

Код МРНТИ 55.39.39

*Д.Д. Басканбаева, К.К. Елемесов, Ж.К. Татаева, Л.Б. Сабирова
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

ТАУ-КЕН ӨНЕРКӘСІБІ САЛАСЫНДАҒЫ ГАЗКОМПРЕССОРЛЫҚ АГРЕГАТТАР ҮШІН ҚЫСЫМДЫ РЕТТЕУ ПРОЦЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ ҮРДІСІ

Аннотация. Тау кен өнеркәсібі пайдалы қазбалардың көптігін ескере отырып, біздің еліміздегі маңызды сала болып есептеледі. Ең маңызды пайдалы қазбалардың көпшілігі тау жыныстарында орналасқан, бұл жағдай тау-кен процесін қиындатады. Тау-кен өнеркәсібінде қолданылатын жаңартылған ауа компрессорлары қиын жағдайларда жұмыс істегенде жоғары қауіпсіздік маржасына ие болуы керек: бұл біртекті рельеф, температураның жоғары өзгеруі, жер астында жұмыс істеу. Бұл жұмыстың аясында газды айдау процесінің технологиялық схемасы зерттелді, компрессор жұмысы есептелді және MATLAB бағдарламасында жүйенің моделі құрылды. Компрессордың шығысындағы қысымның қозғалтқыш роторының айналымдарымен байланысы анықталды.

Үйінді сөздер: винттік компрессор, газды сығымдау, газды тасымалдау, оңтайландыру, моделдеу, газкомпрессорлық станция, газайдау агрегаты.

The process of optimizing the pressure control process for gas compressor units in the mining industry

Abstract. The mining industry is the most important industry in our country, given the abundance of minerals. Most of the most important minerals are found in rocks, often deeply located, which complicates the extraction process. Modern air compressors used in the mining industry must have a high margin of safety when operating in difficult conditions: these are uneven terrain, high temperature differences, and work underground. This study investigated the technological scheme of the gas pumping process, calculated the compressor, and created a model of the system using MATLAB. The dependence of the compressor outlet pressure on the rotor speed of the motor was identified.

Key words: screw compressor, gas compression, gas transportation, optimization, modeling, gas compressor station, gas pumping unit.

Оптимизация процесса регулирования давления для газоконпрессорных агрегатов в горнодобывающей промышленности

Аннотация. Горнодобывающая промышленность – самая важная отрасль в нашей стране, учитывая обилие полезных ископаемых. Большинство наиболее важных полезных ископаемых находятся в горных породах, часто глубоко расположенных, что затрудняет процесс добычи. Современные воздушные компрессоры, используемые в горнодобывающей промышленности, должны иметь высокий запас прочности при работе в сложных условиях: это неровный рельеф, высокие перепады температур, работа под землей. В рамках работы была исследована технологическая схема процесса перекачки газа, рассчитан компрессор и создана модель системы в программе MATLAB. Была выявлена зависимость давления на выходе компрессора от оборотов ротора двигателя.

Ключевые слова: винтовой компрессор, сжатие газа, транспортировка газа, оптимизация, моделирование, газоконпрессорная станция, газоперекачивающий агрегат.

Кіріспе

Магистральдық құбырлардың геологиялық процесстердің әсеріне ұшырауын есепке ала отырып, газды алыс қашықтықтарға айдауға арналған магистралды газ құбырларының және де олардың күрделі газ жабдықтарымен жабдықталған түрлеріне тоқталып өтейік. Магистралды құбыр жүйесіне: құбырдың өзі, лупингтер, бұрылмалар, компрессорлық және газ тарату станциялары (ГТС) кіреді, олар газды үлкен қашықтықтарға айдау үшін арналған.

Арнайы объектілер магистралды газ құбыры келесі топтарға бөлінеді:

- бастауыш құрылыстар; газ құбыры;
- газ компрессорлық станциялар (ГКС);
- газ тарату станциялары;
- жер астындағы газ қоймалары;
- жөндеу-эксплуатациялық қызметтер топтары;
- тізбекті және станциялық байланыс агрегаттары;
- автоматизация және телемеханизация объектілері;
- электрохимиялық қорғау жүйесі, газ құбырын топырақ коррозиясынан қорғау;
- газ құбырының тұрақты жұмысын қамтамасыз ететін қосымша объектілер.

