

УДК 550.836

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ ЗА ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СКВАЖИН ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА

© 2015 Р.А. Валиуллин, Р.Ф. Шарафутдинов, А.А. Садретдинов, М.Ф. Закиров,
Т.Р. Хабиров, А.М. Шарипов

Башкирский государственный университет, г. Уфа

Поступила в редакцию 15.04.2015

В работе рассматриваются вопросы выявления заколонных перетоков в скважинах подземных хранилищ газа. Рассматриваются математические модели и алгоритмы выявления заколонных перетоков по данным термометрии скважин. Приводятся примеры интерпретации и обработки данных термогидродинамических исследований скважин подземных хранилищ газа.

Ключевые слова: *подземные хранилища газа, заколонные перетоки, техногенные скопления газа, термометрия*

В настоящее время в России подземное хранение газа осуществляется в пористых пластах в истощенных газовых, газоконденсатных и нефтяных месторождениях, либо в водоносных пластах-коллекторах имеющих соответствующую структуру и непроницаемую покрывку. Эксплуатация подземных хранилищ газа может сопровождаться ухудшением технического состояния скважин. Это обусловлено в первую очередь переменными термобарическими нагрузками элемента ствола скважины в периоды закачки и отбора газа, действие которых максимально от поверхности земли и до глубины 500-700 м [1]. Под действием этих факторов нарушается качество сцепления цементного камня с колонной и породой, возникают негерметичности колонн, утечки газа из ствола скважины, скопления газа за колоннами и коллекторах, заколонные перетоки из резервуара хранилища в вышележащие отложения. Все это приводит к созданию значительных техногенных скоплений газа, осложнению безопасной эксплуатации ПХГ и нарушению экологической ситуации в данном районе. Поэтому отработка технологии поиска скважин – источников техногенеза, ликвидация утечек и заколонных перетоков газа в них является актуальной задачей для подземного хранения газа.

Валиуллин Рим Абдуллович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геофизики. E-mail: valra@geotec.ru

Шарафутдинов Рамиль Фаизырович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры геофизики. E-mail: gframil@inbox.ru

Садретдинов Александр Александрович, ассистент кафедры геофизики. E-mail: sadretdinova@rambler.ru

Закиров Марат Финатович, старший преподаватель кафедры геофизики. E-mail: zakirov mf@rambler.ru

Хабиров Тимур Раильевич, ассистент кафедры геофизики. E-mail: khabirovtr@mail.ru

Шарипов Артем Маратович, аспирант

В работе [2] показано, что в скважинах с установленным тепловым потоком выявление интервалов заколонных перетоков и определение направления перетока успешно решается методами термометрии и иногда шумометрии. В настоящее время основным методом выявления заколонных перетоков в скважинах является термометрия. В эксплуатационных скважинах, в которых происходит закачка или отбор газа, решение этой задачи затруднительно из-за того, что температура в скважине зависит от многих факторов и в первую очередь от тепловой инерционности пород. Многообразие факторов, влияющих на распределение температуры в скважине, существенно осложняет решение задач при контроле ПХГ. Поэтому для обеспечения достоверной интерпретации данных скважинной термометрии важным моментом является использование модельных термометрических программ.

Математическая модель включает конвективно-кондуктивный перенос тепла в системе эксплуатационная скважина ПХГ – окружающие горные породы в процессе воздействия (закачка или отбор газа), а также после прекращения воздействия учитывает радиальную и вертикальную теплопроводность, конвективный перенос в стволе скважины и пласте, интервалы заколонного движения флюида и пластового движения подземных вод, литологию, конструкцию скважины.

Модель пласта. Допущения: однофазность; пренебрежение гравитационными слагаемыми; полное вскрытие пласта; отсутствует течение в вертикальном направлении. Описываемые процессы: нестационарность; конвективный перенос в радиальном направлении; кондуктивный перенос в радиальном и вертикальном направлениях; адиабатический эффект; эффект Джоуля-Томсона. Граничные условия: кондуктивный теплообмен на верхней и нижней границах; заданное давление на

внутренней и внешней границах или заданное давление и расход на внутренней границе; заданная температура втекающей жидкости на внутренней и внешней границах; заданный кондуктивный тепловой поток на внутренней границе.

