Код МРНТИ 52.47.33

М.С. Молдабеков[1], *М.С. Бөкенова[2], Р.Д. Сүлей[1]
[1]Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан),
[2]Қ.И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты (Алматы қ., Қазақстан)

ҚҰБЫРӨТКІЗГІШТЕР МЕН ҰҢҒЫМАЛАРДА ГИДРАТ ПАЙДА БОЛУЫНЫҢ АЛДЫН АЛУ МЕН ГИДРАТ ТЫҒЫНДАРЫН ЖОЮ ӘДІСТЕРІНЕ ТАЛДАУ

Аңдатпа. Мақалада гидраттардың пайда болу себептері мен олардың алдын алу және гидрат тығындарын жою әдістері талданды. Гидрат түзілуінің алдын алудың ең оңтайлы әдісі метанолды және кинетикалық ингибиторларды қолдануды алдын ала газды кептірумен біріктіретін екі реагентті әдіс болып табылды. Бұл ретте ингибиторларды жеткізуді автоматтандыру дәрежесін арттыру және тасымалдау шығындарын азайту және улы ингибиторлардың төгілу жағдайларын жою мақсатында газ өндіру орындарында метанол синтезі үшін жылжымалы контейнерлік қондырғыларды пайдалану мүмкіндігін қарастыру қажет. Ал гидрат тығындарын жою үшін гидрат тығынының екі жағындағы газ құбырының учаскесіне қысымның төмендеуімен бір мезгілде ингибиторды енгізу оңтайлы шешім болады.
Түйінді сөздер: *гидрат, құбырөткізгіш, ұңғыма, газ, конденсат, тазалау, ингибитор, гидрат тығындары.*

Analysis of methods for preventing hydrate formation and removing hydrate plugs in pipelines and wells

Abstract. The article analyzed the causes of hydrate formation and methods for preventing and removing hydrate plugs. The most optimal method for preventing hydrate formation was established to be a two-reagent method combining the use of methanol and kinetic inhibitors with preliminary gas drying. At the same time, it is necessary to increase the degree of automation of the supply of inhibitors and consider the possibility of using mobile containerized methanol synthesis units at gas production facilities in order to reduce transportation costs and eliminate cases of spills of toxic inhibitors. And to eliminate hydrate plugs, the optimal solution would be the simultaneous introduction of an inhibitor with a reduction in pressure in the section of the gas pipeline on both sides of the hydrate plug.
Key words: *hydrate, pipeline, well, gas, condensate, cleaning, inhibitor, hydrate plugs.*

Анализ методов предупреждения гидратообразования и удаления гидратных пробок в трубопроводах и скважинах

Аннотация. В статье были проанализированы причины гидратообразования и методы по предупреждению и удалению гидратных пробок. Наиболее оптимальным методом предотвращения гидратообразования установлен двухреагентный метод, комбинирующий применение метанола и кинетических ингибиторов с предварительной осушкой газа. При этом требуется повысить степень автоматизации подачи ингибиторов и рассмотреть возможность использования мобильных контейнерных установок синтеза метанола на объектах добычи газа в целях сокращения транспортных расходов и исключения случаев разлива токсичных ингибиторов. А для ликвидации гидратных пробок оптимальным решением будет одновременный ввод ингибитора со снижением давления на участке газопровода по обе стороны от гидратной пробки.
Ключевые слова: *гидрат, трубопровод, скважина, газ, конденсат, очистка, ингибитор, гидратные пробки.*

Кіріспе

Кен орындарындағы қабат жағдайында газ қаныққан су буымен бірге кездеседі. Өндіріс кезінде қысымның біртіндеп төмендеуі байқалады, бұл өз кезегінде газ температурасының төмендеуіне әкеледі. Бұл жағдайда табиғи газ молекулалары сумен әрекеттесіп, қатты кристалды бөлшектер түзеді. Су буы конденсацияланып, ұңғыма мен газ құбырларында жиналады. Белгілі бір жағдайларда көмірсутекті газ компоненттерінің (метан, этан, пропан, бутан) әрбір молекуласы судың 6–17 молекуласын байланыстыруға қабілетті, мысалы, $CH_4 \cdot 6H_2O$; $C_2H_6 \cdot 8H_2O$; $C_3H_8 \cdot 17H_2O$. Осылайша, кристалды гидраттар деп аталатын қатты кристалды заттар түзіледі [1, 2]. Гидрат – судың көмірсутек газдары бар физикалық және химиялық қосылыстары. Сыртқы көрініс гидраттар сарғыш реңктері бар бос қарға немесе мұзға ұқсайды (1 сурет) [3]. Бұл тұрақсыз қосылыстар, сондықтан қыздырғанда немесе қысымды төмендеткенде олар тез газға және суға ыдырайды.

