



УДК 621.791.035

ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНГІБІТОРІВ ГІДРАТІВ У ЗАХИСТІ ГАЗОПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

М. В. Петруняк,

кандидат технічних наук, доцент, кафедра видобування нафти газу та геотехніки,
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

С. Ю. Кулакова,

кандидат економічних наук, доцент, кафедра економіки підприємства та управління персоналом,
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

У статті проаналізовано проблеми гідратування, які виникають при технологічних процесах видобутку, підготовки та транспорту газу. Розглянуто можливість використання нового реагенту «РЕНА-Кристал», як добавки до метанолу, для попередження гідратування на газоконденсатних родовищах. Викладено результати розрахунку антигідратних властивостей «РЕНА-Кристал». За результатами промислових випробувань продемонстровано ефективність використання нового інгібітора для попередження гідратування в системі підготовки на Яблунівській установці комплексної підготовки газу. Результати промислових випробувань підтвердили ефективність застосування «РЕНА-Кристал» для попередження утворення гідратів.

Ключові слова: гідратування, інгібітор, метанол, газопромислове обладнання, ефективність використання.

TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF USE OF HYDRATE INHIBITOR FOR GASINDUSTRIAL PROTECTION EQUIPMENT

M. Petrunyak,

Ph.D., assistant Professor, Department of gas, oil and geotechnics,
Poltava National Technical University named after Yuriy Kondratyuk.

S. Kulakova,

Ph.D., assistant Professor, Department of economics enterprise and management personnel,
Poltava National Technical University named after Yuriy Kondratyuk.

The article analyzes the problems of hydrate formation, which arise in the process of extraction, preparation and transport of gas. The possibility of using a new reagent «RENA-Crystal», as an additive to methanol to prevent hydrate formation in the gas condensate fields. The results of the calculation antigidratnyh properties of «RENA-Crystal». According to the results of industrial tests demonstrated the effectiveness of using a new inhibitor for the prevention of hydrate formation in the training system to Yablunivska comprehensive gas treatment unit. industrial test results confirmed the effectiveness of the «RENA-Crystal» to prevent the formation of hydrates.

Keywords: hydrate inhibitor, methanol, gasindustrial equipment, efficiency of use.

Постановка проблеми. У технологічних процесах видобутку, підготовки та транспорту газу тверді газові гідрати викликають серйозні проблеми, пов'язані з порушенням технологічних процесів [1].

У загальному випадку утворення газових гідратів обумовлено наявністю в потоці газу водної фази, яка за певних термобаричних

умовах у газопроводі здатна утворювати з компонентами газу тверді снігоподібні клатратні сполуки кубічної структури переважно з ван-дер-ваальсовим характером взаємодій [3]. Процес утворення гідратів залежить від фізико-хімічних характеристик газу [1]. Імовірність гідратування збільшується з підвищенням тиску і зниженням температури [3].

Утворення гідратів у привибійній зоні викликає падіння дебіту свердловини на 18-19% для початкової температури нижче рівноважної на 2 К [22]. Найбільш сприятливі умови для утворення газових гідратів створюються при неконтрольованому викиді пластової води, що надходить в газотранспортну систему з газом зі свердловин родовища.

Гостро стоїть питання підготовки газу для його транспортування по газопроводах великої протяжності [4, 6], особливо на ділянках з високими швидкостями потоку середовища. Крім того, гідрати закупорюють частково або повністю прохідний переріз труби, що призводить до виникнення зон із підвищеним тиском. При продавлюванні газогідратної пробки на газорозподільних станціях можуть виникнути умови для газодинамічного удару, котрий є одним із механізмів стрімкого руйнування трубопроводів.

