

УДК 622.279.72

М.П. Овчинніков, канд. техн. наук, доцент
К.А. Ганушевич, аспірант.
К.С. Сай, інженер
(ДВНЗ «НГУ»)

УТИЛИЗАЦІЯ ШАХТНОГО МЕТАНУ ДЕГАЗАЦІЙНИХ СВЕРДЛОВИН ТА ЙОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ У ТВЕРДОМУ СТАНІ

М.П. Овчинніков, канд. техн. наук, доцент,
К.А. Ганушевич, аспірант,
Е.С. Сай, інженер
(ГВУЗ «НГУ»)

УТИЛИЗАЦИЯ ШАХТНОГО МЕТАНА ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН И ЕГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

M.P. Ovchinnikov, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
K.A. Ganushevych, Doctoral Student
K.S. Sai, M.S. (Tech.)
(SHEE "NMU")

THE MINE METHANE UTILIZATION FROM DEGASSING WELLS AND ITS TRANSPORTATION IN A SOLID STATE

Анотація. Обґрунтовано необхідність вирішення проблеми, пов'язаної зі значними викидами газу дегазаційних свердловин у навколишнє природне середовище. Авторами статті пропонується нове альтернативне технологічне рішення, що включає переведення шахтного метану в газогідратний стан і подальше транспортування газу у твердому стані. У зв'язку з цим проаналізовано можливість отримання газогідратів з газових сумішей різноманітного складу. Проведено експериментальні дослідження процесу гідратоутворення та отримано зразки змішаних газових гідратів. Визначено залежності тиску гідратоутворення від температури для вибраних водно-газових сумішей, що були використані у ході лабораторних досліджень. Розглянуто характерні етапи, що виникають у процесі утворення газогідратів: поява центрів кристалізації газових гідратів та безпосередній ріст кристалогідратів навколо центрів кристалізації. Проаналізовано вплив зважених речовин, що містяться у шахтних водах, на швидкість утворення центрів кристалізації газогідратів. Враховано ступінь мінералізації води при проведенні серії експериментів. Обґрунтовано переваги транспортування газу у формі газових гідратів. Проведено порівняння перевезення природного газу у зрідженому та газогідратному (твердому) станах: проаналізовано тиск, температуру та вміст газу у одиниці об'єму речовини.

Ключові слова: газовий гідрат, процес гідратоутворення, дегазаційна свердловина, центри кристалізації, ефект самоконсервації газогідрату.

Постановка проблеми. Аналіз розробки вугільних родовищ в сучасних умовах показує необхідність нових рішень низки проблем щодо забезпечення безпеки експлуатації шахт, комплексного освоєння мінеральних ресурсів та захисту навколишнього природного середовища. До таких проблем належить і проблема утилізації шахтного метану, що викидається на поверхню різними способами дегазації, а також виноситься вентиляційним повітряним струменем на поверхню землі. Діяльність вугільно-промислового комплексу України сьогодні контролюється багатьма нормативно-правовими актами, серед яких особливе місце займає газ метан вугільних пластів [1].

Сучасні технології видобутку вугілля підземним способом призводять до того, що до атмосфери надходить величезна кількість вуглеводню, а це, безумовно, є актуальною проблемою не тільки вугільної промисловості, а всієї країни. Питанню переробки метану вугільних родовищ присвячено безліч наукових робіт [2-5]. Тому отримання газових гідратів з шахтного газу дегазаційних свердловин на сьогодні є одним з найбільш перспективних напрямів наукових досліджень. Розробка потрібної технології значно покращить економічну та екологічну ситуацію в Україні.