Жабдықтың гидратсыз жұмысы мына жағдайда мүмкін болады: $P \leq Pm$ және $T \geq Tm$, мұндағы Pm және Tm – гидрат түзілудің тепе-теңдік қысымы мен температурасы, олар тәжірибе арқылы анықталады. Оның үстіне қысым неғұрлым жоғары болса, соғұрлым Тт жоғары болады. Жоғары қысым жағдайында гидраттар критикалық деңгейден жоғары температурада болуы мүмкін емес. Гидраттардың түзілуіне көмірсутекті емес компоненттер мен табиғи газдың қасиеттері айтарлықтай әсер етеді. Күкіртсутек пен көмірқышқыл газының пайызының артуы гидрат түзілудің тепе-теңдік температурасының

Сурет 1. Құбырөткізгіштегі гидрат түзілімдері.
Figure 1. Hydrate formations in the pipeline.
Рис. 1. Гидратные образования в трубопроводе.

жоғарылауына және тепе-теңдік қысымының төмендеуіне әкеледі. Мысалы, 50 атм қысымда таза метан үшін гидрат түзілу температурасы 60 °С, ал H_2S жоғарылағанда ол 10 °С-қа жетеді. Құрамында азот бар табиғи газдардың гидрат түзілу температурасы төмен, өйткені гидраттардың тұрақтылығы төмендейді. Сұйық көмірсутекті газдарда гидраттардың түзілуі жоғары қысымды және төмен температураны қажет етеді [4]. Табиғи

газдардан айырмашылығы, сұйық көмірсутекті газдардағы гидраттардың бөлінуі жүйе қысымының жоғарылауымен (жабық көлемде) жүреді. Сонымен қатар, табиғи газдар сияқты, бұл жағдайда жылу бөлінеді, нәтижесінде жүйенің температурасы артады. Көлем тұрақты болып қалатындықтан, жүйедегі температура жоғарылаған сайын қысым да артады. Шаралар қабылданбаған жағдайларда гидрат тығындары пайда болып, ұңғымаларда және жоғары қысымды газ құбырларында үлкен апаттарға әкеледі.

Әдістер/зерттеулер

Табиғи газ гидраттарының пайда болуының алдын алу және күресу

Әр түрлі типтегі құбырлар мен кәсіпшілік аппараттарда гидрат түзілу процесімен күресудің негізгі әдістерін үш топқа бөлуге болады [5]:

1) химиялық – ингибиторларды қолдану (метанол, гликольдер және т. б.);

2) технологиялық – газды ыдырау температурасынан асатын температураға дейін қыздыру; қысымның төмендеуі; желіде тазалау; реагенттерді қолдану;

3) физикалық – қорғаныс жабындарын қолдану.

Гидрат түзілу ингибиторлары әсер ету принципі бойынша термодинамикалық, кинетикалық және реагенттік (антиагломеранттар) болып үш түрге бөлінеді [6].

Термодинамикалық әсердің ингибиторлары. Дәстүрлі түрде газ ағынына метанолдың, этиленгликольдің немесе диэтиленгликолдың көп мөлшерін қосу (жеткілікті жоғары концентрацияда) газ өндіру жүйелерінде гидрат түзілуін болдырмаудың ең кең таралған практикалық әдісі болды. Бұл химиялық заттар «термодинамикалық ингибиторлар» деп аталады және гидрат түзілу орындарын солға жылжытатын әсерге ие, гидраттардың солға жылжуына мүмкіндік береді, бұл гидрат түзілу нүктесінің төменгі температура және/немесе жоғары қысым аймағына ауысуына әкеледі. Мұндай ингибиторлар өте қымбат, улы және қоршаған ортаға зиянды [6, 7].

