

## РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПХГ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

<sup>1</sup>Шиповалов А.Н., <sup>2</sup>Земенкова М.Ю., <sup>2</sup>Шпилевой В.А., <sup>2</sup>Александров М.А.,  
<sup>2</sup>Пономарева Т.Г.

<sup>1</sup> Лонг-Юганское ЛПУ МГ, ООО «ГазпромтрансгазЮгорск» (Россия, г. Югорск, ул. Мира, д. 15, Ханты-Мансийский АО, Тюменская область, 628260), [shipovalov\\_nir@mail.ru](mailto:shipovalov_nir@mail.ru)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Россия (625000, Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: [muzemenkova@mail.ru](mailto:muzemenkova@mail.ru)

Проведен анализ перспектив и проблем проведения научных разработок для развития предупреждения гидратообразования при эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ). Показана актуальность проблемы борьбы с гидратообразованием в системе газоснабжения РФ. Для разработки мероприятий по обеспечению бесперебойной работы газотранспортной системы были проведены промышленные исследования. Определены причины образования гидратов эксплуатации ПХГ в сезон отбора. Авторами разработан современный метод, который бы позволял надежно устранять проблему гидратообразования и уменьшить негативные последствия. Разработанный метод был апробирован в режиме эксплуатации ПХГ «закачки газа», подачей метанола на забой шести проблемных скважин. Анализ целесообразности применения новой технологии проведен по эксплуатационным данным с учетом информации по расходу газа на технологические нужды. Реализация перспективной технологии позволяет наряду с экономическим эффектом улучшить экологическую характеристику ПХГ.

Ключевые слова: гидратообразование, подземное хранилище газа, предупреждение гидратообразования, надежность, резервирования, газотранспортная система, метанол, газовое месторождение

## DEVELOPMENT OF POWER RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES AT OPERATION OF UGS OF THE GAS TRANSMISSION SYSTEM

<sup>1</sup>Shipovalov A.N., <sup>2</sup>Zemenkova M. Y., <sup>2</sup>Shpilevoi V.A., <sup>2</sup>Alexandrov M. A., <sup>2</sup>Ponomareva T.G.

<sup>1</sup>Long-Yugansky LPU of MG, JSC Gazprom transgaz Yugorsk (Russia, Yugorsk, Mira St., 15, Khanty-Mansi Autonomous Area, Tyumen region, 628260) [shipovalov\\_nir@mail.ru](mailto:shipovalov_nir@mail.ru)

<sup>2</sup>FGBOU VO «Tyumen State Oil and Gas University», Russia (625000, Tyumen, Volodarsky St., 38), e-mail: [muzemenkova@mail.ru](mailto:muzemenkova@mail.ru)

The analysis of prospects and problems of carrying out scientific development for development of the prevention of hydrate formation at operation of underground gas. Relevance of a problem of fight against hydrate formation in system of gas supply of the Russian Federation is shown. For development of actions for ensuring trouble-free operation of the gas transmission system industrial researches were conducted. The reasons of formation of hydrates of operation of UGS during a selection season are defined. Authors developed a modern method which would allow to fix reliably a problem of hydrate formation and to reduce negative consequences. The developed method was approved in the mode of operation of UGS «pumping gas», supply of methanol on a face of six problem wells. The analysis of expediency of application of new technology is carried out according to operational data taking into account information on a gas consumption on technological needs. Realization of perspective technology allows to improve the ecological characteristic of UGS along with economic effect.

Keywords: hydrate formation, underground gas storage, prevention of hydrate formation, reliability, reservations, gas transmission system, methanol, gas field

Подземное хранилище газа (ПХГ) предназначено для регулирования сезонной неравномерности газопотребления и служит для создания оперативного и стратегического резерва газа и повышения надежности и производительности работы газотранспортных систем от газовых месторождений. Специфическое отличие ПХГ от эксплуатации газовых месторождений – это циклический характер работы подземных хранилищ газа, когда происходит периодическая смена направления движения газа – из пласта (сезон отбора) и в

пласт (сезон закачки). В практике работы ПХГ встречается ряд трудностей, основными из которых являются: обводнение скважин за счет продвижения краевых и подошвенных вод, ухудшение фильтрационных характеристик призабойной зоны пласта, пескопроявление. Поэтому надежная, бесперебойная работа скважин – основная задача технологического персонала службы ПХГ.