У складі газу, що надходить на поверхню з дегазаційних свердловин, вміст метану коливається від 2 до 95%. Дебіти свердловин також змінюються в широкому діапазоні. У зв'язку з цим постає завдання знайти такий спосіб утилізації шахтного газу, для якого хімічний склад не був би жорсткою умовою. На наш погляд таким способом є переведення газової суміші дегазаційної свердловини у твердий стан, тобто утворення газових гідратів. Газогідратна технологія зберігання і транспортування природного газу є реальною перспективою майбутнього, оскільки в 1 м^3 газового гідрату міститься близько 200 м^3 метану, якому не характерно самозаймання, притаманне метану у вільному або зрідженому станах. Розробка методу отримання газогідратів з шахтної метаноповітряної суміші та технології його транспортування є досить актуальними в даний час і економічно доцільними при розробці вугільних родовищ [6]. Комплексний підхід дозволить об'єднати технологію видобутку вугілля та метану в єдину систему, підвищить рентабельність вугільних шахт, безпеку праці та забезпечить енергетичну незалежність нашої держави.

Теоретичне та практичне обґрунтування способу утворення змішаних газових гідратів з газової суміші дегазаційних свердловин. Відомим фактом є те, що газові гідрати утворюються та стабільно існують в широкому діапазоні температур і тисків. Але кожен окремий газ характеризується строго певними параметрами тиску й температури стабільного існування гідрату. Процес утворення газогідрату визначається складом газу, станом води та її мінералізацією, зовнішнім тиском і температурою.

Для прогнозування умов утворення газових гідратів окремих газів і складних природних газових сумішей використовуються різні аналітичні методи, в основу яких покладено застосування емпіричних констант, отриманих з різною точністю і припущеннями.

Природні гази, що складаються із сумішей окремих компонентів, утворюють змішані газові гідрати. При цьому одночасно утворюються кристали, хара-

ктерні як для метану, так і для інших газів, що входять до складу газової суміші. Тобто для умов газоповітряних сумішей дегазаційних свердловин слід застосовувати поняття змішаних газогідратів [7].

При гідратоутворенні виділяють два характерних етапи:

- утворення центрів кристалізації газового гідрату;
- сорбційний ріст кристалогідрату навколо центрів кристалізації.

Процес зародження центрів кристалізації зазвичай відбувається на межі «газ-вода» за умови повного насичення газу вологою, тому для утворення газових гідратів важливо знати вологовміст газу і зміну його в різних термодинамічних умовах. Так, вологовміст природного газу зростає з підвищенням температури, знижується зі збільшенням тиску і зменшується також із збільшенням їх молекулярної маси і солоності води, що необхідно враховувати при обґрунтуванні параметрів процесу гідратоутворення змішаних газових гідратів з газових сумішей різноманітного генезису. Швидкість утворення кристалів газогідрату визначається тиском і ступенем переохолодження процесу. З ростом тиску швидкість утворення кристалів зростає. Зі збільшенням ступеня переохолодження до $-1...-2^{\circ}\text{C}$ їх швидкість утворення різко зростає, а при подальшому збільшенні переохолодження повільно падає. У якості кінетичної характеристики першого етапу розглядається індукційний період гідратоутворення – час, протягом якого у вихідній метастабільній системі експериментально виявляються стійкі центри кристалізації нової стабільної фази.

Після виникнення центрів кристалізації газогідратів слідує наступна стадія гідратоутворення – масова кристалізація. Під масовою кристалізацією розуміють одночасне зростання великого числа центрів кристалізації, що утворилися. Зростання кристалогідрату починається на вільній поверхні «газ-вода». Воно характеризується високою швидкістю, яка визначається кінетичними параметрами та інтенсивністю відводу тепла, що виділяється при кристалізації. Після утворення гідратної плівки процес утворення газового гідрату переходить в об'ємно-дифузійну стадію. Швидкість утворення гідрату визначається інтенсивністю дифузії гідратоутворювача до поверхні кристалогідрату [8].

Проте утворення газових гідратів є складним та довгим процесом і завдання значно ускладнюється при утворенні гідратів з газової суміші різноманітного складу. Для вирішення даної задачі була сконструйована лабораторна установка для створення штучних газогідратів та вивчення їх властивостей.

