

ПОЭТАПНОЕ СОЗДАНИЕ ИНЧУКАЛНСКОГО ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА – ПУТЬ К СНИЖЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

Для снижения технологических рисков в регионе было предложено и осуществлено поэтапное создание Инчукалнского подземного хранилища газа, играющего важную роль в регулировании региональной неравномерности газопотребления. В работе отражены основные этапы сооружения Инчукалнского подземного хранилища газа и задачи технологического проектирования, решенные на этих этапах.

Ключевые слова: подземное хранение/хранилище газа, неравномерность газопотребления, технологическое проектирование, газодинамические исследования, пласт-коллектор.

Роль и потенциальные возможности Инчукалнского подземного хранилища газа (ПХГ) в регулировании неравномерности газопотребления региона трудно переоценить. В качестве объекта для создания газохранилища выбран песчаник среднего кембрия, представляющий собой антиклинальную складку размером 10×4 км, осложненную разломом, проходящим почти по оси складки. Амплитуда нарушения по поверхности кристаллического фундамента от 200 до 260 м. Песчаник залегает на коре выветривания архейских пород, представленных гранитами и гранитогнейсами и относится к терригенным отложениям цирмской толщи кембрия и каллаверийской свиты нижнего ордовика (Сm1-2cr+O1klv). Песчаник содержит не выдержанные по мощности и простираию алевролитно-глинистые прослои до 6 – 8 м мощности. Пласт-коллектор неоднороден по площади в разрезе. В нижней части свиты прослеживается по всей площади глинисто-алевролитовый пропласток, а в верхней и средней частях почти во всех разрезах скважин наблюдаются разной степени прослои, мощность и количество которых непостоянно.

В разрезе структуры выделяют две покрывки – основная в кровле кемерского горизонта 10 – 15-метровая толща глин и глинистых мергелей, а также резервная 100-метровая толща глин и мергелей наровской свиты.

Проблема реконструкции и связанное с ней расширение Инчукалнского хранилища потребовало еще раз проработать вопросы, решение которых было неоднозначно либо не всегда укладывалось в предполагаемые пределы.

В связи с тем, что распространение газа в юго-восточном направлении (Рис. 1) происходит не в соответствии с изогипсами кровли пласта-коллектора цирмской толщи кембрия и каллаверийской свиты нижнего ордовика (Сm1-2cr+O1klv), была поставлена задача - уточнить геологическое строение этого района и выяснить, насколько вероятны здесь тектонические нарушения. В целях решения этой задачи был построен ряд профилей по скважинам, расположенным в данном районе хранилища. Основой для них явились диаграммы геофизических исследований скв. 131, 77, 4, 120, 119, 146 и 161 (профиль I), скв. 145, 119, 5 (профиль II), скв. 98, 12, 103, 119 (профиль III). Они охватывают отложения от плюсского горизонта (O₃pl) до архея. Был выполнен анализ мощностей и границ горизонтов, снятых с геофизических диаграмм и используемых при построении профилей. Анализ показал, что мощности почти всех

горизонтов либо мало меняются, либо просто идеально совпадают, в том числе и самого пласта-коллектора. Если говорить об увеличении мощности отдельных горизонтов в восточном и юго-восточном направлении, то речь идет о 1,5 ± 3,5 м, что, естественно, не может указывать на резкие изменения их свойств. Примерно такие подвижки подсека и детальная сейсморазведка (до 5 м).

Для ответа на вопрос о существовании линии разрушений по направлению скважин 5-161 были проанализированы геофизические диаграммы по этим скважинам, включающие стандартный комплекс исследований: метод сопротивления (несколько зондов), кривую потенциалов собственной поляризации, кавернограмму, естественную радиоактивность.

В верхней части разреза (S₁-D₂nr) отмечены изменения мощности на 13 м. Характерно, что оно относится к силуру. Выше силура изменения мощностей незначительные и незакономерные, что может объясняться нечеткой границей между наровским и пярнусским горизонтами.

Сокращение силурийских отложений в скважине 5 по сравнению со скважиной 161 относится к кровельной части S₁, представленной глинами. Учитывая, что сокращение мощности незначительное (13 м) при общей мощности силура 88 и 103 м соответственно, а также, что на юго-восток идет закономерное увеличение мощностей силура, говорить о тектоническом нарушении даже в силуре неправомерно.