Газ құбырының ұзын болған жағдайда, газ қысымын арттыру қажеттілігі қысымды көтеру (линейлік) компрессорлық станцияларды (КС) белгілі бір аралықта орналастыру арқылы жүзеге асырылады. Бір компрессорлық станцияның (КС) басқа станциядан қашықтығы газ құбырының өнімділігіне, максималды қысымға, компрессорлардың сипаттамаларына және басқа да жағдайларға байланысты. Оларға рельеф, инженерлік-геологиялық си-

паттамалар, энергия және су ресурстарының болуы және т.б. жатады. Компрессорлық станциялар арасындағы қашықтық әдетте 110-160 км құрайды, газ құбырларының гидравликалық есептеулеріне байланысты [1, 2].

Қысымды көтеру компрессорлық станциялар (КС) газды сықтаумен қатар, оны қоспалардан тазартады, құрғатады және салқындатады. КС-ның тиімділігі газды айдайтын агрегаттардың (ГАА) түрі мен санына байланысты. Ең көп таралған тип – газ турбинасымен жабдықталған агрегаттар, олардың жоғары қуаты, ықшамдығы, сенімділігі және айдалатын газда жұмыс істеу мүмкіндігі бар. Алайда, бұл жобада попуттық мұнай газын сықтау үшін электр жетегі бар КС қарастырылады, ол сығымдағыш сорап станциясының құрамына кіреді. ГАА-ның жұмысын оңтайландыру максималды тиімділікке қол жеткізу үшін оптималды жұмыс режимін тандаумен байланысты [3, 4].

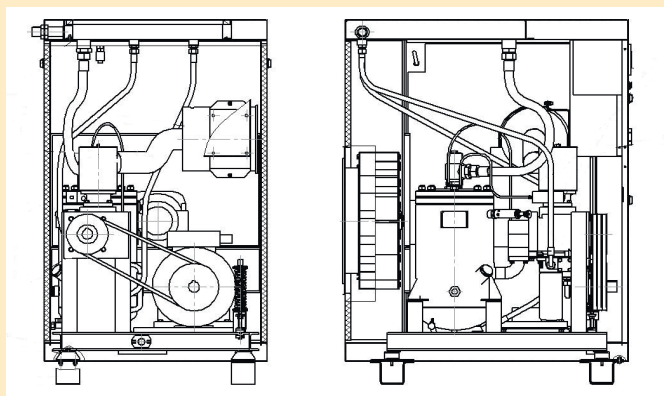
Газдың газ құбыры арқылы қозғалысы үйкеліс күштерін жену үшін энергия жоғалтуымен өтеді. Нәтижесінде газдың жылдамдығы төмендейді, қысымның төмендеуі орын алады, бұл газ құбырының өткізу қабілетінің төмендеуіне әсер етеді. Белгіленген газ параметрлерін ұстап тұру үшін, белгілі аралықтарда тасымалданатын газдың энергиясын арттыру қажет. Бұл энергияны арттыру процесі компрессорлық станцияларда жүзеге асырылады. Жүйе параметрлеріне қойылатын талаптардың деңгейін анықтайтын негізгі факторлар – магистралды құбырдағы қысым, ол компрессордың жұмыс режиміне, сондай-ақ құбырдың сенімділігіне әсер етеді, құбырдың ұзындығы, одан болатын жоғалтулар мен сығымдау станциялардың ара қашықтығы [5]. Қоршаған орта температурасы, ол газ

құбырындағы қысымға әсер етеді, температураның өзгеруінің құбырға деформация әсері. Газдың құбыр бойындағы шығыны, ол жүйедегі қысымды анықтайды, жергілікті тұрғындардың магистралды құбырдан газ тұтынуына байланысты уақыт бойынша тұрақты түрде өзгеріп отырады [6]. Құбырдағы жоғалтулар, олар түтікшелердің кедір-бұдырлығына, жер рельефіне, қолданылатын арматураның түріне, бұрылмаларға байланысты. Тұрақты реттеу кезінде энергияның жоғары шығындары мен қысымның өзгеруі орын алады, бұл жүйенің сенімділігіне әсер етеді, өйткені қысымның күрт артуы кез келген жерде құбырдың жарылуына әкелуі мүмкін, өйткені қысым толқынының құбыр бойымен қозғалысы 320 м/с жылдамдықпен жүреді. Сондықтан, қозғалтқышты басқару жүйесінде жұмсақ реттеу қажет, ол қайта реттеу үшін минималды энергия жұмсап, өтпелі процестерді қамтамасыз етеді [7].

Осы жұмыстың мақсаты – газокomppressorлық агрегаттың шығысындағы қысымды реттеу үрдісін жабық жүйеде зерттеу. Жобаланған жүйе асинхронды электр жетегін жиілікті басқару арқылы газкомпрессорлық агрегаттың тиімділігін арттыруға негізделген [8, 9].