Гідратоутворення призводить до серйозних ускладнень при експлуатації газових родовищ та навіть великих аварій. Таким чином, запобігання цих ускладнень при знижених експлуатаційних витратах є актуальною науково-технічною та виробничою проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях вітчизняних і зарубіжних вчених Аксентєва О.О., Баснієва К.С., Гуліянца С.Т., Єгорової Г.І., Істоміна В.О., Істоміна О.М., Соловйова В.О. Сулейманова Р.С., Ходаковського В. та інших досліджуються питання ефективності методів боротьби з техногенним гідратоутворенням в свердловинах, системах збору і промислової підготовки природних і попутних нафтових газів. Детально досліджено вплив інгібіторів на зрушення фазової рівноваги газових гідратів, методики розрахунку норм витрати термодинамічних інгібіторів різного складу. Особливий інтерес викликають обговорення інгібіторів гідратів різних класів – як інгібіторів гідратоутворення (термодинамічних і кінетичних), так і інгібіторів гідратовідкладення. Однак, на даний час питання підвищення ефективності використання інгібіторів різного складу з позицій зниження витрат в сучасних умовах ускладнення умов функціонування підприємств нафтогазового комплексу та з врахуванням впливу науково-технічного прогресу все ще залишаються актуальними.

Постановка завдання. Основною метою даного дослідження є вивчення шляхів підвищення ефективності використання інгібіторів гідратів для захисту газопромислового обладнання від гідратоутворень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для уникнення проблеми гідратоутворення,

потрібно усунути хоча б одну з головних умов існування гідратів: низьку температуру, високий тиск або високу вологість газу.

На даний момент, в світі існує ряд методів боротьби з гідратами, що уже утворилися: хімічні, теплові та механічні. Для попередження гідратоутворення в потік газу вводяться інгібітори, проводиться осушення газу від парів води, температура газу підтримується вищою температури гідратоутворення, а тиск нижче тиску гідратоутворення.

Але найефективнішим для попередження гідратоутворення є метод введення в потік газу інгібіторів.

Інгібіторами можуть бути електроліти, гліколі, спирти. Вони розчиняються у воді, яка є в потоці газу, і значно знижують тиск парів води. В такому випадку гідрати можуть утворюватися, але при низькій температурі. Інгібітори можна вводити і при наявності гідратів, що вже утворилися. Вони знижують тиск парів води, порушується рівновага гідрати-вода, пружність парів води над гідратами стає більшою, ніж над водним розчином, а це сприяє їх розкладанню. На практиці використовують такі антигідратні інгібітори, як діетиленгліколь (ДЕГ), хлористий кальцій та ін.

Проте найбільш поширеним антигідратним реагентом, який використовується як для попередження гідратоутворення, так і для ліквідації гідратних відкладень, є метанол [2]. Використання метанолу як інгібітора гідратоутворення ґрунтується на зміні рівноважних умов гідратоутворення у водних розчинах в бік низьких температур, тим самим запобігається утворення гідратів при заданих термобаричних умовах. Крім того, широке застосування метанолу в якості інгібітора гідратоутворення на газовидобувних підприємствах обумовлено наступними причинами:

- відносно низька вартість (порівняно з іншими інгібіторами);
- найвища серед відомих інгібіторів антигідратна активність, що зберігається навіть при низьких температурах;
- дуже низька температура замерзання розчинів метанолу і виключно мала їх в'язкість навіть при температурах нижче -50°C ;
- некорозійність метанолу та його водних розчинів;

Проте використання інгібіторів на основі метанолу має ряд серйозних недоліків [3], до яких належать:

- дуже висока токсичність (як при дії парів, так і при попаданні на шкіру і всередину організму), а також висока пожежонебезпека;

- можливість випадання солей при змішуванні з сильно мінералізованою пластовою водою і, як наслідок, солевідкладення в промислових комунікаціях;
- прискорене зростання кристалогідратів у присутності розбавлених водних розчинів метанолу у недостатній концентрації для попередження гідратів;
- дуже висока летючість парів метанолу [3].

Показники ефективності роботи систем збору та підготовки транспорту газу, покращення екологічних характеристик напряду пов'язані із розробленням економічних технологій використання метанолу, що актуально для газової промисловості.

Основні вимоги для сучасного інгібітору мають бути такими:

- 1) низьке дозування інгібітору;
- 2) екологічна безпека;
- 3) низька токсичність і пожежонебезпека;
- 4) сумісність з морською і пластовою водою;
- 5) відсутність потреби у спеціальних заходах зберігання і транспортування.