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial(m\rho)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\rho \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial r} \right), R_w \leq r \leq R_k \quad (1)$$

где μ – вязкость, p – давление, R_w, R_k – радиусы скважины и контура питания, k – проницаемость.

В случае, если сжимаемостью пласта пренебрегается, уравнение преобразуется к следующему виду:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial r} \right) = 0, R_w \leq r \leq R_k \quad (2)$$

Скорость фильтрации определяется из закона Дарси:

$$v = - \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (3)$$

Уравнение сохранения энергии:

$$\begin{aligned} C \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rvT) = \\ = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(ra_r^* \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(a_z^* \frac{\partial T}{\partial z} \right) + m\eta \frac{\partial p}{\partial t} - \\ - \varepsilon \frac{\partial p}{\partial r} + q_{bh}, H_{top} \leq z \leq H_{bottom} \end{aligned} \quad (4)$$

$$C = \frac{m\rho c + (1-m)\rho_{sk} c_{sk}}{\rho c} \quad (5)$$

$$a_r^* = \frac{\lambda_r^*}{\rho c}, \quad a_z^* = \frac{\lambda_z^*}{\rho c} \quad (6)$$

где η, ε – адиабатический и Джоуля-Томсона коэффициенты, ρ_{sk}, c_{sk} – плотность и теплоемкость скелета пласта, H_{top}, H_{bottom} – кровля и подошва пласта.

Граничные условия на верхней и нижней границах:

$$\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=H_{top}} = 0, \quad \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=H_{bottom}} = 0 \quad (7)$$

Связывание будет осуществлено через источникные слагаемые, задаваемые в граничных ячейках. Граничные условия на внутренней и внешней границах при сопряжении с моделью скважины:

$$p|_{r=R_w} = P_w, \quad p|_{r=R_k} = P_k \quad (8)$$

где P_w, P_k – давление в скважине и на контуре питания.

Граничные условия на внутренней и внешней границе при сопряжении с моделью канала перетока:

$$p|_{r=R_w} = P_{ch}, \quad v|_{r=R_w} = \frac{Q_{ch}}{2\pi R_w (H_{bottom} - H_{top})} \quad (9)$$

где Q_{ch}, P_{ch} – величина расхода и давление на внутренней границе.

Полный тепловой поток на внутренней границе определяется как:

$$\begin{aligned} \left[\rho c v T - \lambda_r^* \frac{\partial T}{\partial r} \right]_{r=R_w} = \\ = \rho c v|_{r=R_w} T_{wall} - \alpha(z) [T|_{r=R_w} - T_{w(ch)}(z)] \end{aligned} \quad (10)$$

где T_{wall} – температура стенки скважины.

Температура стенки T_{wall} определяется по правилу против потока. Коэффициент $\alpha = h/R_w$. На внешней границе задается температура:

$$T|_{r=R_k} = T_k(z) \quad (11)$$

где $T_k(z)$ – геотермическое распределение температуры/

Модель скважины. Допущения: однофазность; сжимаемый флюид; средние по сечению параметры (одномерность); пренебрежение потерями на трение; пренебрежение гидростатикой. Учитываемые процессы: нестационарность; конвективный теплоперенос; кондуктивный теплоперенос в вертикальном направлении; адиабатический эффект; кондуктивный теплообмен с окружающей средой; конвективный массообмен с перфорированными пластами и каналами колонного перетока. Граничные условия: заданное давление на верхней границе; заданная температура на верхней границе в случае нагнетания в скважину; отсутствие массовых и тепловых потоков через нижнюю границу.

Уравнение неразрывности:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_w}{\partial z} = - \frac{q}{\pi R_{in}^2} - \frac{1}{\pi R_{in}^2} \sum_j Q_{chj} \delta(z - Z_{chj}), \\ 0 \leq z \leq H_{well} \end{aligned} \quad (12)$$

где R_{in} – внутренний радиус колонны.