Дослідження процесу гідратоутворення проводилися з приготованих газових та водних сумішей. До розгляду були прийняті 4 газові суміші, склад яких наведено в табл. 1. Ґрунтуючись на існуючих даних шахт Західного Донбасу, також було приготовано 4 зразки води з різним хімічним складом (табл. 2).

При проведенні експериментів було створено 4 водно-газові суміші (табл. 1 і табл. 2). Змішувалася перша газова суміш з першою водною, друга – з другою і т.д. Залежності тиску гідратоутворення від температури для даних водно-газових сумішей представлені на рис. 1.

Таблиця 1 – Склади досліджуваних газових сумішей, (молярні доли)

Номер суміші	Метан CH ₄	Етан C ₂ H ₆	Пропан C ₃ H ₈	Бутан C ₄ H ₁₀	Вуглекислий газ CO ₂	Азот N ₂
1	0,9	0,008	0,015	0,0078	0,5	0,11
2	0,76	0,06	0,04	0,007	0,003	0,2
3	0,56	0,028	0,014	0,007	0,009	0,3
4	0,5	0,28	0,03	0,007	0,17	0,4

Таблиця 2 – Хімічний склад приготованої мінералізованої води для лабораторних досліджень

Номер суміші	Мінералізація, мг/л	K+Na, мг/л	Ca, мг/л	Mg, мг/л	Cl, мг/л	SO ₄ , мг/л
1	10	0,5	1	3	5	0,5
2	20	0,5	2	2	10	5,5
3	30	0,5	1	3	15	10
4	40	1	3	3	20	13

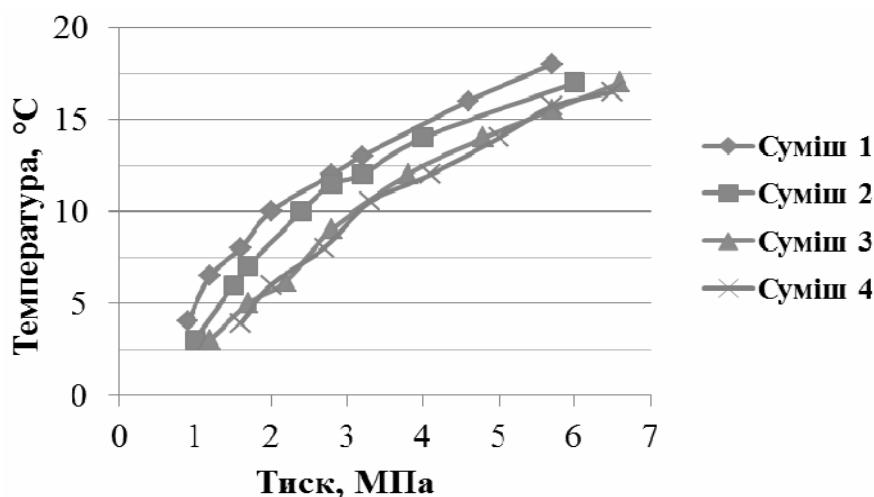


Рисунок 1 – Параметри процесу утворення газових гідратів

Зразки змішаних газових гідратів, що отримані з різних газових та водних сумішей, представлені на рис. 2.

При розробці способу отримання газових гідратів у промисловості одним з головних завдань є прискорення процесу гідратоутворення. На теперішній час в експериментальному вивченні кінетики гідратоутворення існує два принципово відмінних напрями: перший, – коли дослідження проводяться за відсутності вимушеного перемішування, тобто підвид гідратоутворюючих компонентів відбувається у результаті дифузії, а відведення тепла, що виділяється при фазовому переході тепла, – за законами теплопровідності; і другий напрямок (динамічний режим), – коли вплив дифузії та теплопровідності знімається шляхом перемішування речовини. Перевагою першого напрямку є можливість дослідження процесу гідратоутворення на етапі зародження центрів кристалізації, а також можливість проведення візуальних спостережень та кінетико-морфологічних досліджень.