Кинетикалық әрекет ингибиторлары. Кинетикалық ингибитор кристалдардың өсуін ынталандырады және көмірсутектерді мұз кристалдық желісінде ұстайды, оларға су молекулаларының адсорбциясы арқылы әсер етеді және газ бен су молекулалары арасындағы химиялық байланысты болдырмайды. Бұл ингибиторлар тығыздығы төмен газ желілеріне қосылады [7]. Төмен температурамен жұмыс істейтін табиғи газды зауыттық өңдеу жүйелерінде, сондай-ақ тұрақты термодинамиалық тәртіпті сақтау мүмкін емес құбырлар мен резервуарларда кинетикалық әсер ингибиторларын қолдану тиімді емес, өйткені мұндай реагенттердің көпшілігі гидрат аймағына 30–50 градус немесе одан да көп түскен кезде гидрат түзілуін баяулата алмайды [7, 8].

Кинетикалық ингибиторларды қолдану дәстүрлі ингибиторлардың (метанол немесе гликольдер) қажеттілігін толығымен жоймайды. Біріншіден, оларды тек тұрақты күйде пайдалануға болады, екіншіден, оларды сенімді пайдалану үшін гидрат түзілудің басталуын уақтылы тануға мүмкіндік беретін жоғары сезімтал автоматты басқару құрылғылары мен жүйелері қажет, бұл дәстүрлі метанолға уақытша көшуді талап етеді. Осылайша, кез келген жағдайда ингибиторлардың кіруі мен шығарылуын қамтамасыз ету жүйесі «екі реагентті» болуы керек.

Антиагломеранттар. Антиагломеранттар гидрат кристалдарының адгезиясын төмендететін және олардың жабдықтың қабырғаларына жабысып қалуын болдырмайтын қосылыстар болып табылады. Антиагломеранттар ретінде көмірсутектерде еритін әртүрлі беттік белсенді заттар, мысалы, проксанол, сульфанол, катапин А, желатин ұсынылды. Дегенмен, қазіргі уақытта барлық технологиялық операциялардың толық циклін қамтитын, эмульсияларды жою кезеңін және көп фазалы қоспаның ағынының режимін үнемі бақылау әдістерін қамтитын енгізілген технологиялар жоқ [8]. Диспергаторларды пайдалану кезіндегі экологиялық қауіпсіздік мәселесі әлі де шешімін таппаған.

Айтарлықтай төмен қысымда газдың түрленуі. Гидрат диссоциациясының қисығы негізінде төмен қысым атмосфералық температураға эквивалентті қысымнан аз болатын құрылғыдағы қысымды ұстап тұру әдісін білдіреді. Төменгі суперсалқындату гидрат түзілу үшін қозғаушы күшті азайтып, ингибитордың дозасын шектей алады [9].

Ағынды қоспаны гидрат түзілу шегінен тыс ұстау үшін жылуды сақтау немесе енгізу үшін термиялық әдістер қолданылады. Жылуды ұстап тұру әдеттегі тәжірибе болып табылады және оқшаулау арқылы қол жеткізіледі. Әдетте, мұндай сақтау жүйелерін жобалау кезінде оқшаулаудың жоғары құны, жүйенің күтілетін өнімділігі және соған байланысты зиян деңгейі арасындағы тепе-теңдік сақталады. Күрделі шығындар мен технологиялық қиындықтардың жоғары деңгейіне қоса, ұзақ тоқтау кезінде гидрат түзілу аймағын енгізуден аулақ болу мүмкін емес еді. Дегенмен, қалыпты жұмыс жағдайында бұл әдетте гидраттың пайда болуына жол бермейді.

Дегидраторлар. Дегидраторларды пайдалану гидраттарды басқарудың балама жүйесін қажет етеді. Ылғалды күкіртті газда гидрат түзілуін тиімді бақылау үшін қажетті сусыздандыру жабдығының, компрессордың, басқару құралдарының, клапандардың және қондырғының құны 200 000 АҚШ долларын құрайды, бұл ретте дизель отынына, гликоль ысыраптарына, компрессорды пайдалану және жөндеуге арналған ағымдағы шығындары есепке алынбаған [9]. Сонымен қатар, ол жай ғана буды құрғатып, қышқыл конденсатты сіңіп қалған қалдырады. Алдыңғы зерттеулерден газ бен конденсат рекомбинацияланған кезде гидратация жағдайлары шынымен де болуы мүмкін екендігі анықталды.