Уравнение сохранения энергии:

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} + \frac{\partial v_w T_w}{\partial z} = \frac{1}{\rho c} \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_w \frac{\partial T_w}{\partial z} \right) - \frac{q_{wall}}{\pi R_{in}^2} - \frac{1}{\pi R_{in}^2} \sum_j Q_{chj} T_{chw} \delta(z - z_{chj}) - \frac{1}{\rho c} \frac{2h}{R_{in}^2} (T_w - T_{ex}) + \eta \frac{\partial p_w}{\partial t} \quad (13)$$

где T_w – температура в скважине, T_{ex} – температура на внешней границе.

Граничные условия:

$$v_w|_{z=H} = 0, \quad p_w = P_h(t), \quad T_w|_{z=0} = T_h(t), \quad \lambda_w \frac{\partial T_w}{\partial z} \Big|_{z=H_{well}} = 0 \quad (14)$$

Модель канала перетока. Допущения: однофазность; сжимаемый флюид; средние по сечению параметры (одномерность); течение согласно закону Дарси; пренебрежение гидростатикой; пренебрежение градиентом давления в области, сопрягаемой с моделью пласта; равномерный профиль массообмена с пластом. Учитываемые процессы: нестационарность; конвективный теплоперенос; кондуктивный теплоперенос в вертикальном направлении; адиабатический эффект; эффект Джоуля-Томсона; кондуктивный теплообмен с горной породой, пластом и скважиной; конвективный массообмен с пластом и скважиной. Граничные условия: заданное давление на границе со скважиной; заданный массовый расход на границе со скважиной; заданная температура на границе со скважиной в случае нагнетания в канал перетока; отсутствие массовых и тепловых потоков через границу $z=L_2$.

Модель заколонного перетока делится на два участка. Первый – от точки выхода в скважину до границы пласта-источника перетока ($0 \leq z \leq L_1$). Второй – в пределах пласта-источника перетока ($L_1 < z \leq L_2$). Уравнение неразрывности для первого участка:

$$\frac{\partial v_{ch}}{\partial z} = 0, \quad 0 \leq z \leq L_1 \quad (15)$$

где v_{ch} – скорость в канале перетока.

Уравнение неразрывности для второго участка:

$$\frac{\partial v_{ch}}{\partial z} = - \frac{q_{ch}}{S_{ch}}, \quad L_1 < z \leq L_2 \quad (16)$$

где S_{ch} – поперечное сечение канала перетока, $q_{ch} = const$ – массообмен с пластом/

Уравнение движения для первого участка:

$$v_{ch} = - \frac{k_{ch}}{\mu} \frac{\partial p_{ch}}{\partial z} \quad (17)$$

где k_{ch} – проницаемость канала перетока.

Для второго участка предполагается, что

$$p_{ch} = const, \quad L_1 < z \leq L_2 \quad (18)$$

Уравнение сохранения энергии:

$$\frac{\partial T_{ch}}{\partial t} + \frac{\partial v_{ch} T_{ch}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(a \frac{\partial T_{ch}}{\partial z} \right) - \frac{q_{ch} T_{wall}}{S_{ch}} - \frac{1}{\rho c} \frac{2\pi h_{ex}}{S_{ch}} (T_{ch} - T_{ex}) - \frac{1}{\rho c} \frac{2\pi h_m}{S_{ch}} (T_{ch} - T_w) + \eta \frac{\partial p_{ch}}{\partial t} - \alpha_{ch} \frac{\partial p_{ch}}{\partial z} \quad (19)$$

Индексами *in* и *ex* обозначаются величины, относящиеся к внутренней и внешней стенкам канала соответственно. Граничные условия:

$$v_{ch}|_{z=L} = 0, \quad v_{ch}|_{z=0} = \frac{Q_{ch}}{S}, \quad p|_{z=0} = P_h(t), \quad T|_{z=0} = T_h(t) \quad (20)$$