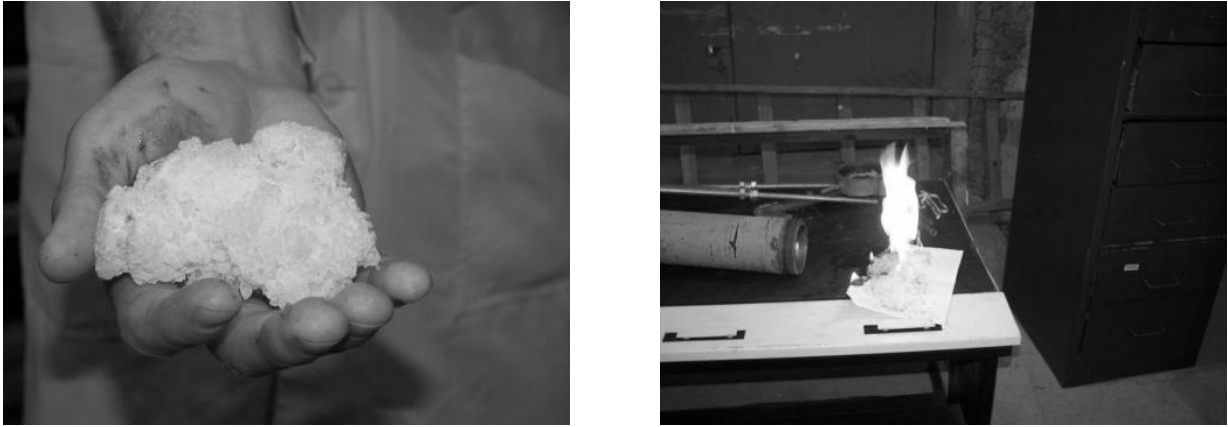


Рисунок 2 – Газогідрати, отримані в лабораторних умовах

До першого напрямку відносяться дослідження, у ході яких встановлено, що: швидкість утворення центрів кристалізації на поверхні вільної води в залежності від ступеня переохолодження має дзвоноподібний характер з максимумом, що залежить від величини тиску; радіальна швидкість поверхнево-контактного зростання гідрату по порядку величини складає 0,1-0,7 мм/с в діапазоні тисків 55-125 кг/см² і ступеня переохолодження 0...-10°C.

Оцінка часу переходу крижаної кульки в гідрат при припущенні про те, що кінетика гідратоутворення визначається швидкістю дифузії газу через гідрат, дає величину такого ж порядку, що дозволяє стверджувати наступне:

1. На поверхні льоду в присутності газу виникають зародки газогідратів, на яких внаслідок того, що тиск парів води над гідратом менше, відбувається конденсація парів води, що утворюються в результаті сублімації крижаних кристаліків, і перехід її в гідрат, поки весь лід не випарується і не перейде в гідрат;

2. Після утворення на поверхні льоду в присутності газу зародків газових гідратів подальший перехід льоду в гідрат відбувається у результаті дифузії газу через шар гідрату, що утворився – лімітуючим є останній.

При отриманні газогідратів з використанням мінералізованої води необхідно враховувати ступінь мінералізації даної води, яка змінює термобаричні умови утворення газових гідратів. Зважені речовини в шахтних водах представлені вугільними і породними частинками, речовинний склад яких відповідає складу вугілля, що видобувається, та вміщуючих порід. Зольність суспензії, що отримується в результаті аналізу осаду, як правило, змінюється від 20 до 80%, причому із зменшенням розмірів частинок вона збільшується. Найбільш тонкі суспензії представлені в основному глинистими частинками.

У результаті експериментів [9] з'ясувалося, що наявність зважених частинок самих дрібних розмірів (менше 5 мкм) у суспензії (які не осідають), являється додатковими центрами кристалізації газових гідратів, що прискорює процес їх утворення. Але дана інформація вимагає більш детального вивчення.