Белсенді қыздыру. Парафин және гидрат тәуекел жүйелерінің жылу тиімділігін толықтыру үшін, әсіресе өшіру, іске қосу және кейбір жағдайларда қалыпты жұмыс кезінде белсенді құбырларды жылыту технологиялары әзірленді. Белсенді қыздыру электрлік жылытуды және қаптағы ыстық сұйықтықтың айналымын қыздыруды пайдаланады. Ағынды желілерде және көтергіштерде қуатты тұтынуды азайту үшін белсенді қыздыруға жылу оқшаулауды қосу керек [10]. Бұл ағындық желі жүйесі өндіріс жүйесіндегі қалыпты жұмыс және тоқтау жағдайлары кезінде гидрат түзілуін болдырмау немесе жою әдісін қамтамасыз ету үшін арнайы таңдалған. Оған қоса, құрылғы температурасын гидрат түзілу температурасынан ғана емес, сонымен

қатар парафиннің пайда болу температурасынан жоғары ұстау арқылы қыздырылған түтік конфигурациясы ағын желілерінде парафиннің жиналуын азайтады, бұл парафиннің жиналуын бақылау үшін қырғыштарды жүргізу қажеттілігін айтарлықтай жояды.

Газды құрғату. Гидраттардың пайда болуын болдырмаудың тиімді және сенімді әдісі – құбырға кірер алдында газды кептіру. Оны қалыпты газ тасымалдауды қамтамасыз ететін шық нүктесіне дейін жүргізу қажет. Әдетте, кептіру газ құбырындағы газдың ең төменгі мүмкін температурасынан 5–6 градус төмен шық нүктесіне дейін жүзеге асырылады [10]. Бұл жағдайда шық нүктесін таңдау техника-экономикалық мәселе болып табылады және газды кеніштен тұтынушыға дейін тасымалдаудың бүкіл жолында газбен жабдықтау сенімділігін қамтамасыз ету шартына сүйене отырып шешілуі керек.

Гидрат тығындарын жою үшін антигидрат ингибиторларын енгізу. Гидрат тығынының пайда болу орнын әдетте газ құбырының берілген учаскесіндегі қысымның төмендеуінің жоғарылауымен анықтауға болады. Егер тығын қатты болмаса, онда ингибитор құбырға арнайы құбырлар, манометрлерге арналған фитингтер немесе тазартқыш тығын арқылы енгізіледі. Қысқа ұзындықтағы қатты гидрат тығындарын дәл осылай жоюға болады [11]. Тығынның ұзындығы жүздеген метр болса, оны көрсетілген әдіспен жою ұзақ уақыт алуы мүмкін. Бұл жағдайда гидрат тығынының үстіндегі құбырда бірнеше терезелер кесіліп, олар арқылы метанол құйылады. Содан кейін құбыр қайтадан дәнекерленеді. Гидрат тығынын тез ыдырату үшін аралас әдіс қолданылады: гидрат түзілу аймағына ингибиторды енгізумен бір мезгілде қысым төмендетіледі.

Қысымды төмендету арқылы гидрат тығындарын жою. Бұл әдістің мәні гидраттардың тепе-теңдік күйін бұзу, нәтижесінде олардың ыдырауы болып табылады. Қысым үш жолмен төмендейді [11–12]:

1) газ құбырының тығын пайда болған бөлігін жауып, газды ауаға екі жағынан тазартқыш тығындар арқылы жібереді;

2) бір жағынан желілік клапанды жауып, тығын мен жабық клапандардың біреуі арасында орналасқан газды атмосфераға шығару;

3) тығынның екі жағындағы газ құбырының учаскесін жауып, тығын мен тығындау клапандарының біреуі арасындағы газды атмосфераға шығару.