Модель горной породы. Уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial T_{sk}}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r a_{sk} \frac{\partial T_{sk}}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(a_{sk} \frac{\partial T_{sk}}{\partial z} \right) + q_{bh} \quad (21)$$

где T_{sk} – температура горной породы, a_{sk} – температуропроводность горной породы. При этом радиус внешней границы модели горной породы должен быть много больше, чем радиус температурного возмущения от скважины за моделируемый период. Граничные условия:

$$\lambda_{sk} \frac{\partial T_{sk}}{\partial r} \Big|_{r=R_k} = 0, \quad \left(\lambda_{sk} \frac{\partial T_{sk}}{\partial r} \right) \Big|_{r=R_w} = \frac{h}{R_w} (T_{sk} - T_{w(ch)}) \quad (22)$$

Для связанных с моделями пластов границ задается отсутствие теплового потока, связывание реализуется через источники слагаемые. Для несвязанных также задается отсутствие теплового потока:

$$\lambda_{sk} \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=H_{top}} = 0, \quad \lambda_{sk} \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=H_{bottom}} = 0 \quad (23)$$

Замыкающие соотношения.

Параметры пласта и скважины. Пористость является линейной функцией давления:

$$m = m_0 + \beta_{sk} (p - P_0) \quad (24)$$

Здесь β_{sk} определяется как

$$\beta_{sk} = \frac{\partial m}{\partial p} \quad (25)$$

Теплопроводность насыщенной горной породы λ^* определяется по модели Лихтенеккера:

$$\lambda^* = \lambda_{sk}^{1-m} \lambda^m \quad (26)$$

Параметры флюида. Плотность газа: $\rho = P/zRT$, где z – коэффициент сверхсжимаемости. Теплоемкость, теплопроводность, вязкость, коэффициент Джоуля-Томсона, адиабатический коэффициент считаются константами и определяются из соответствующих справочников.

Теплообменные коэффициенты. Коэффициенты теплообмена α вычисляются следующим образом:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{D} \quad (27)$$

где Nu – число Нуссельта. Гидравлический диаметр потока:

$$D = \frac{4S}{P}, \quad (28)$$

где S – площадь сечения потока, P – периметр потока. Для скважины $D=2R$, для потока за колонной $D=2(R_w - R_{cex})$.

Коэффициент теплопередачи:

- между скважиной и горной породой (вне интервала НКТ)

$$h = \frac{1}{\frac{1}{\alpha R_{in}} + \frac{1}{\lambda_{cem}} \ln \frac{R_w}{R_{ex}}}$$

- между скважиной и горной породой (в интервале НКТ);

$$h = \frac{1}{\frac{1}{\alpha R_{in}^{NKT}} + \frac{1}{\lambda_{an}} \ln \frac{R_{ex}^{NKT}}{R_{in}} + \frac{1}{\lambda_{cem}} \ln \frac{R_w}{R_{ex}}}$$

- для теплообмена между потоком в скважине и потоком за колонной (вне интервала НКТ)

$$h_{in} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{well} R_{in}} + \frac{1}{\alpha_{channel} R_{ex}}}$$

- для теплообмена между потоком в скважине и потоком за колонной (в интервале НКТ);

$$h_{in} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{well} R_{in}} + \frac{1}{\lambda_{an}} \ln \frac{R_{ex}^{NKT}}{R_{in}} + \frac{1}{\alpha_{channel} R_{ex}}}$$

$h_{ex} = \alpha_{channel} R_w$ – для теплообмена между потоком за колонной и горной породой.