Обґрунтування способу транспортування газу в твердому газогідратному стані. При розробці способу транспортування природного газу на першому місці повинні стояти фактори безпеки та економічності. На теперішній момент розглядаються два варіанти: у стані газових гідратів та в зрідженому стані. Другий спосіб здобув більш широке використання, але лише тому, що використан-

ня ефекту самоконсервації газових гідратів на промисловому рівні ще не до кінця вивчено. І завдяки саме цьому ефекту природний газ можна перевозити в твердому газогідратному стані при атмосферному тиску та від'ємних температурах.

Самоконсервація газових гідратів відома як дуже повільне розкладання гідрату, коли зовнішній тиск опускається нижче рівноважного значення для системи «газ-лід-газовий гідрат» при температурі нижче нуля градусів і, як наслідок, на поверхні гідрату формується крижана кірка, що суттєво знижує швидкість дисоціації гідрату. Ця властивість газогідратів являється критичною і відіграє суттєво важливу роль при обґрунтуванні параметрів їх транспортування в умовах атмосферного тиску і температур нижче нуля градусів Цельсія.

Дослідження показали, що тільки наявність кірки на поверхні газового гідрату є недостатньою умовою. Також потрібно враховувати роль таких факторів, як співвідношення між тиском і температурою, мікроструктура льоду, швидкість утворення кристалів льоду, склад газу. Комбінація цих чинників призводить до ефекту, при якому утворення досить тонкої кірки створює достатній дифузійний бар'єр для молекул газу, що вивільняються [10].

Імовірно, що вивільнені молекули газу розчиняються в примежовому шарі між льодом і газогідратом, підтримуючи необхідну хімічну активність для стабільності останнього, таким чином, крижаній кірці не потрібен високий тиск. Отже, самоконсервація повинна розглядатися як складне явище, в якому частина газового гідрату, що піддається впливу зовнішніх факторів, витрачається аби сформувати захисну крижану кірку.

Необхідно відзначити, що наукове обґрунтування явища самоконсервації газових гідратів мало вивчено у всьому світі. Використання цього явища в технологічному процесі все ще становить задачу і вимагає подальших теоретичних і експериментальних досліджень.

Як вже було відзначено, при розгляді способу перевезення природного газу на першому місці має стояти фактор безпеки та економічної ефективності. З цього приводу у табл. 3 наведено порівняння двох способів транспортування газу.

Таблиця 3 – Порівняння властивостей газових гідратів та газу у зрідженому стані

Характеристика	Газові гідрати	Зріджений природний газ
Стан	твердий (порошок, таблетки)	рідкий
Вміст газу в 1 м ³	170 м ³ газу + 0,8 м ³ води	600 м ³ газу
Температура, °С	-20°С	-162°С
Питома вага	0,85-0,95	0,42-0,47

З табл. 3 очевидно, що газові гідрати можуть транспортуватися при більш високій температурі, ніж газ у зрідженому стані. Це дозволяє говорити про економічність такого способу транспортування. Також можна виділити і такі пере-

ваги як капітальні та експлуатаційні витрати, енергоємність, викиди парникових газів при формуванні та транспортуванні, і, найголовніше, безпека при перевезенні газу, оскільки можливість раптового вибуху зводиться до нуля.

Термобаричні умови для стабільного існування газових гідратів при низьких тисках і температурах (ефект самоконсервації), представлені в табл. 4.

Таблиця 4 – Умови стабільного існування газових гідратів при ефекті самоконсервації

Тиск, МПа	Температура, °С
0,1	-30...0
0,5	-17...0
1,0	-10
1,5	-11
2,0	-3
2,5	не існує

Слід відмітити, що для транспортування газу у вигляді газових гідратів потрібні спеціальні герметичні ємності. Під час транспортування гідратів потрібно контролювати тиск і температуру всередині ємності, щоб не дозволити розтанути крижаній кірці на поверхні гідратів. Як вже було зазначено, транспортування гідратів можна здійснювати навіть при атмосферному тиску та температурі нижче нуля градусів Цельсія. Отже, потрібно застосовувати активне охолодження простору, в якому знаходяться газові гідрати, для підтримки потрібної температури перевезення.

