

```

    if i=(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)+length(s5)) then s0:="";
end;
    if (i>(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)+length(s5)))and
(i<=(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)+length(s5)+length(s6))) then
begin
    i6:=i6+1;
    s0:=s0+s6[i6];
    label9.Caption:="";
    label9.Caption:=s0;
    if i=(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)+length(s5)+length(s6)) then s0:="";
end;
    if (i>(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)+length(s5)+length(s6)))and
(i<=(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)+length(s5)+length(s6)+length(s7))) then
begin
    i7:=i7+1;
    s0:=s0+s6[i7];
    label9.Caption:="";
    label9.Caption:=s0;
    if i=(length(s)+length(s1)+length(s3)+length(s4)+length(s5)+length(s6)) then s0:="";
end;

end;
procedure TForm1.FormShow(Sender: TObject);
begin
s0:="";
i:=0;i1:=0;i2:=0; i3:=0;i4:=0;i5:=0;i6:=0;i7:=0;
s:="Система моделирования и принятия решений по управлению режимами работы
комплекса по производству бензола";
s1:='- Это система для моделирования и исследования технологического комплекса по
производству бензола с целью оптимального управления рабочими режимами комплекса';
s3:='- Это система для моделирования и определения значений выходных параметров
(критериев, показателей объема и качества бензола) комплекса по производству бензола в
зависимости от изменения режимных параметров'//, а также для подбора оптимальных
режимов процесса'; //обеспечивающих улучшение критериев управления;';
s4:='- Это система проведения компьютерных экспериментов по исследованию
технологического процесса получения бензола, рафината, тяжелой ароматики по изучению
влияния режимных параметров на процессы получения продукции;';
s5:='- Это система исследование и определение эффективных режимов работы комплекса по
производству бензола, при котором достигается максимальный выход бензола и улучшаются
качественные показатели бензола;';
s6:='- Это система позволяющая поддерживать принятия решений по эффективному
управлению процессом производства бензола;';
s7:='- Это система применяемая в учебном процессе вуза для магистрантов и докторантов
специальностей автоматизация и управления, информаци-онные системы и химико-
технологических специальностей.';

end;

unit Unit2;

interface

```

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, Buttons, jpeg, ExtCtrls, Menus, TeeProcs, TeEngine,  
Chart, Grids, DBGrids, DB, DBTables, DbChart, ADODB, Series, ComCtrls, ComObj;

type

```
TForm2 = class(TForm)
  Panel1: TPanel;
  Panel2: TPanel;
  Panel3: TPanel;
  Image1: TImage;
  Image2: TImage;
  Panel4: TPanel;
  Panel5: TPanel;
  Button1: TButton;
  Button2: TButton;
  Button3: TButton;
  Button4: TButton;
  Button5: TButton;
  Edit1: TEdit;
  Edit2: TEdit;
  Edit3: TEdit;
  Edit4: TEdit;
  Edit5: TEdit;
  SpeedButton1: TSpeedButton;
  Edit6: TEdit;
  Edit8: TEdit;
  Edit9: TEdit;
  Edit10: TEdit;
  SpeedButton2: TSpeedButton;
  Edit7: TEdit;
  SpeedButton4: TSpeedButton;
  SpeedButton3: TSpeedButton;
  SpeedButton5: TSpeedButton;
  Edit11: TEdit;
  Label1: TLabel;
  Label3: TLabel;
  Label2: TLabel;
  ADOConnection1: TADOConnection;
  DataSource1: TDataSource;
  ADOTable1: TADOTable;
  DBGrid1: TDBGrid;
  PageControl1: TPageControl;
  TabSheet1: TTabSheet;
  DBChart1: TDBChart;
  Series1: TLineSeries;
  TabSheet2: TTabSheet;
  TabSheet3: TTabSheet;
  SpeedButton6: TSpeedButton;
  SpeedButton7: TSpeedButton;
  DBChart2: TDBChart;
  LineSeries1: TLineSeries;
```

```

DBChart3: TDBChart;
LineSeries2: TLineSeries;
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton5Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit4Change(Sender: TObject);
procedure Edit5Change(Sender: TObject);
procedure SpeedButton4Click(Sender: TObject);
procedure FormShow(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure SpeedButton3Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton6Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton7Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form2: TForm2;
  a1,a2,b1,b2,h,x1,x2,x3,x4,x5,y1,y2,y3,y4,y5:real;
  cod:integer;
implementation

uses Unit3, Unit1, uBenzole, uPrimenenye;

{$R *.dfm}

procedure TForm2.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
  Form1.Close;
  form2.Close;
end;

procedure TForm2.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
begin
  Form3.Show;
end;

procedure TForm2.Button5Click(Sender: TObject);
begin
  //edit10.Text :='0.000047'
end;

procedure TForm2.Button4Click(Sender: TObject);