Сопоставление диаграмм, характеризующих разрезы скважин 97, 104 и 5, также дает основание считать, что и в этом направлении залегание пород спокойное: мощности горизонтов от силура до архея выдержаны, их литологические характеристики близки, практически, по всем геофизическим методам.

Таким образом, построениями профилей было доказано, что тектоническое нарушение в юго-восточном районе хранилища маловероятно, по крайней мере большой амплитуды. Вытянутый в плане контур газоносности в юго-восточном направлении (Рис. 1), секущий изогипсы кровли пласта-коллектора цирмской толщи кембрия и каллаверийской свиты нижнего ордовика (Сm1-2cr+O1klv), можно объяснить, прежде всего, коллекторскими свойствами пласта. Установлено, что пласт-коллектор характеризуется в среднем проницаемостью 2 Дарси. Однако отдельные пропластки мощностями от 1,5 м до 3,5 м имеют суще-

ственно более высокую проницаемость – до 6 Дарси, а в некоторых случаях и выше. При этом песчаник пласта-коллектора неоднороден, местами переходит в песок, местами же – в глинистый алевролит. Это осложняет прогнозирование продвижения газа при закачке и отборе. Кроме того, как показала сейсморазведка, в исследуемом районе структуры сильно развита трещиноватость перпендикулярно разлому за счет малоамплитудных подвижек в пределах пласта-коллектора.

Несмотря на то, что ГВК практически никогда не бывает горизонтальным, что связано с различными причинами, одной из которых является распределение и изменение коллекторских свойств (в частности, проницаемости) по пласту, в данном случае разница в положении ГВК на одну и ту же дату в центре и на периферии велика и до-

м 250 0 250 750 м



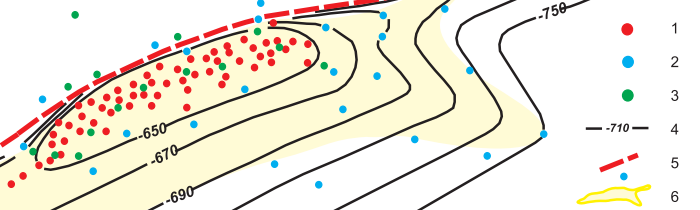
стигает 30 м и более (Рис. 2).

С целью предотвращения технологических рисков сооружение Инчукальского ПХГ осуществлялось в несколько этапов. На первом этапе предусматривалось создание газохранилища в пласте-коллекторе с общим объемом 1010 млн. м³ при активном объеме 640 млн. м³. В этот период было продолжено изучение структуры, было установлено уверенное замыкание структуры по изогипсе – 690 м, позволяющее расширение хранилища.

Вторым этапом необходимо было довести объем хранимого газа до 4200 млн.м³ с активным объемом 2200 млн. м³. В процессе эксплуатационного бурения было уточнено строение пласта-коллектора. Анализ геологического строения показал существенное сокращение средней эффективной мощности (с 2 до 35 м) и порового объема (до 20 %). Кроме того, начиная с 1975 года, наблюдалось аномальное растекание газа вдоль большой оси структуры за пределы изогипсы –690 м.

Третий этап был направлен на внедрение ряда мероп-

Рис. 1. Газонасыщенный контур Инчукальского ПХГ. 1 – Эксплуатационные скважины, 2 – Наблюдательные скважины, 3 – Контрольные скважины, 4 – Изогипса кровли пласта-коллектора, 5 – Разлом, 6 – Площадь распространения газа после сезона закачки.



приятий, таких как закачка под контакт газ-вода в так называемую «среднюю часть» пласта и освоение нижнего песчаного пропластка в качестве автономного объекта. По материалам поисковых работ было установлено замыкание структуры по изогипсе –700 м и емкостные свойства нижнего песчаного пропластка.

Освоение песчаного пропластка показало существование перетоков газа в верхнюю часть пласта-коллектора. Необходимо было решить гидродинамическую задачу с учетом перетоков газа. Для этого была разработана для условий Инчукальского ПХГ балансовая математическая модель, позволившая внести коррективы в технологию эксплуатации газохранилища и его проектные показатели.