Зерттеу әдістемесі

Цех жалпы цехтық объектілер тізбегінен тұратынын есепке алып, олардың ГАА-ның негізгі жұмысын атқаратынын ескерек келе, қосымша жабдықтармен, сондай-ақ персонал үшін қажетті жағдайлар жасайтынын есте ұстаған жөн. Компрессорлық цехтағы барлық жабдық белгілі мерзімдерде, белгілі периодтылықпен гидравликалық және басқа да қажет сынақтарды, соның ішінде визуалды тексеруді өткізуі тиіс [10]. Арматура мен құбырлар талаптарға сай боялған, сондай-ақ механикалық зақымданулардан, дірілден және коррозиядан қорғалған. Компрессорлық цехтың негізгі жабдықтары мыналардан тұрады (сурет 1):



Сурет 1. ГКС технологиялық сұлбасы.

Figure 1. Technological scheme of the Gas Compressor Station.

Рис. 1. Технологическая схема ГКС.

- газды айдайтын агрегат;
- айналмалы су мен майды салқындату жүйесі;
- маймен қамтамасыз ету жүйесі;
- өрт қауіпсіздігі жүйесі;
- желдету және жылыту жүйесі;

- бақылау және автоматика құралдарының кешені;
- электрмен жабдықтау жүйесі;
- өндірістік кәріз жүйесі;
- көтеру механизмдері.

Көрсетілген типтік ГКС сұлбасы (сурет 1) және Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистика бюросының газды айдау көлемдері туралы деректер негізінде ГКС компрессоры үшін техникалық талаптар әзірленді:

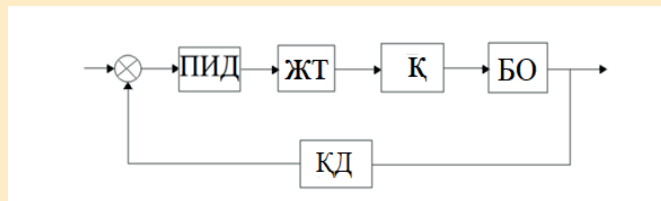
- газ 300 мм диаметрлі газ құбыры арқылы УКГ-ға тәулігіне 14 мың м³ (10 м³/минутына) көлемінде түседі;
- ГКС-қа кіретін газдың қысымы 0,6-0,8 МПа құрайды;
- газдың шығатын қысымы 2-2,5 МПа.

Қозғалтқышқа қойылатын техникалық талаптар компрессордың қуатына негізделіп қалыптастырылады, сонымен қатар двигатель жарылудан қорғау талаптарына сәйкес жасалуы тиіс, өйткені жүйеде табиғи газ бар.

Нәтижелер және оларды талқылау

Автоматтандырудың функционалдық схемасын жасау

Газды айдайтын агрегатты автоматты басқару жүйесі компрессордың шығатын газ қысымын бақылау мен реттеуді қамтамасыз етеді. Автоматтандыру жүйесінің функционалдық схемасы жасалды (сурет 2).



Сурет 2. Автоматтандырудың функционалдық схемасы, құрамында: ПИД – реттегіш; ЖТ – жиілік түрлендіргіш; К – қозғалтқыш; БО – басқару объектісі (компрессор); ҚД – қысым датчигі.

Figure 2. Functional diagram of automation, consisting of: PID – controller; VFD – variable frequency drive; M – motor; CU – control object (compressor); PD – pressure sensor.

Рис. 2. Функциональная схема автоматизации, состоящая: ПИД – регулятор; ПЧ – преобразователь частоты; Д – двигатель; ОУ – объект управления (компрессор); ДД – датчик давления.

Жүйенің негізгі элементтерін таңдау

Берілген жүйе талаптарына сәйкес винттік компрессор таңдалды. Винттік компрессорлардың ерекше артықшылығы – олардың шығынын кең диапазонда реттеу функциясы: толық көлемнен шамамен он бес пайызға дейін, алтыншы клапанның болуы арқасында. Реттығынды сору аймағына қарай ось бойымен жылжыту газдың жұмыс камераларынан сору камерасына өтуіне мүмкіндік береді, бұл компрессордың жұмыс ұзындығын қысқартады және, тиісінше, компрессордың қуатын азайтады. Жүйені іске қосу кезінде тұтынатын қуатты минимумға дейін азайту өте маңызды. Электр қозғалтқышын жұмсақ және жеңіл іске қосу үшін, төмен пускылық токтармен. Осы мақсатта реттығынды шеткі күйге, шетіне қарай жылжытады, бұл компрессордың ми-