```

```

const
a: array[0..2] of integer = (102, 103, 104);
begin

end;

procedure TForm2.SpeedButton5Click(Sender: TObject);
var i,j,n:integer;  yi2,yi3,x,y:array[1..100]of real;
begin
  ADOTable1.First;
  while not ADOTable1.Eof do
  ADOTable1.Delete;
  x1:=strtofloat(edit1.Text);
  x2:=strtofloat(edit2.Text);
  x3:=strtofloat(edit3.Text);
  Val(Edit4.Text,x4,cod);
  Val(Edit5.Text,x5,cod);
  Val(Edit11.Text,h,cod);
  y1:= 0.099849*x1+0.020462*x2-0.76*x3+0.000149*x1*x1+0.000008*x2*x2-
  0.03257*x3*x3+0.000046*x1*x2+0.000571*x1*x3-0.000585*x2*x3;
  y2:= 0.061562*x1-0.012615*x2+0.234286*x3+0.000074*x1*x1-
  0.000015*x2*x2+0.01339*x3*x3+0.000009*x1*x2+0.001055*x1*x3-0.000180*x2*x3;
  y3:= -0.000000001+0.41892*x1 - 0.17169*x2+3.18857*x3+0.00063*x1*x1-
  0.00013*x2*x2+0.136653061*x3*x3+0.00006*x1*x2 +0.00718*x1*x3-0.00123*x2*x3;
  y4:= (0.0235*x2-0.5828*x3-5100*x4*1.020*x5+0.000018*x2*x2-0.01665*x3*x3-
  127500*x4*x4+0.02448*x5*x5+0.00047*x2*x5-145.714*x3*x4-0.0058*x3*x5+51.0*x4*x5);
  randomize;
  y5:= 0.099849*x1+0.020462*x2-0.76*x3+0.000149*x1*x1+0.000008*x2*x2-
  0.03257*x3*x3+0.000046*x1*x2+0.000571*x1*x3-0.000585*x2*x3;
  y5:=(x1/100)*0.00005;

  y4:=random(2)+102;
  edit6.Text:=floattostr(y1);
  edit7.Text:=floattostr(y2);
  edit8.Text:=floattostr(y3);
  edit9.Text:=floattostr(y4);
  edit10.Text:=floattostr(y5);
  //label4.Caption:=floattostr((x1/100)*0.00005);
  x[1]:=x2-h;
  i:=0; j:=0;
  y[1]:=y1;
  repeat
  i:=i+1;
  x[i+1]:=x[i]+h;
  x2:=x[i];
  y[i]:= 0.099849*x1+0.020462*x2-0.76*x3+0.000149*x1*x1+0.000008*x2*x2-
  0.03257*x3*x3+0.000046*x1*x2+0.000571*x1*x3-0.000585*x2*x3;
  yi2[i]:=0.061562*x1-0.012615*x2+0.234286*x3+0.000074*x1*x1-
  0.000015*x2*x2+0.01339*x3*x3+0.000009*x1*x2+0.001055*x1*x3-0.000180*x2*x3;
  yi3[i]:= -0.000000001+0.41892*x1 - 0.17169*x2+3.18857*x3+0.00063*x1*x1-
  0.00013*x2*x2+0.136653061*x3*x3+0.00006*x1*x2 +0.00718*x1*x3-0.00123*x2*x3;
  until x2>=1350;