Үлкен газ шығындарымен болса да ең жақсы нәтиже бірінші жағдайда алынады. Екінші және үшінші жағдайларда қысымның бір жақты төмендеуі апатқа әкелуі мүмкін. Гидраттар ыдырағаннан кейін ұңғыманы тазартады, бірақ бұл көбінесе тазартылған аймақта сұйық көмірсутектердің жиналу мүмкіндігін және температураның күрт төмендеуіне байланысты гидрат-мұз тығындарының қайталануын ескермейді. Нөлден төмен температурада қысымды төмендету әдісін қолдануға болмайды, өйткені гидраттардың ыдырауы нәтижесінде пайда болған су мұзға айналады және мұз тығынын құрайды. Бұл жағдайда қысымды төмендету әдісі ингибиторларды берілген температурада алынған ерітінді (енгізілген ингибитор және гидраттардың ыдырауы кезінде пайда болған су) қатып қалмайтындай мөлшерде құбырға енгізумен бірге қолданылады. Гидраттардың ыдырауы қысымның төмендеуімен ингибиторларды енгізумен бірге кез келген әдісті бөлек қолданғанға қарағанда әлдеқайда жылдам жүреді.

Табиғи және сұйытылған газ құбырларындағы гидрат тығындарын қыздыру әдісімен жою. Бұл әдіспен гидрат түзілудің тепе-теңдік температурасынан жоғары температураны арттыру олардың ыдырауына әкеледі. Іс жүзінде құбырлар жүйесі ыстық сумен немесе бумен жылытылады. Зертханалық зерттеулер гидраттардың тез ыдырауы үшін гидрат пен металдың жанасу нүктесіндегі температураны 30–40 °С дейін арттыру жеткілікті екенін көрсетеді. Тығынның орнын нақтылау үшін құбырларда тесіктер бұрғыланады, манометрі бар қысқыш орнатылып, қысым өлшенеді. Трассадағы қысымның өзгеруі негізінде тығынның орны анықталады. Газ құбырларында кір мен гидрат тығындарының жиналуын анықтаудың жылдам және арзан әдісі – радар әдісі [12]. Бұл әдісте антенналар газ құбырына арнайы тармақ (лубрикатор) арқылы енгізіледі, стандартты жылжымалы радиолокациялық станцияға қосылады және газ құбырының ұзындығы бойынша әрбір 20–40 км сайын орнатылады. Антеннадан гидрат тығынының пайда болу орнына дейінгі қашықтық бірнеше метрлік дәлдікпен анықталады.

Нәтижелер

Бұл әдіс құбырларды тазалау үшін қолданылатын «тырмақтың» қозғалысын бақылауда да өте тиімді. Радиосигналдарды пайдалана отырып, газ құбырында сұйықтықтың жиналуын да байқауға болады. Газ құбырларындағы гидрат-мұз және сұйық тығындардың орналасуын және қалыңдығын радиоизотопты құрылғылар арқылы құбырларды сканерлеу арқылы анықтау кезінде де жақсы нәтижелер алынады. Радиометриялық қондырғы құбыр бойымен қозғалады. Гидраттың орналасқан жерінде аспап көрсеткіштерінің күрт төмендеуі байқалады. Құбырға түскен сұйықтықтың жиналу орны мен оның қабатының қалыңдығы да анықталады.

Нәтижелерді талқылау

Ұңғымалар мен газ құбырларындағы гидраттардың түзілу мәселесі толық зерттелмегені анықталды, өйткені болжанбайтын әрекетке және газ гидраттарының түзілу процесін жеделдетуге немесе тепе-теңдік қисығын жоғары температураға жылжытуға қабілетті технологиялық сұйықтықтардың жаңа технологиялары мен жүйелері енгізілуде. Ұңғыманы жуу және сынау кезінде сораптық-компрессорлық құбырларда гидрат түзілу жағдайлары белгілі. Ұңғыманың төменгі түп аймағын метанолмен өңдеу және оны ағынға қосу тиімсіз, өйткені жуу кезінде оны тежеуге жеткілікті концентрациядағы метанол қолданылады, содан кейін оның концентрациясы айтарлықтай төмендейді және гидраттың өсу процесін күшейте бастайды.