нимум шығыны мен сәйкесінше минималды іске қосу қуатын қамтамасыз етеді. Реттегіш реттығын шығынды реттеудің ең экономикалық тәсілдерінің бірін жүзеге асыруға мүмкіндік береді, бұл ақырында энергияны едәуір үнемдеуге әкеледі. Мұндай компрессор қамтамасыз етуі тиіс негізгі сипаттамалар төменде келтірілген:

- ротордың диаметрі: 200 мм;
- сору шарттары бойынша өнімділік диапазоны: 9-15 м³, жетек роторының айналымы – 3000 айн/мин;
- электр қозғалтқышының максималды қуаты: 200 кВт;
- кіріс қысымы: 0,6 МПа дейін;
- максималды жұмыс қысымы: 2,5 МПа.

Компрессордың электр қозғалтқышы – бұл жоғары қорғалуы бар күштік типтегі құрылғы. Құрылғы қауіпті жағдайларда пайдалануға арналған. Әрбір сала жабдықтың қауіпсіздігіне қойылатын жоғары талаптармен сипатталады. Ауадағы жанғыш заттардың жануын болдырмау үшін, құрал арнайы түрде оқшаулануы тиіс. Оның әрбір бөлшегі от ұшқынынан қорғалған болуы керек, бұл үшін арнайы материалдар пайдаланылады. Бұдан басқа, жарылысқа қарсы ВАО2 280 L2 электр қозғалтқышы мәжбүрлі ауа ағымымен жабдықталған. Агрегаттың корпусы шаң мен сұйықтықтың ішіне түсуін болдырмау үшін жасалған. Бұған оның ішкі құрылымы да кедергі келтіреді. Электр қозғалтқыштары үш фазалы асинхронды, қысқа жабық роторлы ВАО2 типті. Электр қозғалтқыштарының қорғау дәрежесі – IP54. Сыртқы желдеткіштің қорғау дәрежесі – IP20. Изоляцияның жылу төзімділік класы – F және H. Монтаждау әдісі бойынша орындау – IM1001.

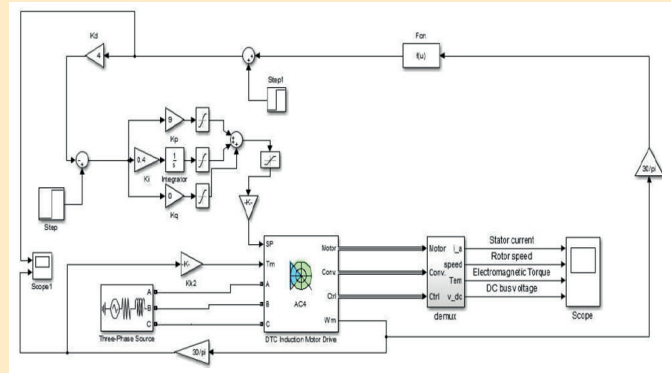
Таңдалған винттік компрессордың электр қозғалтқышы қамтамасыз етуі тиіс негізгі сипаттамалар төменде келтірілген:

- номиналды қуат: 200 кВт;
- синхронды айналу жиілігі: 3000 айн/мин;
- номиналды жүктемеде сырғу: 1,3%;
- номиналды жүктемеде ПӘК: 94%;
- номиналды жүктемеде қуат коэффициенті: 0,91;
- негізгі орындау массасы: 1130 кг;
- полюстер саны: 2.

Жүйенің моделін жасау

Алдын ала ұсынылған технологиялық және функционалдық схемаларға сәйкес, компрессор мен қозғалтқыштың анықталған параметрлеріне негізделіп, MATLAB R2015b бағдарламасында ГКС жұмыс процесін және оның оңтайландыруын модельдеу үшін жалпы схема құрылады.

Модельдің негізі AC4 – DTC индукциялық мотор драйв блогы болды, ол жиілік түрлендіргіші мен асинхронды электр қозғалтқышын қамтиды. Модельде AC4 блогымен қатар үш фазалы қуат көзі, Three-phase source, қолданылады, оның параметрлерінде кернеу мен қуат желісінің жиілігі орнатылады. F_{en} блогы басқару объектісін сипаттайды, ол винттік компрессор болып табылады. F_{en} блогымен есептелетін формула – қысымды есептеу формуласы; u айнымалысы – блокқа кіріс мәні, модельде бұл қозғалтқыштың айналымы. Блоктан шығатын қысым МПа-мен беріледі, кейін бұл қысым датчикке түсіп, электр сигналына түрлендіріледі, ол әрі қарай Simulink стандартты блоктарында жасалған басқару жүйесіне жіберіледі.



