

## АНДАТПА

6D070200 - «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша

PhD докторлық дәрежесін иемдену үшін ұсынылған

Батаев Нұрлан Айбулатұлының

«Газ тасымалдау агрегаттың жұмыс режимдерін модельдеу және зерттеу»  
тақырыбындағы диссертациясына жүйеленген

**Зерттеу тақырыбының өзектілігі.** Соңғы бірнеше ғасырларда, энергияның бастапқы көзі ретінде қазбалы отындар әлемдік экономикалық өсу үшін маңызды болды. XIX ғасырдың Еуропадағы өнеркәсіптік революция кезінде, көмір ауылшаруашылығы, өндіріс және көлік саласындағы технологиялық прогресті қолдауда шешуші рөл атқарды. XX ғасырда мұнай көптеген энергетикалық салаларда көмірді алмастырды және экономиканы қолдаудағы маңызды фактор болып табылады.

Алайда, қазіргі уақытта мұнай бағасының тұрақты өсуі, қорлардың едәуір азаюы және көптеген елдердің энергияның таза көздеріне ауысуы, отынның таза және экономикалық тұрғыдан тартымды түрі болып табылатын табиғи газға сұраныстың артуына алып келді. Осылайша, табиғи газ қазіргі әлемдік энергияны арттыратын және белгілі бір дәрежеде мұнай өнімдері мен олардың туындыларын пайдаланудың ықтимал салдарын жеңілдететін стратегиялық тауар болып табылады.

Газ кен орындарын игеру және табиғи газды тасымалдау, Қазақстан Республикасында өнеркәсіпті дамытудың басым бағыттарының бірі болып табылады. Соңғы жылдары көмірсутегі экспортының қарқынды өсуі бірінші кезекте Батыс Еуропа мен Қытайдағы өнеркәсіптің өсуіне байланысты. Қазақстан тәуелсіздік алғаннан бері ширек ғасырдан астам уақыт ішінде отын-энергетика кешенінде айтарлықтай жетістіктерге жетті. Табиғи газдың қоры бойынша Қазақстан Республикасы әлемдегі жиырма елдің қатарына кіреді. Қазақстанның газ саласы өткен ғасырдың 70-жылдарынан бастап қарқынды дамуға ие болды. 2015 жылғы жағдай бойынша, пайдалы қазбалар қоры жөніндегі мемлекеттік комиссияның мәліметі бойынша, Қазақстандағы табиғи газдың барланған қоры 4,0 трлн м<sup>3</sup> деп бағаланады, мұндағы еріген газдың үлесі 2,3 трлн м<sup>3</sup>, ал бос газдың үлесі 1,8 трлн м<sup>3</sup> құрайды. Елдегі газ қорының негізгі үлесі Қазақстанның батыс аймақтарында орналасқан. Табиғи газ үш негізгі кен орнында өндіріледі: Қарашығанақ, Қашаған және Теңіз. Қазақстанда жыл сайынғы газ өндірісі шамамен 23 млрд. м<sup>3</sup> құрайды.

Газдың үлкен көлемін өндіруге байланысты, табиғи газды соңғы тұтыну орындарына әрі қарай тасымалдау мәселесі туындайды. Осыған байланысты табиғи газдың газ айдау қондырғыларын модельдеу жүйелерінің рөлі өте маңызды.

Газ сорғы қондырғысының өнімділігін төмендетудің негізгі себептерінің бірі - ауаны ластаушы заттар әсерінен, газ турбиналық қозғалтқыштың осьтік компрессорының ластануы болып табылады. Ластану отынның көп шығуына, осьтік компрессордың енгізілген ауасының қысымының төмендеуіне және шығарылатын газдардың температурасының жоғарылауына әкелетіндігін ескере отырып, компрессордың тозуын анықтау әдісін әзірлеу, мұндай проблемалардың алдын алады.

**Диссертациялық зерттеудің мақсаты.** Бұл жұмыстың негізгі мақсаты - газ компрессорының және соған сәйкес жабдықтың жұмыс режимдерін модельдеу әдісі, ұсынылған есептеу алгоритмдері мен әзірленген бағдарламалық қамтамасыздандыруды сипаттау. Газ айдайтын қондырғының тиімділігінің нашарлау дәрежесін анықтау әдістемесін жасау.

**Жұмыстың негізгі идеясы.** Газ компрессоры, клапан, салқындатқыш, газ-сұйық сепаратор және т.б. сияқты жүйенің әр компонентін жеке модельдеу арқылы табиғи газды сығымдау жүйесін модельдеуге ұсынылған алгоритмдерді іске асыру үшін қолданба әзірлеу. Центрден тепкіш газ компрессоры теориясына және практикалық дағдыларға сүйене отырып, уақытылы әрекет ету және толқулардың алдын алу үшін модельге антипомпаж стратегиясы қолдану. Газ компрессорлық агрегаттың негізгі жұмыс режимдерін зерттеу және газ компрессорлық агрегаттың тиімділігінің төмендеуін анықтау әдістемесін ұсыну.