Начальные и граничные условия. На границах сред выполняются условия равенства температур $T_i|_{r=R_i-0} = T_{i+1}|_{r=R_i+0}$ и тепловых потоков

$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial r} \Big|_{r=R_i-0} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}}{\partial r} \Big|_{r=R_i+0}$$

Первоначальное распределение температуры в системе “скважина-пласт” геотермическое. Дискретизация уравнения переноса тепла проводится конечно-объемным методом, основываясь на регулярной сетке с переменными шагами. При $r=0$ ставится условие отсутствия потока тепла и массы. Шаги сетки по r неравномерные, выбираются исходя из геометрических размеров конструкции скважины и литологии. Размер шага и количество шагов сетки выбирается автоматически исходя из условия не менее 5 шагов сетки в каждой области конструкции скважины, при этом обеспечивается совпадение границ областей с какой-либо границей ячейки. В пласте и породах шаги сетки увеличиваются по мере удаления от оси скважины по квадратичному закону. Шаги сетки в вертикальном направлении также подбираются соответственно имеющимся границам пластов или конструктивных элементов. Конвективные слагаемые рассчитываются схемой против потока, диффузионные – центральные разности. Полученная система линейных уравнений решается методом переменных направлений.

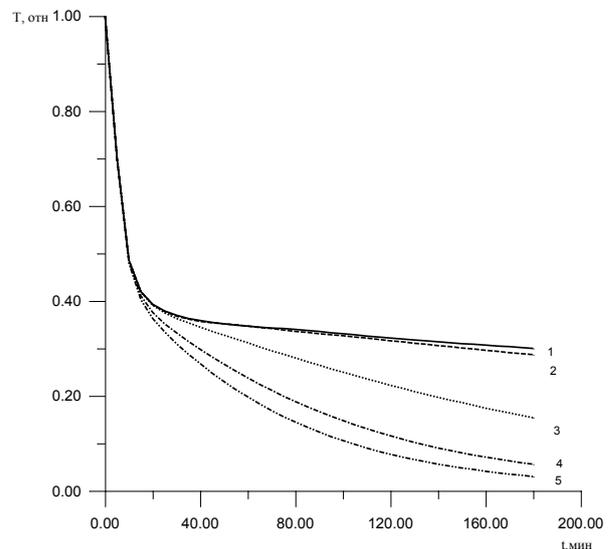


Рис. 1. Зависимость температуры от времени на глубине заколонного перетока газа с дебитами: 1 – 5, 2 – 50, 3 – 100, 4 – 500, 5 – 1000 тыс. м³/сут.

На рис. 1 приведены результаты расчетов зависимости температуры от времени в интервале заколонного перетока для различных дебитов заколонного перетока газа. Видно, что начиная с дебитов 200-500 м³/сутки температурное поле

чувствительно к изменению дебита заколонного перетока газа. Заколонный переток газа приводит к уменьшению скорости восстановления температуры в интервале перетока газа в скважине. Следовательно, измеряя кривую восстановления температуры в скважине через определенные промежутки времени, сравнивая ее с расчетной и геотермическим значением можно в эксплуатационных скважинах выявлять интервалы заколонных перетоков.

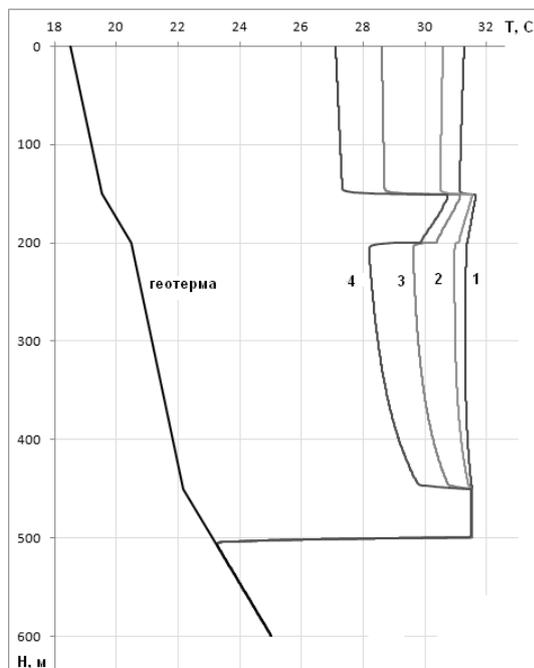


Рис. 2. Распределение температуры по глубине с дебитом заколонного перетока $500 \text{ м}^3/\text{сут}$ (при пластовых условиях): 1 – 0,5 часа, 2 – 1 час, 3 – 3 часа, 4 – 6 часов после окончания закачки