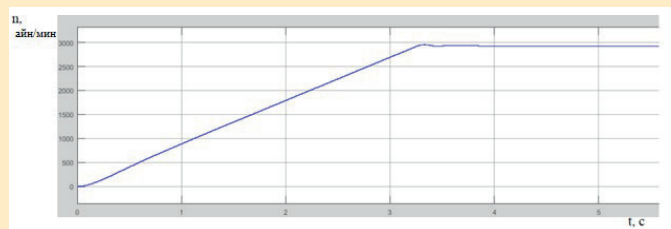
Сурет 3. Таңдалған жабдық параметрлері бойынша ГКС жұмысын модельдеу схемасы.

Figure 3. Simulation diagram of the Gas Compressor Station with selected equipment parameters.

Рис. 3. Схема моделирования работы ГКС с выбранными параметрами оборудования.

Модельде Step блогы берілетін кернеудің көзі болып табылады, оның диапазоны 0-10 В, өйткені жиілік түрлендіргішінің басқару жүйесіндегі максималды кернеу 10 В. Сондықтан 10 В мәні қозғалтқыштың максималды айналымдарына және сәйкесінше максималды шығыс қысымына 2,5 МПа сәйкес келеді. Жүйенің номиналды жұмыс режимі – 8 В-қа тең кернеу, жүйедегі қысым шамамен 2 МПа. Бұл номиналды жұмыс режимінде жүйеде қуат резерві болуы тиіс, себебі магистралды газ құбырының шығыны артқанда, қысым төмендейді. Сондықтан қысымды белгіленген деңгейде ұстап тұру үшін қозғалтқыштың айналымдарын арттыру қажет, осылайша шығыны көбейгенде қысым тұрақты қалады.

Модельдің барлық есептеулері қозғалтқыштың айналымдары 0 айн/мин болған бастапқы сәттен басталады, өйткені өтпелі процестердің толық көрінісін және жүйенің толық жұмысын көру үшін, оны тек нөлдік айналымдардан бақылауға болады. Жүйенің дұрыс жұмыс істейтінін тексеру үшін берілетін кернеу 10 В-қа орнатылады (сурет 4).



Сурет 4. Моделденген жүйенің $U_3 = 10$ В кезінде жұмыс нәтижелері.

Figure 4. Results of the modeled system operation at $U = 10$ V.

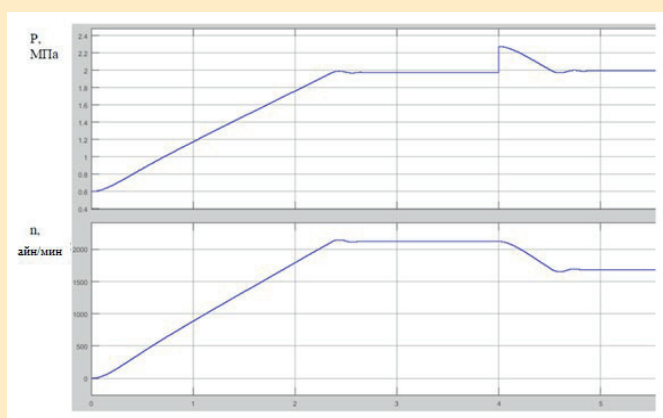
Рис. 4. Результаты работы смоделированной системы при $U = 10$ В.

Графиктен көріп отырғанымыздай, жүйе максималды жұмыс режиміне 3,5 секундта шығады, при этом перерегулирование минималды, жүйенің жұмысы тұрақты және сапалы. Қозғалтқыштың айналымы 2950 айн/мин, бұл

есептелген қысымға 2,5 МПа сәйкес келеді. Жүйенің жұмысы дұрыс деп саналады.

Қозғалтқыштың жұмысы барлық заңдарға сәйкес келеді: жүйені (қозғалтқыш-компрессор) іске қосқанда, пускालық ток шамамен 400 А болды, ал белгіленген жылдамдыққа жеткенде жұмыс тоқы 150 А деңгейінде қалды. Электромагниттік момент жылдамдық графигіне сәйкес келеді, тұрақты жұмыс кезінде тұрақты токтағы кернеу деңгейі шамамен 570 В.

