

# ПРИМЕНЕНИЕ ЭЖЕКЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗГРУЗКИ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА

В настоящей работе представлены результаты оценки возможности использования избыточной пластовой энергии основного объекта эксплуатации подземного хранилища газа, безвозвратно теряемой в дроссельных и регулирующих устройствах без совершения полезной работы, для эжектирования низконапорного газа техногенной залежи.

*Ключевые слова:* подземное хранение/хранилище газа, техногенная залежь, пластовая энергия, эжектирование, математическое моделирование, реальный газ.

Обеспечение герметичности подземного хранилища газа (ПХГ) является важной составляющей работ по его созданию и эксплуатации. Одной из негативных особенностей эксплуатации подземных хранилищ газа в ряде случаев является наличие перетока газа в контрольные горизонты, в результате чего образуются техногенные (вторичные) залежи газа. Для предотвращения неконтролируемого распространения газа в вышезалегающие горизонты и предупреждения поверхностных газопроявлений осуществляется разгрузка техногенных залежей. Из-за нерентабельности компримирования низконапорного техногенного газа нередко процесс разгрузки вторичных залежей проводится путем выпуска газа в атмосферу. Следует учитывать, что в настоящее время всё жестче становятся требования по сокращению выбросов природного газа в атмосферу в нефтегазовом комплексе, в т.ч. на объектах подземного хранения газа. Актуальность решения проблемы разгрузки техногенных залежей ПХГ с последующей утилизацией обусловлена не только экологической опасностью, но и безвозвратными потерями ценного углеводородного сырья.

Вместе с тем, в процессе эксплуатации газохранилища имеются избыточные запасы пластовой энергии объекта хранения газа, безвозвратно теряемой в дроссельных и регулирующих устройствах без совершения полезной работы. В настоящей работе представлены результаты оценки возможности использования избыточной пластовой энергии основного объекта эксплуатации ПХГ для эжектирования низконапорного газа техногенной залежи. Достижение этих целей проводится путем применения эжекторных установок на кусте скважин. Технологические и технические решения по обеспечению эжекторной разгрузки техногенной залежи разработаны на примере одного из ПХГ в центральном регионе России.

Рассматриваемое ПХГ создано в сложных геологических условиях в гдовском пласте-коллекторе редкинской свиты Валдайской серии водоносной структуры на глубине 780-930 м. Особенностью эксплуатации ПХГ является наличие перетока газа в контрольные горизонты из объекта закачки (гдовского горизонта), в результате чего образовались техногенные залежи газа.

Пути перетока и места скопления мигрирующего газа на хранилище выявлены на основании следующих исследований:

– систематические пьезометрические исследования по наблюдательным скважинам контрольных горизонтов, с целью установления характера взаимодействия с гдовским горизонтом и между собой;

– геофизические исследования для выявления мест скопления мигрирующего газа и контроля за герметичностью обсадных колонн;

– геохимические и газометрические исследования для установления газанасыщенности вод контрольных горизонтов.

В целом, модель перетоков газа рассматриваемого ПХГ выглядит следующим образом (Карабельников и др., 1998).

Объектом хранения является гдовский пласт-коллектор, перекрытый глинистой крышкой. Пласт-коллектор имеет газодинамическую связь с кристаллической брекчией через тектоническое нарушение. Кристаллическая брекчия в основном также имеет глинистую крышку, которая имеет литологическое «окно». В этом месте осуществляется непосредственный контакт кристаллической брекчии с вышележащим воробьевским горизонтом. Воробьевский горизонт перекрыт глинистой крышкой, которая является резервной, она хорошо выдержана по мощности и не имеет нарушений. Благодаря этому газ, перетекающий из объекта хранения через литологическое нарушение и насыщая брекчию через литологическое окно, попадает в воробьевский горизонт, где, скапливаясь, образует вторичную залежь газа. Выше воробьевского горизонта находится ряд контрольных горизонтов, в т.ч. семилукский горизонт, поступление газа в который связано с техническими причинами (негерметичностью скважин).