При эксплуатации большинства газовых скважин в условиях Крайнего Севера основная проблема — это образование гидратов. Низкие пластовые температуры и суровые климатические условия создают благоприятные условия для их образования в скважинах и наземных коммуникациях: устьевой арматуре, шлейфовых трубопроводах. Природный газ, насыщенный парами воды, при высоком давлении и при определенной температуре способен образовывать твердые соединения. По внешнему виду это кристаллическая масса, похожая на лед или снег. В отличие от воды гидраты образуются и при положительных температурах. Температура гидратообразования природных газов повышается по мере роста давления и зависит в основном от содержания в них «активных» гидратообразующих компонентов (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> и i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>). В практике начальная температура образования гидратов обычно составляет 5–10<sup>0</sup>С. При температурах свыше 20<sup>0</sup>С образование гидратов происходит в редких случаях.

Особенно остро данное осложнение проявляется в период отбора газа из пласта при отрицательной наружной температуре воздуха и повышенных темпах отбора. Сезон отбора, как правило, осуществляется с октября по март, иногда по апрель месяц. Несвоевременная ликвидация образовавшихся гидратов может привести к серьезным последствиям – полной остановке скважины и выведению ее из технологического процесса. При небольшом фонде работающих скважин с высокими суточными дебитами нарушение эксплуатации хранилища повлечет за собой сбой технологического режима, невыполнение планов по отбору газа, увеличение часов простоя эксплуатационного фонда.

Для разработки мероприятий по обеспечению бесперебойной работы газотранспортной системы были проведены промышленные исследования.

Было установлено, что при эксплуатации ПХГ в сезон отбора гидраты образуются по целому ряду причин, как то:

- снижение пластовой температуры. Если при создании хранилища пластовая температура составляла около 60<sup>0</sup>С, то при переходе в 1999 г. на подачу в хранилище газа из магистрального газопровода на 75 ат давление закачиваемого газа возросло, а его температура упала (до 8<sup>0</sup>С), вследствие закачки больших объемов холодного газа пластовая температура на забое к настоящему времени снизилась, по отдельным скважинам составляет 40<sup>0</sup>С и ниже;

- снижение температуры газа в системе «устье – сборный пункт» из-за конструктивных особенностей шлейфов скважин: диаметр 159 мм, удаленность от сборного пункта (длина шлейфов достигает до 8 км), наличие участков с интенсивным теплообменом с окружающей средой;
- рост пластового давления газа в хранилище. Пластовое давление на конец сезона закачки составило 73,4 ат, при создании хранилища пластовое давление составляло 42,4 ат. Рост пластового давления приводит к повышению температуры гидратообразования (см. табл. 1);
- количество присутствующей жидкости в газовом потоке. Газ в условиях пластовых давлений и температур насыщен парами воды, поскольку газоносные породы всегда содержат связанную, подошвенную или краевую воду. Минерализация пластовой воды практически не дает ингибирующего эффекта, по результатам исследований для природных рассолов хлоридно-кальциевого типа снижение температуры гидратообразования составляет 0,5°C. Наиболее интенсивно вынос воды происходит в конце сезона отбора, по отдельным скважинам дебит воды достигает до 800–900 л в сутки;
- длительный простой скважин в зимний период. В начале сезона очень часто происходит ограничение технологического режима эксплуатации ПХГ, для регулирования суточного расхода газа часть скважин приходится останавливать. После пуска скважин в работу время прогрева скважин и шлейфов до выхода на безгидратный режим может колебаться от нескольких часов до нескольких недель. Определяется время дебитом скважин, способом прокладки и изоляции шлейфов, условиями окружающей среды.