Таким вимогам відповідає високоефективний інгібітор гідратоутворення «РЕНА – Кристал» (концентрат). Він використовується у вигляді 3-5%-го розчину пакету присадок, який розчиняється в метанолі, та призначений для запобігання обмерзання внутрішніх поверхонь газопроводів та утворення гідратних пробок при видобутку та транспортуванні газу. Крім цього інгібітор гідратоутворення «РЕНА – Кристал» (концентрат) має антикорозійні властивості та є інгібітором асфальто-смолистих відкладень (АСПВ).

Інгібітор «РЕНА – Кристал» забезпечує у порівнянні з метанолом в 2,5–4 рази меншу норму витрат, не викликає корозію газопромислового устаткування. Крім того, він належить до IV класу небезпечних речовин та розкладається у ґрунті, не забруднюючи його.

Використання інгібітора гідратоутворення «РЕНА-Кристал» (концентрат) на газопромислах дає можливість:

- забезпечити зменшення питомих витрат інгібітора гідратоутворення в порівнянні з метанолом та, як наслідок, здешевлення транспортних витрат по доставці інгібітора;
- забезпечити антикорозійний захист внутрішніх поверхонь газопровода та обладнання;
- зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій екологічного характеру; шкідливі викиди в атмосферу та ґрунт та, як наслідок, плату за викиди.

Основні фізико-хімічні показники інгібітора «РЕНА – Кристал» наведені в таблиці 1.

Питання доцільності промислового випробування реагенту «РЕНА-Кристал» (3% розчин у метанолі) для захисту газопромислового обладнання від гідратоутворень було досліджено на установці комплексної підготовки газу (УКПГ) Яблунівського родовища (рис.1).

Дослідно-промислові випробування на Яблунівській УКПГ проводились у відповідності до затвердженої головним інженером ГПУ «Полтавагазвидобування» Програми випробувань та договору. Для проведення випробувань взятий інгібітор гідратоутворення «РЕНА-Кристал» (концентрат) за ТУ У 24.1-30084964-006:2005 виробництва НВК «Галичина», для чого в порожню розхідну ємність Е-17 ($V=25 \text{ м}^3$) закачано $13,968 \text{ м}^3$ інгібіторного розчину, в тому числі 400 л інгібітора гідратоутворення «РЕНА-Кристал» (концентрат) та $13,568 \text{ м}^3$ метанолу.

Регулювання (зменшення) подачі інгібітора гідратоутворення «РЕНА-Кристал» проводилось за допомогою зменшення частотного перетворювача на насос Н-6-9. Контрольними параметрами роботи УКПГ визначено:

- параметри роботи свердловин ;
- тиск і температура газу на ВВН ;
- тиск газу 1-ого ступеня сепарації – P_1 ;
- тиск газу 2-ого ступеня сепарації – P_2 ;
- витрата газу (продуктивність УКПГ) – Q_i ;
- витрата інгібіторного розчину – Q_i ;
- температура сепарації – t_c .

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники якості інгібітора «РЕНА – Кристал»

№ з/п	Назва показника	Норма за техумовами
1	Зовнішній вигляд	Рідина від світлого до світло-коричневого кольору
2	Густина при температурі $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, г/см^3 , в межах	від 0,791 до 0,830
3	Вміст органічних кисневмісних сполук, %	не менше 92
4	Масова частка нелетких речовин, %	від 3 до 7
5	Кислотне число, мг КОН на 1г. продукту	від 1,5 до 5,5
6	Захисна здатність, %	не менше 80

Таблиця 2 – Розрахунок економії витрат матеріалів в результаті впровадження технології видобутку газу із використанням реагенту «Рена-Кристал»