На рис. 2 приводится вариант расчета восстановления температуры по глубине при наличии заколонного перетока газа из продуктивного интервала в верхний пласт-коллектор после прекращения закачки газа. Данный пример соответствует случаю наличия солевой покрывки. Дебит заколонного перетока $500 \text{ м}^3/\text{сут}$. Из рис. 2 видно, что после прекращения закачки газа наблюдается распределения температуры по глубине к геотермическому распределению температуры. Интервал, в который поступает газ за счет заколонного перетока, отмечается замедленным темпом восстановления температуры.

Сравнение распределения температуры при наличии заколонного перетока и без перетока приведено на рис. 3. Видно, что при наличии заколонного перетока (синяя кривая) в интервале заколонного перетока наблюдается замедленный темп восстановления температуры по сравнению со случаем без перетока. Изменение градиента температуры в этом случае (без перетока) связано только с литологией. А в интервале пласта –

коллектора во всех случаях поглощения газа наблюдается отставание в темпах восстановления температуры.

Получение достоверной информации об интервалах и направлениях перетока газа выше резервуара ПХГ, при отсутствии явных признаков утечек из ствола, возможно при сравнительном анализе временных характеристик (например, кривых распределения температуры по разрезу, регистрируемых во времени по определенной технологии) с данными физического или математического моделирования и начальными фоновыми значениями. Начальные фоновые температурные характеристики снимаются перед пуском скважины в эксплуатацию, либо рассчитываются и реконструируются по результатам исследований наблюдательных и длительно простаивающих скважин.

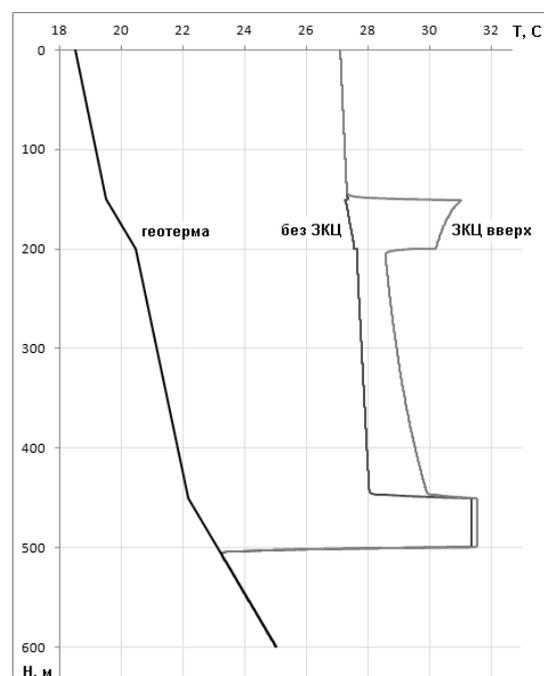


Рис. 3. Сравнение мгновенных распределений при наличии и отсутствии ЗКЦ через 6 часов после окончания закачки

Получение достоверной информации об интервалах и направлениях перетока газа выше резервуара ПХГ, при отсутствии явных признаков утечек из ствола, возможно при сравнительном анализе временных характеристик (например, кривых распределения температуры по разрезу, регистрируемых во времени по определенной технологии) с данными физического или математического моделирования и начальными фоновыми значениями. Начальные фоновые температурные характеристики снимаются перед пуском скважины в эксплуатацию, либо рассчитываются и реконструируются по результатам исследований наблюдательных и длительно простаивающих скважин.

При выявлении скважин – источников техногенеза, совместная интерпретация предусматривает процедуру анализа совокупности отрицательных факторов, описанных выше, установлении природы температурных аномалий на кривых восстановления температуры выше резервуара хранилища, проведение математического моделирования с учетом геолого-технических условий каждой конкретной скважины и сопоставление теоретических кривых с реальными термограммами.