Қорытынды

Сонымен, алыс қашықтықтан тасымалданатын метанол көлемін азайтуға метанолды тұтынуды оңтайландыру, оның тиімділігін арттыратын қосымша компоненттерді қосу, сондай-ақ газ өндіру орындарында шағын көлемде

метанол синтезіне арналған жылжымалы контейнерлік қондырғыларды және басқа компоненттерді орналастыру арқылы қол жеткізуге болады. Бұл ретте ингибиторларды беруді автоматтандыру дәрежесін арттыру және гидраттың түзілуін болдырмау және гидрат тығындарын жою үшін метанолдың берілуін автоматты басқаруды қамтамасыз ететін алгоритмдер кешенін әзірлеу қажет, бұл газ жинау және тасымалдау жүйелерінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Газ құбырларындағы гидрат тығындарын жою үшін гидрат тығынының екі жағындағы қысымды төмендететін ингибиторды бір уақытта енгізу оңтайлы шешім болып қала береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Катаев К.А. Табиғи газ құбырөткізгіштеріндегі гидрат пайда болуы // Ғылыми басылымдардың Бүкілресейлік журналы. 2011. № 1 (2). Б. 22–23 (орыс тілінде)*
2. *Грунвальд А.В. Метанолды гидрат түзілу ингибиторы ретінде газ өнеркәсібінде пайдалану және оны 2030 жылға дейін тұтыну болжамы // «Мұнай және газ бизнесі» электронды ғылыми журналы. 2007. № 2. Б. 29–37 (орыс тілінде)*
3. *Слоан Э.Д. Гидрат парадигмасын қорқыныштан тәуекелден аулақ болуға және басқаруға өзгерту // Сұйық фазалық тепе-теңдік. 2005. Т. 228–229. Б. 67–74 (ағылшын тілінде)*
4. *Абдул А., Таракан Т., Сара А. Табиғи газ құбырларында метан гидраттарының түзілуін болдырмау – Кешенді шолу // Мұнай химиясы және табиғи газ халықаралық журналы. 2022. № 2 (3). Б. 98–107 (ағылшын тілінде)*
5. *Мусакаев Н.Г., Уразов Р.Р. Құбырлардағы гидраттардың пайда болуымен күресу үшін гидрат фазасының термодинамикалық тұрақсыздығын құру әдістерін теориялық зерттеу // Қазіргі ғылым. 2013. № 1 (12). Б. 7–12 (орыс тілінде)*
6. *Тұрақты химиядағы газ гидраттары / Хассанпурьюзбанд А. [және т.б.] // Химия қоғамының шолулары. 2020. Шығ. 49 (15). Б. 5225–5309 (ағылшын тілінде)*
7. *Эсаклул К.А., Фунг Г., Харрисон Г. (2003, мамыр). Терең су құбырларында ағынды реттеу үшін белсенді қыздыру // Оффшорлық технологиялар конференциясы, Хьюстон, Техас, 2003 жылғы 5–8 мамыр. № 56 (06). Б. 123–145 (ағылшын тілінде)*
8. *Рахматуллин Д.Р., Фахрисламова Э.Ш., Краснов А.Н. Газ кенішіндегі құбырлардағы гидраттардың пайда болуын болдырмау әдістерін қарастыру // Кәсіпорындардағы электрлік жетек, электр технологиялары және электр жабдықтары: конф. ғыл. мақалаларының жинағы. Уфа, 2015. № 7. 48–57 (орыс тілінде)*
9. *Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В. Узловое кен орны мысалында газ ұңғымаларын пайдалану кезінде гидрат түзілуінің алдын алу және жою әдістері // Ғылым. Техника. Технологиялар. 2017. № 2. Б. 82–108 (орыс тілінде)*
10. *Дәрібаев Ю.А., Кабдушев А.А. Амангелді кен орнында гидраттың түзілуін алдын алу және онымен күресу // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2022. Т. 4. № 3. Б. 76–83 (қазақ тілінде)*
11. *Краснов А.Н., Федоров С.Н. Уренгой мұнай-газ конденсат кен орнының (МГТП) газконденсат ұңғымаларының және шлейфтерінің технологиялық параметрлерін телеметриялық бақылау жүйесі // Технологиялық процестер мен өндірісті басқару және автоматтандыру мәселелері: Бүкілресейлік ғылыми-техникалық конф. жинағы. Уфа, 2010. № 3 (2). Б. 60–65 (орыс тілінде)*
12. *Белькень И., Ронай Л. Ингибиторлардың мөлшерлеу жүйесін реттеу // XXVIII microCAD халықаралық пәнаралық ғылыми конференциясы, Мишкольц университеті, Венгрия, 2016. № 8. Б. 253–261 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. *Kataev K.A. Gidratoobrazovanie v truboprovodah prirodnogo gaza [Hydrate formation in natural gas pipelines], Vserossijskij zhurnal nauchnyh publikacij [All-Russian Journal of Scientific Publications]. 2011. No. 1 (2). 22–23 pp. (in Russian)*
2. *Grunval'd A.V. Ispol'zovanie metanola v gazovoj promyshlennosti v kachestve ingibitora gidratoobrazovanija i prognoz ego potreblenija v period do 2030 g. [Use of methanol in the gas industry as an inhibitor of hydrate formation and forecast of its consumption in the period up to 2030], Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo» [Electronic scientific journal «Oil and Gas Business»]. 2007. No. 2. 29–37 pp. (in Russian)*
3. *Sloan E.D. A changing hydrate paradigm – from apprehension to avoidance to risk management // Fluid Phase Equilibria. 2005. V. 228–229. 67–74 pp. (in English)*
4. *Abdul Ameen, Tharakan Thadil, Sara Amani. Preventing the Formation of Methane Hydrates in Natural Gas Transmission Pipelines – A Comprehensive Review // International Journal of Petrochemistry & Natural Gas. 2022. No. 2 (3). 98–107 pp. (in English)*