Таблица 1

Зависимость температуры гидратообразования от пластового давления

Давление, ат	20	30	40	50	60	70	80	90
Температура, °С	1,7	4,9	7,2	9,0	10,5	11,7	12,8	13,7

Анализ результатов исследований позволяет утверждать, что в настоящее время при эксплуатации скважин ПХГ гидратный режим наблюдается не на всех скважинах и процесс гидратообразования не имеет прямой зависимости от уровня производительности скважин, количества воды в газе и ее минерализации, эти факторы в большей степени влияют на скорость накопления гидратной массы.

Основная причина возникновения технологического осложнения, связанного с гидратообразованием, обусловлена повышением температуры гидратообразования более чем на 1–2°C и изменениями температурных параметров газа в системе «устье скважин – сборный пункт».

Если рассматривать весь эксплуатационный фонд в целом, то примерно половина скважин имеет гидратный режим, условно их можно разделить на 3 группы:

- с большим выносом жидкости (до 900 л в сутки) и небольшой суточной производительностью, 300–400 тыс. м<sup>3</sup> газа;
- без выноса жидкости, с большой протяженностью шлейфа — от 4 до 8 км;
- высокодебитные, с суточной производительностью до 700–800 тыс. м<sup>3</sup> газа, с пониженной температурой газа в «системе устье – сборный пункт».

При разработке мероприятий для борьбы с гидратообразованием на газовых месторождениях и на подземных хранилищах проанализированы различные методы, применяемые в практике эксплуатации подземных хранилищ.

Самый надежный и эффективный метод — осушку газа — при существующей технологической схеме и в условиях циклической работы ПХГ применить не представляется возможным. Суть метода снижения давления в системе заключается в нарушении равновесного состояния гидратов, в результате чего происходит их разложение. Положительный эффект достигается при продувке скважин и шлейфов на устье и на факельную установку. В методе снижения температуры гидратообразования до температуры ниже фактической температуры в системе предполагается использование веществ, которые применяют в качестве ингибиторов: это спирты, гликоли, электролиты. Применение гликолей малоэффективно из-за малой летучести паров, дороговизны; электролиты без добавки метанола не дают положительного результата.

В промысловых условиях наиболее распространенным способом борьбы с гидратами является применение летучего ингибитора гидратообразования — метанола. Метанол обладает высокой степенью понижения температуры гидратообразования, способностью быстро разлагать уже образовавшиеся пробки и смешиваться с водой в любых соотношениях, малой вязкостью и низкой температурой замерзания. Преимуществом использования метанола в качестве антигидратного реагента является то, что такая технология не только обеспечивает предупреждение гидратообразования, но и при определенных условиях является эффективным средством для удаления уже сформировавшихся гидратных отложений.

Применение комбинированного метода в сложных климатических условиях Севера — снижение давления и одновременная подача метанола в поток газа — следует считать весьма рискованным вследствие недостаточной его изученности. Действительно, разложение гидратов снижением давления в комбинации с вводом ингибиторов происходит гораздо быстрее, чем при использовании каждого метода в отдельности, однако при

отрицательных температурах вода, образовавшаяся в результате разложения гидрата, может перейти в лед и образовать ледяную пробку.

Данные методы, помимо положительных сторон, имеют ряд отрицательных моментов. Метанол – сильный яд, попадание в организм даже небольшой дозы может привести к смертельному исходу, поэтому при работе с ним требуется особая осторожность. Также имеет место увеличение технологических потерь газа. Продувка происходит с выпуском газа в атмосферу. Отмечается увеличение часов простоя скважин, при продувке скважин на устье или на факел скважину необходимо исключить из технологического процесса.

*Учитывая все вышеизложенные факторы и имея большой опыт работы в условиях постоянной борьбы с гидратами, авторы ведут разработку современного метода применения, который бы позволял надежно устранять проблему гидратообразования и иметь как можно меньше негативных последствий.*

Так, обеспечение безгидратных режимов работы подземного хранилища газа (ПХГ) представляется возможным при применении технологии подачи метанола в период закачки в призабойную зону пласта отдельных скважин. Практически этот предупреждающий метод обеспечения продолжительной безгидратной эксплуатации объекта значительно эффективнее, чем существующие методы ликвидации уже возникшей проблемы.