На рассматриваемом ПХГ осуществляется разгрузка техногенного газа в промышленных масштабах из воробьевского горизонта и с незначительным расходом, но с выпуском газа в атмосферу, из семилукского горизонта.

На основании проведенного анализа методов разгрузки техногенных залежей можно сделать выводы:

1) Проводимая разгрузка техногенных залежей воробьевского и семилукского горизонтов позволяет предот-

вратить неконтролируемый уход газа в вышележащие горизонты и является необходимым мероприятием при эксплуатации газохранилища, созданного в водоносном пласте сложного геологического строения. Увеличение активного объема, что является одной из основных практических задач, усилит техногенную нагрузку на геосреду. В связи с этим необходима разработка технических решений по интенсификации отбора газа из техногенных залежей.

2) В настоящее время разгрузка воробьевского горизонта производится через скважины №№ 24, 44, 95, 155, 156, расположенные в зоне контура ГВК. Устьевые давления этих скважин позволяют им участвовать в разгрузке на протяжении всего разгрузочного периода. Скважина № 113 находится в купольной зоне воробьевского горизонта, тем не менее, участие этой скважины в разгрузке проблематично из-за низкого устьевого давления (12 – 28 кгс/см<sup>2</sup>). На расстоянии нескольких метров расположена эксплуатационная скважина № 38, пробуренная на гдовский пласт-коллектор. Устьевое давление скважины № 38 на протяжении периода отбора изменяется от 105 кгс/см<sup>2</sup> до 40 кгс/см<sup>2</sup>, дебит изменяется в пределах от 400 тыс. м<sup>3</sup>/сутки до 225 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, соответственно. Приобщение скважины № 113 к разгрузке техногенной залежи воробьевского горизонта возможно путем подключения эжектора между скважинами 38 и 113.

3) Разгрузка техногенной залежи семилукского горизонта осуществляется с 1996 г. путем стравливания газа через свечи скважины 130, наблюдательной на семилукский горизонт. Данная скважина расположена в сводовой части 1-го очага закачки и не оборудована индивидуальным шлейфом. Скважина находится в составе куста наблюдательных скважин на воробьевский, евлано-ливенский, упинский и задоно-ливенский горизонты каждая. Расстояние между скважинами 5 – 10 м. Одна из скважин (№ 24) оборудована индивидуальным шлейфом и участвует в разгрузке воробьевского горизонта. Подключение эжектора между скважинами №№ 24 и 130 позволит предотвратить стравливание газа семилукского горизонта в атмосферу.

Для оценки возможности реализации эжекторной разгрузки техногенных залежей проводился вычислительный эксперимент на основе математического моделирования течения реального газа в эжекторе. Исходные параметры работы эжектора определялись на основе анализа технологического режима работы скважин. Одной из основных особенностей расчета газового эжектора, предназначенного для разгрузки техногенной залежи, является высокая степень сжатия эжектируемого потока. В выполненных исследованиях основным инструментом получения результата была нестационарная осесимметричная модель течения реального газа, основанная на уравнениях Навье–Стокса. Однако исследование всегда начиналось с использования алгебраической модели течения идеального газа (Абрамович, 1976; Аркадов, 2001), позволявшей предварительно быстро получить грубую оценку геометрических размеров эжектора и параметров течения газа внутри него.

После чего определялись методы интенсификации отбора газа из техногенных залежей, подлежащими разгрузке за счет применения эжекционных технологий.

**Разгрузка семилукского горизонта.** Эжекторная установка подключается между скважинами №№ 130 и 24.

Поток газа скважины № 24 используется в качестве высоконапорного. Поток газа скважины № 130 подается на эжекторную установку в качестве низконапорного. Устьевое давление скважины № 24 составляет 50-58 кгс/см<sup>2</sup>. Дебит скважины около 100 тыс. н. м<sup>3</sup>/сутки. Устьевое избыточное давление скважины № 130 не превышает 0,25 кгс/см<sup>2</sup>. В сутки необходимо утилизировать с этой скважины до 100 н.м<sup>3</sup>. Давление на выходе эжекторной установки необходимо обеспечить на уровне 38 – 40 кгс/см<sup>2</sup>.