**Зерттеудің міндеттері:** Мақсатқа сәйкес осы жұмыста шешілуі қажет келесі міндеттер анықталды:

- анализ жүргізіп, ГТА (Газ тасымалдау агрегаты) жұмыс режимдерін модельдеудің технологиялық мәселелерін анықтау;
- табиғи газды сығымдау процесінде қолданылатын әртүрлі жүйелік тораптардың, мысалы, газ компрессоры, газ сұйықты сепаратор, салқындатқыш, клапан, ағынды жинау / бөлу қондырғыларының математикалық модельдерін жасау;
- модельдеу жүйесінің алгоритмін жасау және газ компрессорының антиактивті стратегиясын іске асыру;
- тізбектің әр нүктесінде газдың негізгі параметрлерін есептеу және газ ағынын бөлу мәселесін шешу;
- жеке модульдік блоктар түрінде кітапханалық модель элементтерін жасау;
- әзірленген модельдерді бірыңғай бағдарламалық пакетке енгізу және газ тасымалдау агрегаттың жұмыс режимдерін модельдеуге арналған қосымшаны жасау;
- газ компрессорын автоматты және қолмен басқару логикасын іске асыру;
- алгоритмдердің дұрыстығын тексеру;
- ГТА (Газ тасымалдау агрегаты) жұмыс режимдерін зерттеу және осьтік компрессордың деградация дәрежесін анықтау әдістемесін жасау.

**Зерттеудің объектісі.** Зерттеу объекті - негізгі құрал газ сорғы қондырғысы болып табылатын компрессорлық станциядағы табиғи газды сығымдаудың технологиялық процесі.

**Зерттеу әдістері.** Тапсырмалар теориялық және практикалық зерттеулер жүргізу арқылы шешілді. Алға қойылған міндеттерді зерттеуде автоматты басқару теориясы, мәліметтерді өңдеу әдістері, газ параметрлерін есептеудің физикалық формулалары, сондай-ақ газ айдайтын қондырғының тиімділігін анықтайтын машиналық әдістер қолданылды.

Бағдарламалық жасақтаманы модельдеу және жасау құралы ретінде заманауи бағдарламалық қосымшалар пакеттері пайдаланылды: LabView, Microsoft Visual Studio, Jupyter Notebook.

**Зерттеу жұмысының ғылыми жаңалығы.** Жүргізілген зерттеулер негізінде келесі нәтижелер алынды:

- газ тасымалдау агрегатының жұмысына талдау жасалды, негізгі ГТА жабдықтарының модельдеу алгоритмдері жасалды;
- жабдықтардың таңдалған тізімі үшін көлемді газ ағынын қалыптастыру алгоритмі жасалды;
- газ компрессорының негізгі параметрлерін есептеу алгоритмі жасалды;
- таңдалған жабдық тізбегі үшін газдың массасы мен көлемінің балансын есептеу үшін құрама алгоритм әзірленді;
- газ тасымалдау агрегатының тиімділігінің төмендеу себептеріне талдау жасалып, осьтік компрессордың тозу дәрежесін анықтау әдісі ұсынылған.

**Қорғауға ұсынылатын негізгі қағидалар:**

- көлемді газ ағынының қалыптасуының алгоритмдік құрылымы;
- компрессордың параметрлерін есептеу және газдың массасы мен көлемінің теңгерімін есептеу алгоритмдері;
- табиғи газды сығымдау жүйесінің жұмыс режимдерін модельдеуге арналған бағдарламалық жасақтама;
- газ тасымалдау агрегат тиімділігінің төмендеу дәрежесін анықтау алгоритмі;
- жасалынған алгоритмдер мен газ тасымалдау агрегатының жұмыс режимдерінің моделдерінен алынған нәтижелер.

**Алынған нәтижелердің тәжірибелік маңызы.** Жабдық параметрлерін есептеудің, газдың массасы мен көлемінің теңгерімін есептеудің және газды сығымдау жүйесінің ағымдық ағынын есептеудің алгоритмдері бір қолданбалы бағдарламада жүзеге асырылады, бұл пайдаланушы таңдаған құрылғы тізбегін динамикалық режимде модельдеуге мүмкіндік береді. Бағдарламалық жасақтаманың нақты деректермен сәйкестігін тексеру үшін бірқатар сынақтар жүргізілді, осы қосымшада жинақталған жүйенің сыртқы әсерлерге және оның негізгі параметрлерінің өзгеруіне қалай жауап беретінін тексеру үшін тесттер өткізілді. Тест нәтижелеріне сүйене отырып, әртүрлі жұмыс режимдері мен

параметрлеріне арналған модельденген жүйе тиісті нәтиже береді деп қорытынды жасауға болады. Бұл қосымшаның практикалық құндылығы:

- бұл қосымша табиғи газды сығымдау жүйесіндегі нақты процестерді бағалауға мүмкіндік береді;

- әр құрылғы сәйкес формулалары бар математикалық модельмен сипатталады;

- ұсынылған бағдарламалық қамтамасыз ету газ компрессорларындағы нақты газды сығу процесіне әсер ететін факторларды ескереді;

- модельдеу алгоритмдерінің логикасы ұсынылған жабдықтағы нақты технологиялық процестерді жеткілікті түрде көрсетеді.