5. *Musakaev N.G., Urazov R.R. Teoreticheskoe issledovanie metodov sozdanija termodinamicheskoj nestabil'nosti gidratnoj fazy dlja bor'by s gidratoobrazovaniem v truboprovodah [Theoretical study of methods for creating thermodynamic instability of the hydrate phase to combat hydrate formation in pipelines], Sovremennaja nauka [Modern Science]. 2013. No. 1 (12). 7–12 pp. (in Russian)*
6. *Gas hydrates in sustainable chemistry / Hassanpouryouzband A. [et al.] // Chemical society reviews. 2020. No. 49 (15). 5225–5309 pp. (in English)*
7. *Esaklul K.A., Fung G., Harrison. G. Active heating for flow assurance control in deepwater flowlines // Offshore Technology Conference, Houston, Texas, May 5–8, 2003. No. 56 (06). 123–145 pp. (in English)*
8. *Rahmatullin D.R., Fahrislamova Je.Sh., Krasnov A.N. Obzor metodov preduprezhdenija gidratoobrazovanija v truboprovodah gazovyh promyslov [Review of methods for preventing hydrate formation in gas field pipelines], Jelektroprivod, jelektrotehnologii i jelektrooborudovanija predprijatij: sb. nauch. tr. konf. [Electric drive, electrical technologies and electrical equipment of enterprises: collection of scientific papers from the Ufa Conf.], Ufa, 2015. No. 7. 48–57 pp. (in Russian)*
9. *Berezovskij D.A., Kusov G.V., Savenok O.V. Metody preduprezhdenija i likvidacii gidratoobrazovanija pri jekspluatacii gazovyh skvazhin na primere mestorozhdenija Uzlovoe [Methods of preventing and eliminating hydrate formation during operation of gas wells using the example of the Uzlovoe field], Nauka. Tehnika. Tehnologii [Science. Technology. Technologies]. 2017. No. 2. 82–108 pp. (in Russian)*
10. *Daribaev Ju.A., Kabdushev A.A. Prevention and removal of hydrate formation at the Amangeldy gas field // Kazakhstan journal for oil & gas industry. 2022. V. 4. No. 3. 76–83 pp. (in Kazakh)*
11. *Krasnov A.N., Fedorov S.N. Sistema telemetricheskogo kontrolja tehnologicheskih parametrov gazokondensatnyh skvazhin i shlejfov urengojskogo NGKM (SKTP) [Telemetry control system for technological parameters of gas condensate wells and pipelines of the Urengoy oil and gas condensate field (SKTP)], Problemy upravlenija i avtomatizacii tehnologicheskih processov i proizvodstv [Problems of control and automation of technological processes and production], collection of works of the All-Russian scientific and technical conf. Ufa, 2010. No. 3 (2). 60–65 pp. (in Russian)*
12. *Bölkény I., Rónai L. Regulation of an Inhibitor Dosing System // XXVIII microCAD Internacional Multidisciplinary Scientific Conference, University of Miskolc, Hungary, 2016. No. 8. 253–261 pp. (in English)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Катаев К.А. Гидратообразование в трубопроводах природного газа // Всероссийский журнал научных публикаций. 2011. № 1 (2). С. 22–23 (на русском языке)*
2. *Грунвальд А.В. Использование метанола в газовой промышленности в качестве ингибитора гидратообразования и прогноз его потребления в период до 2030 г. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2007. № 2. С. 29–37 (на русском языке)*
3. *Слоан Э.Д. Изменение парадигмы гидратов – от опасений до избегания и управления рисками // Равновесие жидкой фазы. 2005. Т. 228–229. 2005. С. 67–74 (на английском языке)*
4. *Абдул А., Таракан Т., Сара А. Предотвращение образования гидратов метана в трубопроводах транспортировки природного газа – комплексный обзор // Международный журнал нефтехимии и природного газа. 2022. № 2 (3). С. 98–107 (на английском языке)*
5. *Мусакаев Н.Г., Уразов Р.Р. Теоретическое исследование методов создания термодинамической нестабильности гидратной фазы для борьбы с гидратообразованием в трубопроводах // Современная наука. 2013. № 1 (12). С. 7 – 12 (на русском языке)*
6. *Газовые гидраты в устойчивой химии / Хассанпурьюзбанд А. [және т.б.] // Обзоры химического общества. 2020. Вып. 49 (15). С. 5225–5309 (на английском языке)*
7. *Эсаклул К.А., Фунг Г., Харрисон Г. Активный нагрев для контроля обеспечения потока в глубоководных трубопроводах // Конференция по оффшорным технологиям, Хьюстон, Техас, 5–8 мая 2003. № 56 (06). С. 123–145 (на английском языке)*
8. *Рахматуллин Д.Р., Фахрисламова Э.Ш., Краснов А.Н. Обзор методов предупреждения гидратообразования в трубопроводах газовых промыслов // Электропривод, электротехнологии и электрооборудования предприятий: сб. науч. тр. конф. Уфа, 2015. № 7. С. 48–57 (на русском языке)*
9. *Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В. Методы предупреждения и ликвидации гидратообразования при эксплуатации газовых скважин на примере месторождения Узловое // Наука. Техника. Технологии . 2017. № 2. С. 82–108 (на русском языке)*