Келесі кезекте жүйенің $U_3 = 8 В$ кезінде, яғни номиналды жұмыс режимінде, жұмысы моделденеді. Содан кейін 0,3 МПа қысымның төмендеуін модельдеу жүргізіледі, мысалы, газ құбырындағы шығын азайған кезде қысым номиналдан ауытқиды. Бұл жағдайда жүйе автоматты түрде қысымды төмендетуі керек, қозғалтқыштың айналымдарын азайту арқылы.



Сурет 5. Жүйенің $U_3 = 8 В$ кезінде жұмыс нәтижелері және 0,3 МПа қысымның көтерілуін өңдеу.
Figure 5. Results of the system operation at $U_3 = 8 V$ and pressure surge handling at 0.3 МПа.

Рис. 5. Результаты работы системы при $U_3 = 8 В$ и отработка наброса давления в 0.3 МПа.

Графиктен көріп отырғанымыздай, жүйе номиналды жұмыс режиміне шыққаннан кейін, қысым 4 секундта секіріп, жүйе автоматты түрде қозғалтқыштың айналымдарын төмендетті, осылайша қысым 2 МПа белгіленген деңгейінде қалды. Модельдеу нәтижелері жүйенің қысымның секіруін тиімді өңдейтінін көрсетті.

Басқару жүйесін оңтайландыру әдісі

Оптималды басқару мәселесі, екінші айнымалыларды олардың оптималды мәндерінің маңайында сақтау тәсілін табуға бағытталған, бұл кезде жүйенің параметрлерінің өзгеруі мен шектейтін әсерлердің салдарынан туындайтын флуктуацияларға қарамастан. Екінші айнымалылар басқару жүйесінің сапа критерийін сипаттау үшін қолданылады. Оптималды басқару мәселесі, осылайша, сапа

критерийін минимизациялау немесе максимизациялауға айналады. Көптеген оңтайландыру мәселелерін шешу әдістері арасында, әсіресе күрделі міндеттерді шешу кезінде, Понтрягиннің максимумы принципі мен Беллманның динамикалық бағдарламалау әдісі ең тиімді деп есептеледі. Сондықтан қозғалтқыш-компрессор жүйесін әрі қарай дамыту барысында, оңтайлы реттегіш алуды жоспарлаймыз. Понтрягиннің максимумы принципі кең ауқымды динамикалық процестер үшін оңтайлы шешім алудың стильді тәсілін ұсынады. Бұл принцип шектеулерге бағынатын функционалдың минимумын немесе максимумын табуды талап ететін оптимизация проблемасын шешуге мүмкіндік береді. Оңтайлы реттегішті есептеудің әдістерінің бірі – энергияны минимизациялау мәселесі. Бұл есептеу жүйені минималды энергия шығындарымен басқаруға қабілетті реттегіш алуға мүмкіндік береді, ал қайта реттеу қысымды көтеру компрессорлық станцияларында (ҚККС) жиі кездеседі. ҚККС-ның көбісі қалалар мен елді мекендерден алыс орналасқан, электр энергиясы жеткізілмейтін жерлерде болады. Электр энергиясы газ құбыры арқылы өтетін газды пайдаланып генераторлар арқылы өндіріледі, сондықтан станцияларда электр энергиясының шығыны мәселесі өте маңызды.

Көптеген практикалық маңызы бар басқару мәселелерінің ішіндегі энергияны минимизациялау мәселесі ерекше қызығушылық тудырады. Басқару әсерінің квадраты басқару үшін қажетті қуатқа пропорционалды болғандықтан және уақыт бойынша басқару сигналдарының квадратының интегралы оптималды басқару кезінде жұмсалған энергияның өлшемі ретінде қарастырылса, энергияны минимизациялау мәселесін интегралды минимизациялау мәселесі ретінде формулировкалауға болады.

Қорытынды

Жұмыс барысында процесс технологиялық схемасы зерттелді, функционалдық схемасы құрастырылды, компрессор есептелді, қозғалтқыш роторының айналымына байланысты компрессордың шығу қысымы тәуелділігі анықталып, құрастырылды, жүйенің коэффициенттері есептеле отырып, MATLAB бағдарламасында оның моделі жасалды. Модельдеу нәтижесінде жобаланған жүйенің көрсетілген техникалық талаптарға сәйкес келетіні, алынған модельдің шығыс сипаттамаларының тегіс екендігі, шығыс қысымында күрт секірістер туғызбайтыны және автоматты түрде қысымды реттей отырып, оператордың әрекетіне жауап беретіндігі анықталды.