Бұл қосымшаның практикалық қолданылуы газ компрессорының әртүрлі жұмыс режимдерінде жүретін процестерді зерттеу үшін оны білім беру мақсаттарында жүзеге асыру мүмкіндігі болып табылады.

#### **Ізденушінің қосқан жеке үлесі:**

- зерттеу міндеттері мен оларды орындау тәсілдерін тұжырымдау;

- компрессорлық станцияның негізгі жабдықтарының математикалық модельдерін жасау және құру;

- көлемді газ ағынын қалыптастыру алгоритмдерін жасау және газдың массалық және көлемдік теңгерімдерін есептеу;

- ұсынылған алгоритмдерді газ айдау қондырғысының жұмыс режимдерін модельдеуге арналған әзірленген қосымшада практикалық іске асыру;

- ГТА тиімділігінің параметрлерін зерттеу және ГТА тиімділігінің төмендеуін анықтау әдістемесін жасау.

**Жұмыстың апробациясы.** Зерттеудің негізгі нәтижелері Халықаралық конференцияларда баяндалды және талқыланды: «The 16th International Conference Information Technologies and Management» конференциясы 2018 жылы, Латвияда (Рига); «The 6th International Virtual Conference on Advanced Scientific Results», 2018 ж. Словакияда; «Global Science and Innovations», 2018 жылы Астанада, Қазақстанда; «International Conference on Electronics Computer and Computation», 2018 ж. Алматыда, Қазақстанда; «Integration of the Scientific Community to the Global Challenges of Our Time. The IV International Scientific-Practical Conference», 2019 ж. Саппоро, Жапонияда.

**Басылымдар.** Зерттеу тақырыбы бойынша 12 жарияланған жұмыстары жарық көрді. Оның ішінде халықаралық конференциялардағы 6 тезис, 4 баяндама Жоғары аттестаттау комиссиясының тізімінде, 2 мақала Scopus халықаралық дәйексөздер базасына енген шетелдік журналдарда жарияланған.

**Диссертацияның құрылымы және көлемі.** Диссертация кіріспеден, негізгі мазмұнның бес бөлімінен, қорытынды мен қосымшалардан, 71 атаудан тұратын библиографиядан тұрады және 102 беттен, 77 суреттен және 4 кестеден тұрады.

**Бірінші бөлімде** заманауи компрессорлық станцияларда табиғи газды сығу процесі сипатталған. Газ құбырлары жүйесінің негізгі түрлері және олардың арасындағы негізгі айырмашылықтар сипатталған. Қазақстан

Республикасындағы газ тарату желілерінің жағдайы сипатталған. Табиғи газды сығымдау жүйелерінің жұмыс принципі сипатталған. Модельдеу жүйелерінің әдістері мен құралдарына шолу.

**Екінші бөлімде** математикалық модельдің даму реті сипатталған. Газ компрессорының, клапанның, салқындатқыштың, газ-сұйық сепаратордың, құбырдың, қозғалтқыштың модельдерінің толық сипаттамасы келтірілген. Газды сығу схемасы элементтерінің таңдалған бірізділігі үшін табиғи газдың көлемді ағынының алгоритмі, схеманың массалық балансын есептеу алгоритмі, компрессордың шығыс параметрлерін есептеу алгоритмі сипатталған.

**Үшінші бөлімде** газ компрессорына басты қауіптердің бірі болып табылатын толқын құбылысы сипатталған. Өрекет принципі және антифризді реттегішті қолдану қажеттілігі сипатталған. Реттеу заңының қағидалары ашылған, анти-реактивті реттеу принципі және қолдану принципі егжей-тегжейлі сипатталған. Практикалық дағдыларға сүйене отырып, антипомпаж реттегіш моделі жасалады.

**Төртінші бөлімде** әзірленген қосымшаны қалай сынау керектігі сипатталған. Табиғи газды сығымдау жүйесін модельдеу процесі бір сатылы газ компрессорының мысалы арқылы сипатталған. Газ компрессорлық агрегатының стационарлық және динамикалық режимдеріндегі үлгінің сәйкестігі тексерілді. Антипомпаж реттегішті сынаудың кезектілігі сипатталған.

**Бесінші бөлімде** газ турбиналық қозғалтқышы бар газ сорғы қондырғысы жағдайында газ турбиналық қондырғының осьтік компрессорының тозуын анықтау әдісі ұсынылған. Центрифугалық газ компрессорының білігінің қуат параметрлері мен тиімділігін есептеу. Машиналық оқытуды болжау моделі негізінде ГТА көрсеткіштерін бағалау тәсілдері көрсетілген. Модельдің сәйкестігі эксплуатациялық параметрлер бойынша тексеріледі.

**Диссертация қорытындысында** жұмыстың негізгі тұжырымдары ұсынылған зерттеулердің нәтижелері бойынша тұжырымдалады.

**Қосымшада** пилоттық сынақтар және нәтижелерді практикалық мақсаттарда пайдалану туралы ақпарат бар.