Технологией метода предусмотрена закачка метанола в пласт перед завершением сезона заполнения хранилища газом. Подача ингибитора гидратообразования происходит в поток газа скважин, технологический режим работы которых характеризуется как гидратный.

На стадии разработки описываемой технологии представилась возможность установить, что подавать метанол на забой скважин необходимо за месяц до окончания сезона закачки газа в ПХГ.

Физико-химической основой технологии являются два процесса:

1) метанол, смешиваясь с потоком газа в пластовых условиях, переходит в газообразное состояние и проникает в зоны пласта;

2) в режиме эксплуатации ПХГ «отбор газа» реагент постепенно выносится из пласта, надежно связывает пластовые и конденсационные воды, предотвращая образование гидратов по всему пути движения потока газа – от забоя скважины до сборного пункта.

Очень важно в реализации данного метода правильное определение количества используемого химического реагента (метанола) и периодичности его закачки в скважину. Действительно, при малом содержании метанола в газе его ингибиторные свойства будут проявляться не в полной мере и непродолжительное время. При неверном определении периода, при недостаточных объемах закачанного газа метанол не перейдет в газообразную фазу, останется в жидком состоянии на забое скважины и в начале сезона отбора практически

весь вынесется в первые сутки работы. При больших объемах закачанного газа метанол сильно продавится в пласт, смешается с газом и пластовыми водами, и его малая концентрация не окажет влияния на процесс предотвращения образования гидратных пробок.

Разработанный метод был апробирован в режиме эксплуатации ПХГ «закачки газа», подачей метанола на забой 6 проблемных скважин. Эксплуатация этих скважин была уже осложнена гидратообразованием в устьевой арматуре и наземных коммуникациях. Все они характеризуются следующим образом: скважины с большой протяженностью шлейфов (5–8 км); удалены от промышленной площадки ПХГ; в зимний период к ним затруднен проезд на устье; небольшой среднесуточный расход газа (300–400 тыс. м<sup>3</sup>). Только по выносу жидкости они существенно отличаются — от 0 до 900 л в сутки.

Анализ целесообразности применения новой технологии проведен по эксплуатационным данным за пятилетний период работы с учетом информации по расходу газа на технологические нужды, метанола и часам простоя до применения и после. Например, если рассматривать по удельным расходам метанола на 1000 м<sup>3</sup> отобранного – закачанного газа (рис. 1), то видно, что в период закачки удельные расходы возросли: с 7–8 гр до 29 гр за счет применения метода, но в период отбора резко сократились: с 50–83 гр до 30–40 гр. Перечисленные параметры являются в настоящее время основными показателями, характеризующими работу ПХГ в целом и скважин в отдельности.