Висновки:

1. Обґрунтовано той факт, що в теперішній час у вугільній промисловості України існує суттєва проблема, пов'язана з викидами шахтного метану в атмосферу, тим самим погіршуючи екологічний стан країни. У зв'язку з цим авторами статті пропонується альтернативне технологічне рішення, що включає переведення шахтного метану в газогідратний стан і його подальше транспортування у твердому газогідратному стані.

2. Авторами статті приведені теоретичні та практичні дослідження стосовно обґрунтування параметрів технології утворення змішаних газових гідратів з газових сумішей дегазаційних свердловин. Встановлено, що на параметри утворення газогідратів прямий вплив має склад газової суміші.

3. Проведені експерименти зі створення газових гідратів з газових сумішей різного складу та встановлені термобаричні параметри процесу гідратоутворення з використанням води різноманітного мінералогічного складу. Встановлено, що наявність зважених частинок у суспензії являється додатковими центрами кристалізації газових гідратів, що прискорює процес їх утворення.

4. Вивчено механізм процесу гідратоутворення та розглянуто його два характерних етапи: утворення центрів кристалізації газового гідрату та сорбційний ріст кристалогідрату навколо центрів кристалізації. У зв'язку з цим, для прискорення утворення газогідратів використовувалось механічне перемішування водо-газової суміші.

5. Порівняно параметри способів транспортування природного газу. Акцент зроблено на технології перевезення газу у твердому газогідратному стані за рахунок ефекту самоконсервації, який є більш безпечним та економічно доцільним при порівнянні термобаричних параметрів перевезення газових сумішей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України про газ (метан) вугільних родовищ №1392-VI [Чинний від 2009-06-19]. – Офіц. вид. – К.: Верховна Рада України, 2009. – 14 с.
2. Булат, А.Ф. К проблеме энерготехнологической переработки метана угольных месторождений / А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис // Уголь Украины. – 2002. – №5. – С. 6-9.
3. Конарев, В.В. Метан угольных месторождений – пора заняться им всерьез. / В.В. Конарев // Уголь Украины. – 2000. – №2. – С. 3–7.
4. Булат, А.Ф. Направления энерготехнологической переработки метана угольных месторождений / А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 32. – С. 67-74.
5. Кузаря, С.В. Извлечение шахтного метана и защита окружающей среды / С.В. Кузаря, И.Д. Дрозник, Ю.С. Кафтан, Ю.Б. Должанская // Уголь Украины. – 2005. – №6. – С. 13-15.
6. Ovchynnikov, M. Methodology of gas hydrates formation from gaseous mixtures of various compositions / M. Ovchynnikov, K. Ganushevych, K. Sai // Mining of mineral deposits / CRC Press, Balkema. – Netherlands, 2013. – vol. 4. – P. 203-205.
7. Scientific bases of methods and technologies of gas hydrates deposits underground mining / V. Bondarenko, E. Maksymova, K. Ganushevych, K. Sai, M. Illiashov // 23 World Mining Congress: Materials of the conference, 11-15 August 2013. – Montréal, Canada: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2013. – P. 80.
8. Brown, T.D. Rapid gas hydrate formation processes: Will they work? / T.D. Brown, C.E. Taylor, M.P. Bernardo // Energies. – 2010. – Vol. 3. – P. 1154-1175.
9. Королева, В.Н. Научное обоснование и разработка технологических решений по повышению безопасности горных работ на базе эффективной дегазации с утилизацией метана на основе газогидратных процессов: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.26.03; 25.00.36: защищена 25.11.2005 / Королева, В.Н. – Москва: МГУ, 2005. – 38 с.
10. Педченко, Л.О. Термобаричні умови самоконсервації природних та штучних газогідратів у залежності від їх пористості / Л.О. Педченко, М.М. Педченко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна / Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна. – Харків, 2012. – Вип. 997. – С. 218-222.