На рис. 4 приведены результаты термометрии скважины №1 одного из ПХГ и их сравнение с расчетными данными термограмм по стволу скважины. Промышленно-геофизические исследования были начаты с режима длительной закачки газа – кривая $T_{дин}$ (рис. 2) и продолжены после остановки через 1, 5, 16 и 107 часов (кривые $T_{1ст}$, $T_{2ст}$, $T_{3ст}$ и $T_{4ст}$). Расчетные кривые $T_{1мод}$, $T_{2мод}$, $T_{3мод}$ приведены соответственно для 1, 5 и 16 часов с момента остановки скважины. Некоторое различие в распределении измеренной температуры $T_{1ст}$

и модельной $T_{1мод}$ связано влиянием конвективной составляющей (в математической модели считается, что после остановки скважины перенос тепла в стволе скважины происходит только за счет теплопроводности). Из рисунка видно, что в интервале 1130-1400 м на фоне условной геотермы на кривых $T_{1ст}$ – $T_{4ст}$ наблюдаются повышенные значения температуры по сравнению с аналогичными в интервале 400-1130 м. Указанные интервалы сложены каменной солью за исключением двух пропластков 1147-1200 и 1303-1321 м, где породы представлены переслаиванием глинисто-карбонатных и сульфатизированных известняков и доломитов. Характер восстановления температуры в скважине для каменной соли должен быть одинаков на любой глубине. Замедление этого процесса в интервале 1200-1400 м, связано с наличием заколонного перетока газа вверх из резервуара хранилища в коллекторы, расположенные на глубинах 1147-1200 и 1303-1321 м, т.е. в глинисто-карбонатные известняки и доломиты филипповского горизонта.