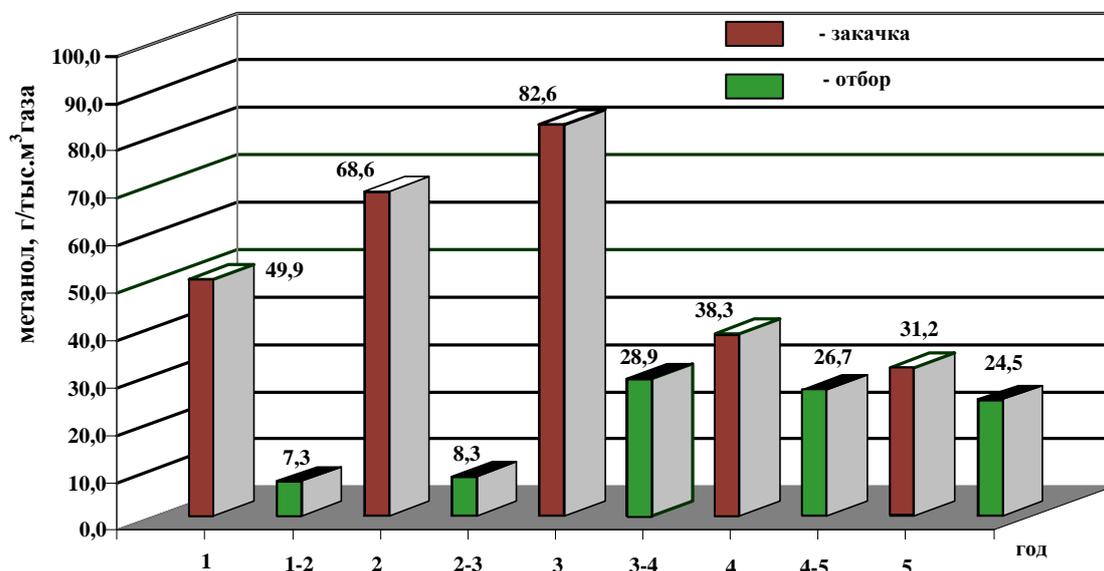


Рис. 1. Удельный расход метанола в период отбора – закачки за пятилетний период эксплуатации

По сравнению с постоянной дозированной закачкой метанола в газ технология обеспечивает экономию реагента, способствует повышению надежности безгидратных режимов работы скважин и уменьшению затрат газа на продувки шлейфов для ликвидации гидратных отложений: сократился расход используемого метанола в период отбора в целом по ПХГ; снизился удельный расход метанола на 1 тыс. м<sup>3</sup> отобранного газа в период отбора;

уменьшились технологические потери газа по скважинам, связанные с продувкой на устье и шлейфов. В заключение следует отметить, что реализация перспективной технологии позволяет наряду с экономическим эффектом улучшить экологическую характеристику ПХГ.

### Список литературы

1. Аспекты технологической надежности и экономической эффективности эксплуатации подземных хранилищ природного газа Западной Сибири: монография / Шиповалов А.Н., Земенков Ю.Д., Торопов С.Ю., Подорожников С.Ю. и др. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. — 344 с.
2. Земенков Ю.Д. Резервирование энергоресурсов для обеспечения надежности системы газоснабжения / Земенков Ю.Д., Акулов К.А., Васильев Г.Г. и др. — Тюмень: ТГНГУ, 2006. — 244 с.
3. Земенкова М.Ю., Шиповалов А.Н., Дудин С.М., Земенков Ю.Д. Системный анализ в процессах контроля и управления нефтегазовых объектов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2007, № 5. — С. 116–119.
4. Земенкова М.Ю., Шиповалов А.Н., Дудин С.М., Земенков Ю.Д. Системный анализ в процессах контроля и управления нефтегазовых объектов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2007. — № 5. С. 116–119.
5. Основы эксплуатации гидравлических систем нефтегазовой отрасли: учебное пособие / Под ред. Ю.Д. Земенкова. — Тюмень: Вектор Бук, 2012. — 402 с.
6. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах / Антипьев В.Н., Земенков Ю.Д., Шабаров А.Б. и др. / Под ред. Ю.Д. Земенкова. — Тюмень: Вектор Бук, 2002, 432 с.
7. Торопов С.Ю., Земенков Ю.Д., Подорожников С.Ю. Повышение экологической надежности ремонта трубопроводов в сложных природно-климатических условиях // Газовая промышленность. — М.: ООО «Газойл пресс», 2015, № S720 (720). С. 95–98.
8. Шантарин В.Д., Земенкова М.Ю. Адсорбция и хранение пиролизного газа на «сухой воде» // Фундаментальные исследования — Пенза: Академия Естествознания. 2015, № 5-2. — С. 340–344.
9. Шпилевой В.А., Курушина Е.В. Роль и оценка технической и экономической энергоэффективности добычи и транспорта нефти и газа Тюменского региона // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2008, № 1. — С. 93–101.

10. Шпилевой В.А., Курушина Е.В., Земенков Ю.Д. Управление энергоемкостью в условиях российской экономики // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. — 2012, № 3. — С. 61–65.

**Рецензенты:**

Торопов С.Ю., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Шантарин В.Д., д.т.н., профессор, профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.