Расчеты проводились для наиболее жесткого случая по давлению в магистральном трубопроводе – 40 кгс/см<sup>2</sup> и полному отсутствию избыточного давления низконапорного газа (0 кгс/см<sup>2</sup>). Для высоконапорной скважины было выбрано среднее давление из диапазона допустимых значений 54 кгс/см<sup>2</sup>.

На основании проведенной серии расчетов был сделан вывод о том, что одноступенчатое эжектирование не позволяет проводить утилизацию газа семилукского горизонта в магистральном трубопроводе. Физическая причина отсутствия эжекции в рассматриваемой ситуации объясняется достаточно просто. Слишком велико необходимое увеличение давления низконапорного газа (более 40 раз) при заданном высоконапорном давлении. Или слишком мало высоконапорное давление газа для получения необходимого увеличения давления низконапорного газа.

На следующем этапе работы исследовалась возможность утилизации природного газа из техногенной залежи с применением двухступенчатой эжекторной установки. Расчет каждой ступени проводился независимо. Путем многократных расчетов каждой отдельной ступени, внутренние входные-выходные параметры газовых потоков эжекторов разных ступеней постепенно согласовывались с точностью 2 – 3 %. В результате определялись параметры двухступенчатой эжекторной установки в целом.

Таким образом, утилизация техногенного газа семилукского горизонта возможна путем двухступенчатого эжектирования. Газ из высоконапорной магистрали разделяется на два потока и подается на высоконапорные входы эжекторов обеих ступеней. На низконапорный вход эжектора первой ступени подается газ из низконапорной скважины. Смешанный эжектором первой ступени газ подается на низконапорный вход эжектора второй ступени. Смешанный эжектором второй ступени газ направляется в шлейф скважины № 24. Геометрические размеры эжекторов разных ступеней различные и подбираются для обеспечения выполнения конкретной технологической задачи.

В результате расчетов определены основные геометрические параметры эжекторов каждой ступени эжектирования. Рассчитанная двухступенчатая эжекторная установка позволяет обеспечить утилизацию газа из техногенной залежи с расходом для низконапорной скважины 105 н. м<sup>3</sup>/сутки, для высоконапорной скважины 90850 н. м<sup>3</sup>/сутки, что соответствует параметрам разгрузки семилукского горизонта.

**Интенсификация разгрузки воробьевского горизонта.** Эжекторная установка подключается к скважинам № 113 и № 38. Поток газа от скважины № 38 подается на эжектор в качестве высоконапорного с давлением 80 – 105 кгс/см<sup>2</sup>. Дебит скважины – 230 – 320 тыс. м<sup>3</sup>/сутки. Поток газа сква-

жины № 113 подается на эжектор в качестве низконапорного с давлением 12 – 28 кгс/см<sup>2</sup>. Смесь газа после эжектора поддерживается на уровне 40 кгс/см<sup>2</sup>. Для обеспечения таких параметров работы достаточно одноступенчатого эжектирования.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что использование избыточной пластовой энергии гдовского пласта-коллектора для эжектирования газа техногенных залежей воробьевского и семилукского горизонтов, подлежащих разгрузке, позволит увеличить отбор газа из рассматриваемого ПХГ примерно на 5 млн. м<sup>3</sup> за 150 суток отбора. Прирост отбираемого газа хорошо согласуется с пропускной способностью системы подготовки газа к транспорту на рассматриваемом ПХГ.