REFERENCES

1. Verkhovna Rada of Ukraine (2009), 1392-VI: *Zakon Ukrainy pro gaz (metan) vugilnykh rodovyshch* [1392-VI: Law of Ukraine about gas (methane) of coal deposits], Verkhovna Rada of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
2. Bulat, A.F. and Chemeris, I.F. (2002), “On the problem of energy-technological processing of coal seams methane”, *Ugol Ukrainy*, no. 5, pp. 6-9.
3. Konarev, V.V. (2000), “Coal deposits methane – time to handle them seriously”, *Ugol Ukrainy*, no. 2, pp. 3-7.
4. Bulat, A.F. and Chemeris, I.F. (2005), “Direction of energotechnological processing of coal deposits methane”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 32, pp. 67-74.
5. Kuzaria, S.V., Droznik, I.D., Kaftan, Yu.S. and Dolzhanskaia, Yu.B. (2005), “Extraction of mine methane and environmental protection”, *Ugol Ukrainy*, no. 6, pp. 13-15.
6. Ovchynnikov, M., Ganushevych, K. and Sai, K. (2013), “Methodology of gas hydrates formation from gaseous mixtures of various compositions”, *Balkema, CRC Press*, vol. 4, pp. 203-205.
7. Bondarenko, V., Maksymova, E., Ganushevych, K., Sai, K. and Illiashov, M. (2013), “Scientific bases of methods and technologies of gas hydrates deposits underground mining”, *23 World Mining Congress*, Montréal, Canada, 11-15 August 2013, pp. 80.
8. Brown, T.D., Taylor, C.E. and Bernardo, M.P. (2010), “Rapid gas hydrate formation processes: Will they work?”, *Energies*, vol. 3, pp. 1154-1175.
9. Koroleva, V.N. (2005), Scientific substantiation and development of technological solutions to improve of safety of mining based on effective degasification with utilization of methane on basis of gas hy-

drate processes, Abstract of Ph.D. dissertation, fire and industrial safety, Moscow State Mining University, Moscow, Russia.

10. Pedchenko, L.O. and Pedchenko, M.M. (2012), "Thermobaric conditions of selfconservation of natural and artificial gas hydrate depending on their porosity", *Visnyk Kharkivskogo natsionalnogo universytetu imeni V.N. Karazina*, no.997, pp. 218-222.

Про авторів

Овчинніков Микола Павлович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри підземної розробки родовищ, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпропетровськ, Україна, kosganush@gmail.com

Ганушевич Костянтин Анатолійович, аспірант кафедри підземної розробки родовищ, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпропетровськ, Україна, kosganush@gmail.com

Сай Катерина Сергіївна, асистент кафедри підземної розробки родовищ, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпропетровськ, Україна, katernyna.sai@gmail.com

About the authors

Ovchinnikov Mykola Pavlovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Associate Professor of the underground mining department, State higher educational institution "National Mining University" (SHEE "NMU"), Dnipropetrovsk, Ukraine, kosganush@gmail.com

Ganushevich Kostyantyn Anatoliyovych, Doctoral Student of the underground mining department, State higher educational institution "National Mining University" (SHEE "NMU"), Dnipropetrovsk, Ukraine, kosganush@gmail.com

Say Kateryna Sergiivna, Assistant of the underground mining department, State higher educational institution "National Mining University" (SHEE "NMU"), Dnipropetrovsk, Ukraine, katernyna.sai@gmail.com