Період	Базова технологія				Запропонована технологія					
	Витрати метанолу, т	Вартість метанолу, тис. грн.	Всього матеріальних витрат з урахуванням непрямих та транспортних витрат, тис. грн.	Витрати матеріалів, т	В тому числі		Вартість метанолу, тис. грн.	Вартість реагенту «Рена-Кристал», тис. грн.	Всього матеріальних витрат, тис. грн.	Всього матеріальних витрат з урахуванням непрямих та транспортних витрат, тис. грн.
					реагенту «Рена-Кристал», т.	Метанолу, т				
2016	4650,500	181369,50	209481,77	1978,936	59,37	1919,57	74863,15	41557,66	116420,80	134466,03
2017	4938,975	192620,03	222476,13	2101,691	63,05	2038,64	79506,97	44135,51	123642,48	142807,07
2018	5201,000	202839,00	234279,05	2231,191	66,94	2164,26	84405,96	46855,01	131260,97	151606,42
2019	5460,175	212946,83	245953,58	2323,478	69,70	2253,77	87897,17	48793,04	136690,21	157877,19
2020	5781,910	225494,49	260446,14	2460,387	73,81	2386,58	93076,44	51668,13	144744,57	167179,98
2021	6020,760	234809,64	271205,13	2561,025	76,83	2484,19	96883,58	53781,53	150665,10	174018,19
2022	6216,000	242424,00	279999,72	2645,106	79,35	2565,75	100064,36	55547,23	155611,59	179731,38
2023	6388,763	249161,76	287781,83	2718,622	81,56	2637,06	102845,47	57091,06	159936,53	184726,69
2024	6544,125	255220,88	294780,11	2784,734	83,54	2701,19	105346,49	58479,41	163825,90	189218,92
2025	6672,295	260219,51	300553,53	2839,274	85,18	2754,10	107409,74	59624,75	167034,49	192924,84
2026	6814,638	265770,88	306965,37	2899,845	87,00	2812,85	109701,14	60896,75	170597,88	197040,55
Всього	64689,141	2522876,50	2913922,36	27544,289	826,33	26717,96	1042000,45	578430,07	1620430,52	1871597,25
Всього економія матеріальних витрат, тис. грн.										1042325,10

Таблиця 3 – Розрахунок економії витрат на експлуатацію техніки та транспорту, необхідних для проведення операцій в результаті впровадження технології видобутку газу із використанням реагенту «Рена-Кристал»

Період	Базова технологія			Запропонована технологія			Економія річних експлуатаційних витрат, грн.
	Витрати метанолу, т	Час виконання операції, год.	Всього витрат на експлуатацію техніки, тис. грн.	Витрати матеріалів, т	Час виконання операції, год.	Всього витрат на експлуатацію техніки, тис. грн.	
2016	4650,500	27,19	11420,36	1978,936	11,57	4859,73	6560,63
2017	4938,975	28,88	12128,77	2101,691	12,29	5161,18	6967,59
2018	5201,000	30,41	12772,23	2231,191	13,05	5479,20	7293,04
2019	5460,175	31,93	13408,70	2323,478	13,59	5705,83	7702,87
2020	5781,910	33,81	14198,79	2460,387	14,39	6042,04	8156,75
2021	6020,760	35,20	14785,34	2561,025	14,97	6289,18	8496,16
2022	6216,000	36,34	15264,80	2645,106	15,47	6495,66	8769,14
2023	6388,763	37,35	15689,06	2718,622	15,90	6676,19	9012,86
2024	6544,125	38,26	16070,58	2784,734	16,28	6838,55	9232,04
2025	6672,295	39,01	16385,33	2839,274	16,60	6972,48	9412,85
2026	6814,638	39,84	16734,89	2899,845	16,96	7121,23	9613,66
Всього	64689,141	378,235	158858,85	27544,289	161,051	67641,247	91217,61

Таблиця 4 – Зведені показники економії поточних витрат підприємства від впровадження технології видобутку газу із використанням реагенту «Рена-Кристал»