## Литература

- Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. Изд. 4. М.: Наука. 1976. 888.
- Аркадов Ю.К. Новые газовые эжекторы и эжекционные процессы. М.: Физматлит. 2001. 336.
- Карабельников О.М., Арбузов И.В., Либерман Г.И., Дуболозов В.И., Солдаткин С.Г., Щербакова В.А. Опыт эксплуатации и перспективы развития Калужского подземного хранилища газа, Газовая промышленность, серия: Транспорт и подземное хранение газа, Юбилейный сборник научных трудов «40 лет – Калужскому, 20 лет Касимовскому подземным хранилищам газа». Москва. ИРЦ Газпром. 1998.

## I.G. Bebeshko, S.B. Shcherbak. Ejector technology application for unloading man-caused deposits of underground gas storage.

In this work the estimation results of the possibility of using of superfluous layer energy of the UGS basic operation object, which is irrevocably losing in throttle and regulating devices without performing of useful work for ejecting low pressure gas of a technogenic deposit are presented.

*Keywords:* underground gas storage, man-caused deposits, layer energy, ejecting, mathematical simulation, real gas.

### *Инна Григорьевна Бебешко*

старший научный сотрудник. Научные интересы: эжекционные технологии; рациональное использование пластовой энергии при эксплуатации подземных хранилищ газа.

### *Сергей Борисович Щербак*

к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник. Научные интересы: математическое моделирование процессов создания и эксплуатации подземных хранилищ газа; нестационарные пространственные течения жидкости и реального газа.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

142717, РФ, Пос. Развилка, Ленинский р-н, Московская область. Тел.: (495)355-94-41, (495)355-60-95.

## Издания ООО "Газпром ВНИИГАЗ" серии "Вести газовой науки"

### **Водная эрозия и освоение газовых месторождений полуострова Ямал**

*А.В. Баранов*

Под ред. Р.О. Самсонова

М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2009. 152 с. ISBN 978-5-89754-060-0

### **Влияние природных факторов на устойчивость функционирования Единой системы газоснабжения России**

*Л.В. Власова, Г.С. Ракитина, С.И. Долгов*

М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2009. 184 с. ISBN 978-5-89754-059-4

### **Развитие научных исследований, техники и технологий в области трубопроводного транспорта газа**

*З.Т. Галуллин*

М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2009. 208 с. ISBN 978-5-89754-057-0

### **Комплексная методология анализа эффективности и рисков инвестиционных проектов в газовой промышленности**

*О.С. Кириченко, Н.А. Кисленко, А.А. Комзолов, И.В.*

*Мещерин, В.С. Сафонов*

М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2009. 168 с. ISBN 978-5-89754-055-6

### **Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы**

*С.И. Козлов, В.Н. Фатеев*

Под ред. Е.П. Велихова.

М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2009. 520 с. ISBN 978-5-89754-062-4

### **Морская транспортировка природного газа**

*И.В. Мещерин, И.А. Ким, Н.Н. Чукова и др.*

Под ред. И.В. Мещерина.

М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2009. 428 с. ISBN 978-5-89754-056-3

### **Введение в нефтегазовую ресурсологию**

*Н.А. Крылов*

Под ред. М.Я. Зыкина.

М.: ВНИИГАЗ. 2009. 100 с. ISBN 978-5-89754-044-0

### **Методология разработки генеральной схемы развития газовой отрасли**

*В.В. Русакова, А.С. Казак, Р.О. Самсонов*

М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2009. 316 с. ISBN 978-5-89754-046-4

### **Управление экологическими рисками в газовой промышленности**

*В.В. Русакова, А.С. Казак, В.Н. Башкин и др.*

М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2009. 200 с. ISBN 978-5-89754-058-7

### **Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне**

*В.С. Якушев*

М.: ВНИИГАЗ. 2009. 192 с. ISBN 978-5-89754-048-8

ООО "Газпром ВНИИГАЗ"  
Редакционно-издательский отдел  
Тел./факс (495) 355-91-73  
E-mail: A.Luzhkova@vniigaz.gazprom.ru,  
E.Kharybina@vniigaz.gazprom.ru