Математическая модель представляет собой расширенный вариант метода материального баланса. В соответствии с геологическим строением залежи весь газонасыщенный объем делится на две части – верхнюю и нижнюю. Каждая из этих частей, в свою очередь, делится на центральную и внешнюю, что отражает реально существующую большую дифференциацию в пластовых давлениях по площади хранилища.

Для каждой из получившихся четырех частей газонасыщенного объема записываются уравнения материального баланса газа и динамики изменения объема его в пластовых условиях за счет вторжения пластовых вод.

$$\frac{d}{dt}(P_i \Omega_i) = q \quad (1)$$

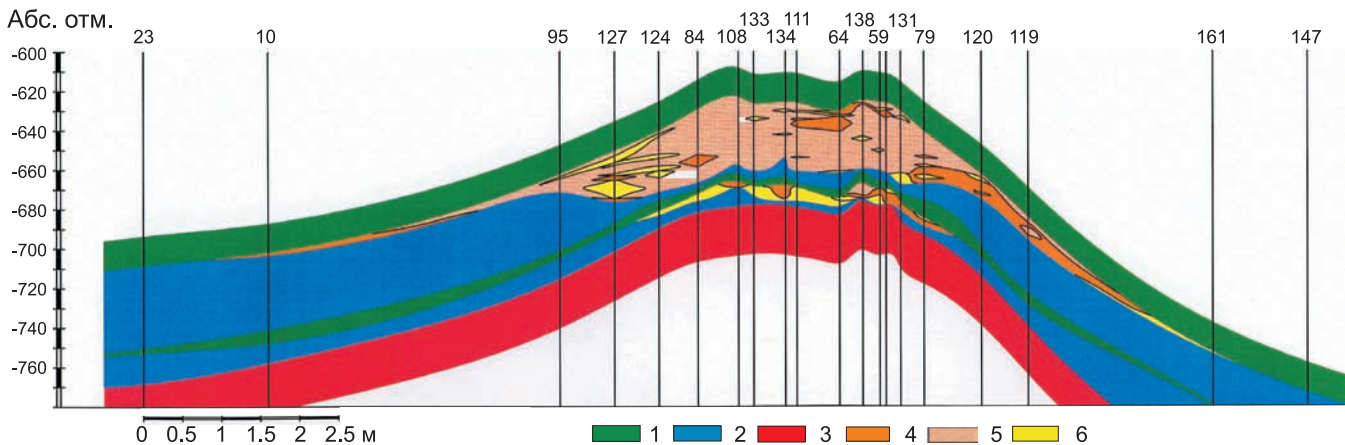


Рис. 2. Схематичный профиль ГВК Инчукальского ПХГ (Профиль по линии А-А' (на 16.10.2007)). 1 – Непроницаемые породы, 2 – Пласт-коллектор, насыщенный водой, 3 – Фундамент, Пласт-коллектор, насыщенный газом, 4 – коэффициент газонасыщения от 100 до 75 %, 5 – коэффициент газонасыщения от 75 до 50 %, 6 – коэффициент газонасыщения от 50 до 25 %. М(верт.) 1:1000 / М(гориз.) 1:50000.

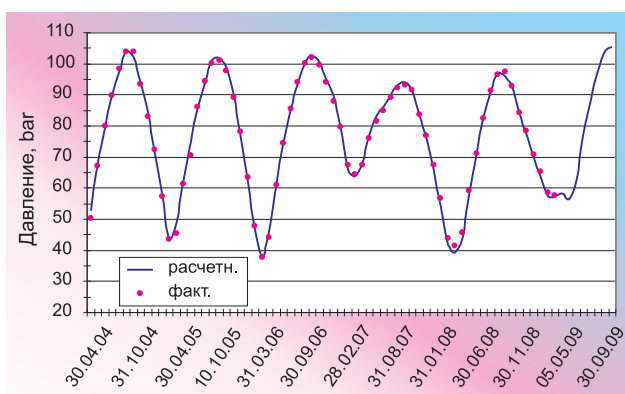


Рис. 3. Динамика расчетного и замеренного пластового давления по основному пласту.

$$\frac{d\Omega_i}{dt} = q_i, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (2)$$

Правые части этих уравнений представляют собой дебиты газа и воды, поступающих или вытекающих из *i*-го объема. Принимается следующая схематизация течения жидкости и газа в пласте. Газ и вода могут перетекать между центральными и внешними частями как в нижнем, так и в верхнем объеме. Кроме того, вода может поступать из внешних объемов в законтурную область (и обратно). Закачка (отбор) газа осуществляется лишь в центральной части.