10. *Дарибаев Ю.А., Кабдушев А.А. Предупреждение и удаление гидратообразования на месторождении Амангельды // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2022. Т. 4. № 3. С. 76–83 (на казахском языке)*
11. *Краснов А.Н., Федоров С.Н. Система телеметрического контроля технологических параметров газоконденсатных скважин и шлейфов уренгойского НГКМ (СКТП) // Проблемы управления и автоматизации технологических процессов и производств: сб. тр. Всероссийской научн.-технической конференции. Уфа, 2010. № 3 (2). С. 60–65 (на русском языке)*
12. *Белькень И., Ронай Л. Регулирование системы дозирования ингибиторов // Международная междисциплинарная научная конференция XXVIII microCAD, Университет Мишкольца, Венгрия, 2016. № 8. С. 253–261 (на английском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:
Молдабеков М.С., Ph.D докторы, «Мұнай инженериясы» кафедрасының қауым. профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), *m.moldabekov@satbayev.university;* https://orcid.org/0000-0002-1623-0324
Бөкенова М.С., техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Қ.И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты (Алматы қ., Қазақстан), *bukenova77@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0002-2224-6453
Сүлей Р.Д., «Мұнай инженериясы» кафедрасының магистранты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), *rustem.suley.pe@gmail.com;* https://orcid.org/0009-0005-8391-4709

Information about the authors:
Moldabekov M.S., Ph.D, Associate Professor at the Department of Petroleum engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)
Bukenova M.S., Master of Technical Sciences, researcher, Institute of geological sciences named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)
Suley R.D., master's student of the Department of Petroleum engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:
Молдабеков М.С., доктор Ph.D, ассоц. профессор кафедры «Нефтяная инженерия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)
Букенова М.С., магистр технических наук, научный сотрудник, Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)
Сулей Р.Д., магистрант кафедры «Нефтяная инженерия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)