```

```

n:=i;
j:=0;
i:=1;

repeat
j:=j+1;
if y[j]>=133 then i:=i-1 else i:=i+1;
ADOTable1.Insert;
ADOTable1.Fields[1].Value:=x[j];
ADOTable1.Fields[2].Value:=y[i];
ADOTable1.Fields[3].Value:=yi2[j];
ADOTable1.Fields[4].Value:=yi3[j];
ADOTable1.Post;
until j>=n;

DBChart1.RefreshData
end;

procedure TForm2.Edit1Change(Sender: TObject);
begin
if edit1.Text<>" then x1:=strtofloat(edit1.Text);
a1:= (x1/100)*0.003;
b1:=(x1/100)*0.006;
label3.Caption:=floattostr(a1)+'-'+floattostr(b1);
a2:= (x1/100)*45;
b2:=(x1/100)*55;
label2.Caption:=floattostr(a2)+'-'+floattostr(b2);
edit4.Text:=floattostr(a1);
edit5.Text:=floattostr(a2);
end;

procedure TForm2.Edit2Change(Sender: TObject);
begin
if edit2.Text<>" then x2:=strtofloat(edit2.Text);
end;

procedure TForm2.Edit3Change(Sender: TObject);
begin
if edit3.Text<>" then x3:=strtofloat(edit3.Text);
end;

procedure TForm2.Edit4Change(Sender: TObject);

begin
Val(Edit4.Text,x4,cod);
{if not ((x4<=a1)and(x4>=b1)) then
begin
showmessage("Значение должна быть в диапазоне "+floattostr(a1)+'-'+floattostr(b1));
edit4.Clear;
end; }
end;
end;

```



```

procedure TForm2.Edit5Change(Sender: TObject);
begin
Val(Edit5.Text,x5,cod);
{if not ((x5<=a2)and(x5>=b2)) then
begin
showmessage('Значение должна быть в диапазоне '+floattostr(a2)+'-'+floattostr(b2));
edit5.Clear;
end;}
end;

```

```

procedure TForm2.SpeedButton4Click(Sender: TObject);
begin
ADOTable1.First;
while not ADOTable1.Eof do
ADOTable1.Delete;
end;

```

```

procedure TForm2.FormShow(Sender: TObject);
begin
if edit1.Text<>" then x1:=strtofloat(edit1.Text);
a1:= (x1/100)*0.003;
b1:=(x1/100)*0.006;
label3.Caption:=floattostr(a1)+'-'+floattostr(b1);
a2:= (x1/100)*45;
b2:=(x1/100)*55;
label2.Caption:=floattostr(a2)+'-'+floattostr(b2);
edit4.Text:=floattostr(a1);
edit5.Text:=floattostr(a2);
end;

```

```

procedure TForm2.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
ADOTable1.First;
while not ADOTable1.Eof do
ADOTable1.Delete;
end;

```

```

procedure TForm2.SpeedButton3Click(Sender: TObject);
begin
fmBenzole.show;
end;

```

```

procedure TForm2.SpeedButton6Click(Sender: TObject);
begin
fmPrimenenye.show;
end;

```

```

procedure TForm2.SpeedButton7Click(Sender: TObject);
var
Excel: Variant;
WorkbookName: string;
i:integer;

```

```

begin
  WorkbookName := GetCurrentDir + '\Результат.xls';
  Excel := CreateOleObject('Excel.Application');
  try
    Excel.Workbooks.Open(WorkbookName);
    ADOTable1.First;
    i:=0;
    while not ADOTable1.Eof do
      begin
        i:=i+1;
        Excel.Cells[4+i,1] := i;
        Excel.Cells[4+i,2] := ADOTable1.Fields[1].Value;
        Excel.Cells[4+i,3] :=ADOTable1.Fields[2].Value;
        Excel.Cells[4+i,4] := ADOTable1.Fields[3].Value;
        Excel.Cells[4+i,5] := ADOTable1.Fields[4].Value;
        ADOTable1.Next;
      end;
    Excel.Visible := True;

  except
    Excel.Quit;
  end;

end;

end.
unit Unit3;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, jpeg, ExtCtrls;

type
  TForm3 = class(TForm)
    Image1: TImage;
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form3: TForm3;

implementation

{$R *.dfm}

end.

```