Алғыс

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің қаржылық қолдауымен №BR24992956 «Газды сығымдау үшін инновациялық жабдықтар мен технологияларды әзірлеу және құру» тақырыбы аясында жүзеге асырылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Zheng J. Жоғары қысымды газ тәрізді сутекті сақтау технологияларын жасау. / Zheng J., Liu H., Xu P., Liu P., Zhao Yu., Jan J. // Халықаралық сутегі энергиясы журналы. 2012. №37 (1). Б. 1048-1057 (ағылшын тілінде)

2. *Aristides M. Bonanos. Тұзсыздандыруға арналған термокомпрессорды физикалық модельдеу. // Тұзсыздандыру. 2017. Т. 412. Б. 13-19 (ағылшын тілінде)*
3. *Mikaelyan E.A. Модификацияланған термодинамикалық модель негізінде компрессорлық қондырғылардың газ турбиналы газ компрессорлық қондырғыларын зерттеу. / Mikaelyan E.A., Mohammad S.A. // Халықаралық баламалы журналы. 2015. №17. Б. 1125-1131 (ағылшын тілінде)*
4. *Ahmad K. Sleiti. Экспандер компрессорлық қондырғымен басқарылатын жаңа термомеханикалық тоңазытқыш жүйесінің өнімділігін эксперименттік зерттеу. / Ahmad K. Sleiti, Wahib A. Al-Ammari, Mohammed Al-Khawaja, Ahmad T. Saker. // Қолданбалы жылу инжинирингі. 2022. Б. 212 (ағылшын тілінде)*
5. *Fischer F., Kuehl H.-D. Каскадты термокомпрессорлар арқылы сығылған ауаны генерациялау. // 19-шы Халықаралық Стирлинг қозғалтқышы конференциясы. E3S Web Conf., 2021. – Б. 313 (ағылшын тілінде)*
6. *9544-2005 МЕМСТ: Құбыр желілік арматура. Тығыздық нормалары мен сыныптары. М., 2005 (орыс тілінде)*
7. *5542-78 МЕМСТ: Табиғи жанғыш газдар өнеркәсіптік және коммуналдық тұрмыстық мақсатта: Техникалық шарттар. М., 1978 (орыс тілінде)*
8. *24.104-85 МЕМСТ: Автоматтандырылған басқару жүйелері үшін бірыңғай стандарттар жүйесі. Автоматтандырылған басқару жүйелері. М., 1985 (орыс тілінде)*
9. *Ahmad K. Sleiti. Төмен сортты жылумен жұмыс істейтін изобарикалық кеңейткіш компрессорлық қондырғысы бар біріктірілген термомеханикалық жүйесі-жобалау және талдау. // Ahmad K. Sleiti, Mohammed Al-Khawaja, Wahib A. Al-Ammari. // Халықаралық баламалы журналы. 2020. Т. 120. Б. 39-49 (ағылшын тілінде)*
10. *24.104-85 МЕМСТ: Автоматтандырылған басқару жүйелері үшін бірыңғай стандарттар жүйесі. Автоматтандырылған басқару жүйелері. М., 1985 (орыс тілінде)*