В соответствии с этой схематизацией правые части уравнений представлены для каждого из объемов в виде алгебраических сумм:

$$q_i = \sum \alpha_{ik} (P_k - P_i), \quad (3)$$

где α_{ik} – неопределенные коэффициенты, отражающие степень взаимосвязи отдельных частей залежи, перетоки флюидов между которыми происходят под действием перепада давления. При заданной системе коэффициентов α_{ik} , заданных начальных значений объемов Ω_i и давлений в них P_i можно, решая систему уравнений (1 – 3) получить значения давлений в каждой из выделенных частей и величины их объемов в любой момент времени.

Идентификация модели или решения обратной задачи заключается в том, что выбирается некоторый период эксплуатации хранилища, в течение которого известно изменение фактических давлений по обоим пластам. Этот период рассчитывается на модели, сравниваются расчетные и фактические давления. Далее подбираются такие значения неопределенных параметров модели, чтобы отклонение между расчетными и фактическими давлениями были минимальными.

Математическая модель по результатам адаптации позволила оценить характер внутрипластовых перетоков и разработать технологический режим эксплуатации на перспективу. Основным критерием адаптации модели при прочих равных условиях является соответствие динамики фактического и расчетного давлений по нижнему песчаному пропластку и верхней части пласта за известный период эксплуатации хранилища. Результаты расчетов по адаптации математической модели (Рис. 3) показывают высокую сходимость фактических и расчетных давлений, (среднее отклонение не превышает 1,5 кгс/см²).

Балансовая модель позволила выполнить прогнозные расчеты эксплуатации хранилища при существовании внутрипластовых перетоков. Объем закачки газа в ниж-

ний пропласток должен составить не менее 555 млн. м³, а последующий отбор – 55 млн. м³.

Выполненными расчетами показано, что при существующем фонде скважин можно увеличить активный объем до 2400 млн. м³, при буферном – 2400 млн. м³, дальнейшее увеличение активного объема до 3200 млн. м³ потребует бурения дополнительных эксплуатационных скважин. Однако, учитывая то, что часть нагнетательных скважин без особых проблем может участвовать в отборе газа из верхней части пласта вариант, с активным 3200 млн. м³ представляется осуществимым. Газодинамические исследования этих скважин показали, что даже без перевода их на верхнюю часть пласта безводный дебит может составить не ниже 500 тыс. м³/сут.

Предлагаемый вариант селективной эксплуатации пласта-коллектора с учетом особенностей его геологического строения позволит увеличить степень использования порового пространства структурной ловушки и улучшить показатели эксплуатации при расширении Инчукалнского ПХГ.

A.S. Garajshin, A.V. Grigoriev, E. Birgers. Stage-by-stage creation of Inchukalnsky UGS – a way to decrease in technological risks.

Inchukalnsky UGS is aimed to cover regional gas supply irregularity. Its construction was provided by stages to reduce technological risks in this region. The main stages and problems of technological designing of the Inchulnsky UGS construction are set.

Keywords: underground storage/storehouse of gas, gas consumption non-uniformity, technological designing, a layer-collector.

Альберт Саяхович Гарайшин

начальник лаборатории технологического проектирования ПХГ Центра ПХГ ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Научные интересы: развитие технологии селективного регулирования при создании и эксплуатации подземных хранилищ газа в сильно неоднородных пластах-коллекторах.



142717, РФ, Пос. Развилка, Ленинский р-н, Московская область. Тел.: (495)355-95-22.

Александр Васильевич Григорьев

ведущий научный сотрудник Центра подземного хранения газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Научные интересы: проектирование подземных хранилищ газа в пористых структурах, подземная газовая динамика.



142717, РФ, Пос. Развилка, Ленинский р-н, Московская область. Тел.: (495)355-93-93.

Эдгар Биргерс

Руководитель геологической службы Инчукалнского ПХГ. Научные интересы: эксплуатация подземных хранилищ газа в неоднородных пористых структурах, подземная газовая динамика.



АО «Латвияс Газе». Латвия, Рижский р-н, пос. Рагана, LV-2144, а.я. 16. Тел.: (371) 67-048-021.