Період	Матеріальні витрати, тис. грн.			Витрати на експлуатацію техніки, тис. грн.			Всього економія витрат, тис. грн.
	Базова технологія видобутку	Технологія із використанням реагенту «Рена-Кристал»	Річна економія витрат	Базова технологія видобутку	Технологія із використанням реагенту «Рена-Кристал»	Річна економія витрат	
2016	209481,77	134466,03	75015,74	11420,36	4859,73	6560,63	81576,37
2017	222476,13	142807,07	79669,06	12128,77	5161,18	6967,59	86636,66
2018	234279,05	151606,42	82672,63	12772,23	5479,20	7293,04	89965,67
2019	245953,58	157877,19	88076,39	13408,70	5705,83	7702,87	95779,26
2020	260446,14	167179,98	93266,16	14198,79	6042,04	8156,75	101422,91
2021	271205,13	174018,19	97186,94	14785,34	6289,18	8496,16	105683,11
2022	279999,72	179731,38	100268,34	15264,80	6495,66	8769,14	109037,48
2023	287781,83	184726,69	103055,13	15689,06	6676,19	9012,86	112068,00
2024	294780,11	189218,92	105561,19	16070,58	6838,55	9232,04	114793,23
2025	300553,53	192924,84	107628,69	16385,33	6972,48	9412,85	117041,55
2026	306965,37	197040,55	109924,82	16734,89	7121,23	9613,66	119538,48
Всього	2913922,36	1871597,25	1042325,10	158858,85	67641,25	91217,61	1133542,71

Дослідно-промислові випробування було проведено в три етапи, які виявили наступне:

1) на I етапі випробування витрата інгібіторного розчину була зменшена в 2,0 рази; при цьому спостерігалась нормальна робота установки;

2) на II етапі випробування витрата інгібіторного розчину була зменшена в 2,1 рази; при цьому спостерігалась нормальна робота установки;

3) на III етапі випробування витрата інгібіторного розчину була зменшена в 2,6 рази; при цьому спостерігалась нормальна робота установки.

За результатами досліджень було проведено економічні розрахунки на прогнозний період (глибина прогнозу – 10 років), які підтверджують ефективність використання інгібітора гідратуутворення «Рена-Кристал» (табл. 2).

Таким чином, у результаті проведення техніко-економічної оцінки ефективності використання реагенту «Рена-Кристал» на Яблунівській УКПГ було виявлено, що дане впровадження є ефективним не лише в технологічному, але й в економічному аспекті, адже за результатами проведених розрахунків ми бачимо зведені показники економії поточних витрат підприємства, які є основними показниками економічної оцінки, що найбільш об'єктивно відображає економічні результати реалізації проекту за розглянутий період 2016-

2026 рр. економія складає більш ніж 1,13 млрд. грн.

Висновки. Згідно аналізу представлених результатів було обґрунтовано, що досліджуваний реагент «Рена-Кристал», який є добавкою до чистого метанолу у розмірі 3%, ефективно знижує витрату інгібітору порівняно з традиційним методом. Врахувавши одержані результати досліджень можна стверджувати, що витрата метанолу на даному об'єкті зменшаться в 2,6 рази.

Зважаючи на той факт, що на родовищах, які перебувають на пізніх стадіях розробки, витрата метанолу з кожним роком збільшується, використання даного реагенту в якості добавки до метанолу у кількості 3% є досить перспективною.

Література

1. Истомин А.Н. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа / Истомин А.Н., Квон В.Г. - М.: ООО «ИРЦ ГАЗПРОМ», 2004. – С. 509.
2. Литовченко А.В. Опис структур утворення газових гідратів / А. В. Литовченко // Тези міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку нафтогазового комплексу». – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – С. 79-80.
3. Бухгалтер Э.Б. Метанол и его использование в газовой промышленности / Э.Б. Бухгалтер. - М.:Недра, 1986. – С. 238.

В статтє проанализированы проблемы гидратообразования, которые возникают при технологических процессах добычи, подготовки и транспорта газа. Рассмотрена возможность использования нового реагента «РЕНА-Кристалл», в качестве добавок к метанолу для предупреждения гидратообразования на газоконденсатных месторождениях. Изложены результаты расчета антигидратных свойств «РЕНА-Кристалл». По результатам промышленных испытаний продемонстрирована эффективность использования нового ингибитора для предупреждения гидратообразования в системе подготовки на Яблунувской установке комплексной подготовки газа. Результаты промышленных испытаний подтвердили эффективность применения «РЕНА-Кристалл» для предупреждения образования гидратов.

Ключевые слова: гидратообразование, ингибитор, метанол, газопромышленное оборудование, эффективность использования.

Відомості про авторів:

Петруняк Мирин Валентинівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра видобування нафти газу та геотехніки, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24.

Кулакова Світлана Юріївна, кандидат економічних наук, доцент, кафедра економіки підприємства та управління персоналом, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24.