REFERENCES

1. *Zheng J. Development of technologies for storing hydrogen gas under high pressure. / Zheng J., Liu H., Xu P., Liu P., Zhao Yu., Jan J. // International Journal of Hydrogen Energy. 2012. №37 (1). P. 1048-1057 (in English)*
2. *Aristides M. Bonanos. Physical Modeling of Thermo-Compressor for Desalination Applications. // Desalination. 2017. Vol. 412. P. 13-19 (in English)*
3. *Mikaelyan E.A. Investigation of gas turbine gas pumping units of compressor stations based on a modified thermodynamic model. International Journal of Alternative Fuels. / Mikaelyan E.A., Mohammad S.A. // International Journal of Alternative Fuels. 2015. №17. P. 1125-1131 (in English)*
4. *Ahmad K. Sleiti. Experimental Investigation on the Performance of a Novel Thermo-Mechanical Refrigeration System Driven by an Expander-Compressor Unit. / Ahmad K. Sleiti, Wahib A. Al-Ammari, Mohammed Al-Khawaja, Ahmad T. Saker. // Applied Thermal Engineering. 2022. P. 212 (in English)*
5. *Fischer F., Kuehl H.-D. Generation of Compressed Air by Cascaded ThermoCompressors. // 19th International Stirling Engine Conference. E3S Web Conf., 2021. – P. 313 (in English)*
6. *GOST 9544-2005: Armatura truboprovodnaya zapornaya. Klassy i normy germetichnosti zatvorov. М., 2005 [GOST 9544-2005: Shut-off pipe fittings. Classes and standards of tightness of valves. М., 2005] (in Russian)*
7. *GOST 5542-78: Gazy goryuchie prirodnye dlya promyshlennogo i kommunal'no-bytovogo naznacheniya: Tekhnicheskie usloviya. М., 1978 [GOST 5542-78: Natural combustible gases for industrial and municipal purposes: Technical conditions. М., 1978] (in Russian)*
8. *GOST 24.104-85: Edinaya sistema standartov avtomatizirovannykh sistem upravleniya. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya. М., 1985 [GOST 24.104-85: Unified system of standards for automated control systems. Automated control systems. М., 1985] (in Russian)*
9. *Ahmad K. Sleiti. A Combined Thermo-Mechanical Refrigeration System with Isobaric ExpanderCompressor Unit Powered by Low Grade Heat – Design and Analysis// Ahmad K. Sleiti, Mohammed Al-Khawaja, Wahib A. Al-Ammari. // International Journal of Refrigeration. 2020. Vol. 120. P. 39-49 (in English)*
10. *GOST 24.104-85: Edinaya sistema standartov avtomatizirovannykh sistem upravleniya. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya. М., 1985 [GOST 24.104-85: Unified system of standards for automated control systems. Automated control systems. М., 1985] (in Russian)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Zheng J. Разработка технологий хранения газообразного водорода под высоким давлением. / Zheng J., Liu H., Xu P., Liu P., Zhao Yu., Jan J. // Международный журнал по водородной энергетике. 2012. №37 (1). С. 1048-1057 (на английском языке)*

2. *Aristides M. Vonaos. Физическое моделирование термокомпрессора для применения в опреснении воды. // Опреснение воды. 2017. Т. 412. С. 13-19 (на английском языке)*
3. *Mikaelyan E.A. Исследование газотурбинных газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций на основе модифицированной термодинамической модели. / Mikaelyan E.A., Mohamad S.A. // Международный журнал альтернативных видов топлива. 2015. №17. С. 1125-1131 (на английском языке)*
4. *Ahmad K. Sleiti. Экспериментальное исследование эффективности новой термомеханической холодильной системы с расширительно-компрессионным агрегатом. / Ahmad K. Sleiti, Wahib A. Al-Ammari, Mohammed Al-Khawaja, Ahmad T. Saker. // Прикладная теплотехника. 2022. С. 212 (на английском языке)*
5. *Fischer F., Kuehl H.-D. Получение сжатого воздуха каскадными термокомпрессорами. // 19-я Международная конференция по двигателям Стирлинга. E3S Web of Conferences, 2021. – С. 313 (на английском языке)*
6. *ГОСТ 9544-2005: Арматура трубопроводная запорная. Классы и нормы герметичности затворов. М., 2005 (на русском языке)*
7. *ГОСТ 5542-78: Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения: Технические условия. М., 1978 (на русском языке)*
8. *ГОСТ 24.104-85: Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. М., 1985 (на русском языке)*
9. *Ahmad K. Sleiti. Комбинированная термомеханическая установка с изобарическим расширительным компрессором, работающим на низкосортном тепле – проектирование и анализ. // Ahmad K. Sleiti, Mohammed Al-Khawaja, Wahib A. Al-Ammari. // Международный журнал холодильной техники. 2020. Т. 120. С. 39-49 (на английском языке)*
10. *ГОСТ 24.104-85: Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. М., 1985 (на русском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Басқанбаева Д.Ж., Ph.D докторы, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), d.baskanbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

Елемесов К.К., т.ғ.к., профессор, Энергетика және машинажасау институтының директоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), k.yelemessov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Татаева Ж.Қ., «Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы» мамандығының 1-курс докторанты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), z.tataeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0009-2874-1090>

Сабирова Л.Б., т.ғ.к., «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), l.sabirova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-8231-9944>

Information about the authors:

Baskanbayeva D., Ph.D Associate Professor of the Department of Technological Machines and equipment, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Yelemessov K., Candidate of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Tataeva Zh., 1st year doctoral student of the EP «Digital Engineering of Machines and Equipment», Senior Lecturer of the Department of «Technological Machines and equipment» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Sabirova L., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and equipment, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Басқанбаева Д.Д., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Елемесов К.К., к.т.н., профессор, директор Института энергетики и машиностроения, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Татаева Ж.К., докторант 1-го курса по ОП «Цифровая инженерия машин и оборудования», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Сабирова Л.Б., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)