Аннотация. Обоснована необхідність рішення проблеми, пов'язаної з значительними выбросами газа дегазационных скважин в окружающую природную среду. Авторами статьи предлагается новое альтернативное технологическое решение, включающее перевод шахтного метана в газогидратное состояние и дальнейшее транспортирование газа в твердом состоянии. В связи с этим проанализирована возможность получения газогидратов из газовых смесей различного состава. Проведены экспериментальные исследования процесса гидратообразования и получены образцы смешанных газовых гидратов. Определены зависимости давления гидратообразования от температуры для выбранных водно-газовых смесей, которые были использованы в ходе лабораторных исследований. Рассмотрены характерные этапы, возникающие в процессе образования газогидратов: появление центров кристаллизации газовых гидратов и непосредственный рост кристаллогидратов вокруг центров кристаллизации. Проанализировано влияние взвешенных веществ, содержащихся в шахтных водах, на скорость образования центров кристаллизации газогидратов. Учтена степень минерализации воды при проведении серии экспериментов. Обоснованы преимущества транспортировки газа в форме газовых гидратов. Проведено сравнение перевозки природного газа в сжиженном и газогидратном (твердом) состояниях: проанализировано давление, температуру и содержание газа в единице объема вещества.

Ключевые слова: газовый гидрат, процесс гидратообразования, дегазационная скважина, центры кристаллизации, эффект самоконсервации газогидратов.

Abstract. A necessity to overcome a problem associated with significant emissions of gas from degassing wells into the environment is substantiated. The authors of the paper propose a new alternative technological solution that includes conversion of the mine methane into a gas hydrate state with further gas transporting in a solid state. In connection with this, a possibility of creating the gas hydrates from various gaseous mixtures is analyzed. Dependences were revealed between pressure and temperature of hydrate formation for water-gas mixtures chosen for the laboratory studies. The following specific stages occurred during the gas hydrate formation are considered: formation of

crystallization centers and growth of the crystalline hydrate around these centers. Impact of suspended matters in the mine waters on the rate of the crystallization center formation is analyzed. Water salinity degree was taken into account in the experiments. Advantages of gas transporting in a state of gas hydrates are grounded. Technology of transporting natural gas in a liquid state versus transporting in the gas hydrate state is compared by such parameters as gas pressure, temperature and quantity in one volumetric unit of the substance.

Key words: gas hydrate, process of gas hydrate formation, degassing well, crystallization centers, self-conservation effect.

Статья поступила в редакцию 10.03.2014

Статья рекомендована к печати д-ром техн. наук В.А. Барановым

УДК 622.647.2:681.5

Т.И. Жигула, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ВЛИЯНИЕ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КАНАТНОГО СТАВА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Т.І. Жигула, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

ВПЛИВ РУХОМОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАДІЙНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ КАНАТНОГО СТАВУ СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

T.I. Zhigula, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

IMPACT OF MOVING LOADS ON RELIABILITY AND OPERATING LIFE OF THE ROPE LINE IN THE BELT CONVEYER

Аннотация. В статье рассмотрены возможности возникновения внезапных и постепенных отказов канатного става в процессе эксплуатации ленточного конвейера.

Проведены исследования динамики канатов става под действием подвижной нагрузки - ленты с грузом. Получены формулы для расчета амплитуд и частот циклических нагрузок, действующих на стойки става, что дает возможность определить вероятность усталостных разрушений элементов става за заданный промежуток времени, а также определить их геометрические характеристики, обеспечивающие надежность из условия сохранения усталостной прочности. Исследовано влияние натяжения канатов на частоты их поперечных колебаний и величину усилий, действующих на опоры става, получены соотношения параметров, которые могут привести к внезапным отказам става, обусловленным потерей его устойчивости.

Полученные результаты дают возможность на стадии проектирования конвейера подобрать его конструктивные и эксплуатационные параметры, не допускающие потери устойчивости става и обеспечивающие сохранение его усталостной прочности на протяжении всего срока эксплуатации конвейера.

Ключевые слова: ленточный конвейер, подвижная нагрузка, надежность канатного става.

© Т.И. Жигула, 2014