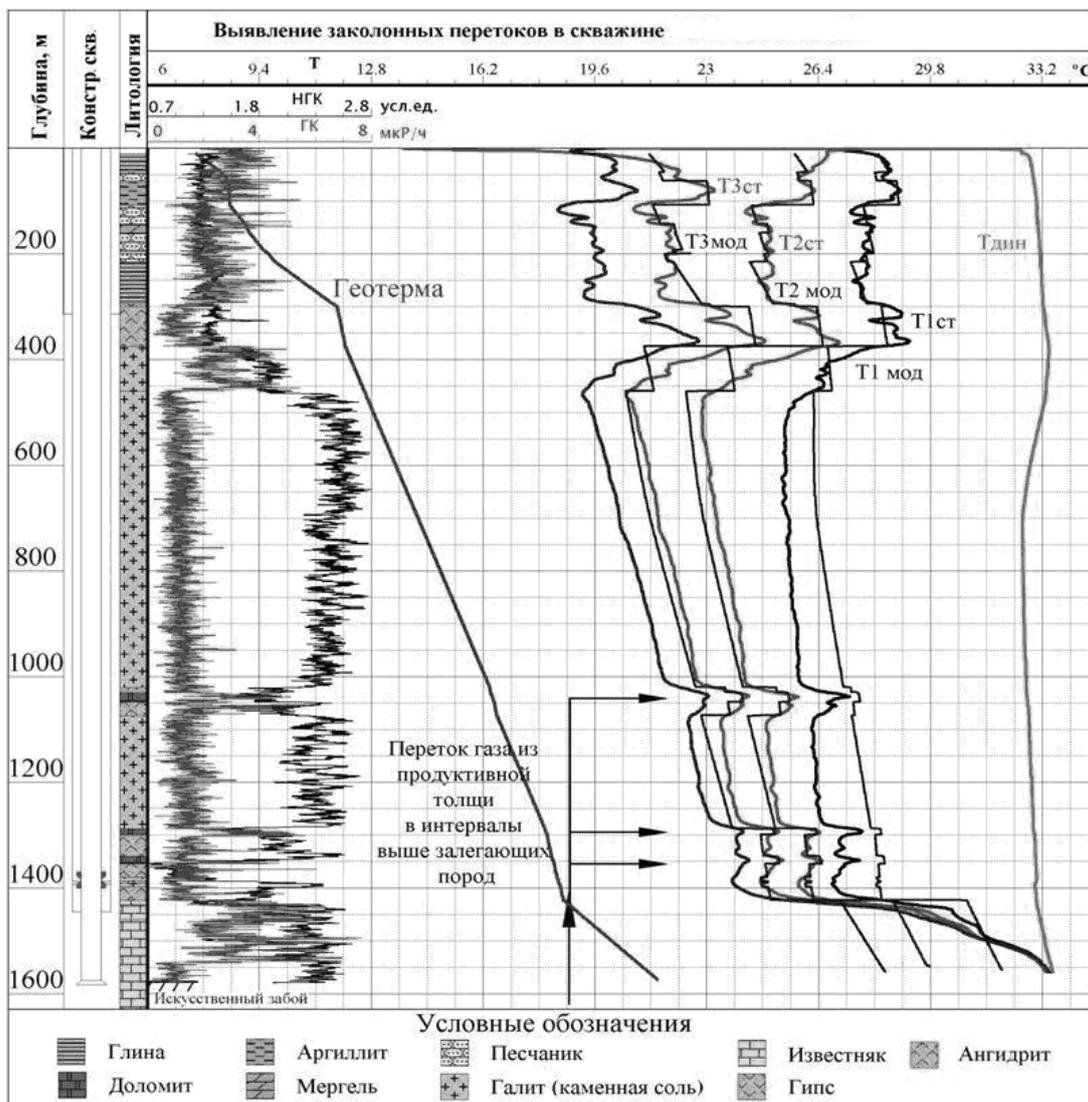


Рис. 4. Результаты промышленных исследований и сопоставление с результатами расчета

Выводы: математическое моделирование тепловых процессов в скважинах подземных хранилищ газа позволяет выяснить особенности распределения температуры в нестационарных условиях. Создание альбома кривых восстановления температуры для различных условий эксплуатации скважин ПХГ позволяет повысить уровень интерпретации по выявлению техногенных нарушений, определения работающих интервалов, заколонных перетоков и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Деркач, А.С. Технология промышленно-геофизических исследований в условиях осложненной экологической ситуации на подземных хранилищах газа / А.С. Деркач, Р.Г. Темиргалеев, В.Ф. Шулаев // От скважинных сейсморазведочных работ до промышленно-геофизических исследований в скважинах и их комплексной обработки с материалами сейсморазведки МОГТ при поисках, разведке, разработке месторождений углеводородов и эксплуатации ПХГ. – Уфа: Башкирский государственный университет, 1998. С. 13-21.
2. Шулаев, В.Ф. Опыт интерпретации термометрии скважин подземных хранилищ газа / В.Ф. Шулаев, А.В. Калинин // НТВ Каротажник. – Тверь: изд. АИС, 2008. Вып. 8. С. 52-61.

ECOLOGICAL QUESTIONS OF CONTROL FOR OPERATION OF UNDERGROUND GAS STORAGE WELLS

© 2015 R.A. Valiullin, R. F. Sharafutdinov, A.A. Sadretdinov, M.F. Zakirov, T.R. Khabirov, A.M. Sharipov

Bashkir State University, Ufa

In work questions of identification the cross-flows in underground gas storage wells are considered. Mathematical models and algorithms of identification the cross-flows according to thermometry of wells are considered. Examples of interpretation and data processing the thermohydrodynamic researches of underground gas storage wells are given.

Key words: *underground gas storage, cross-flows, technogenic congestions of gas, thermometry*

Rim Valiullin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Geophysics Department. E-mail: valra@geotec.ru

Ramil Sharafutdinov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor at the Geophysics Department. E-mail: gframil@inbox.ru

Alexander Sadretdinov, Assistant at the Geophysics Department. E-mail: sadretdinovaa@rambler.ru

Marat Zakirov, Senior Teacher at the Geophysics Department. E-mail: zakirov mf@rambler.ru

Timur Khabirov, Assistant at the Geophysics Department. E-mail: khabirovtr@mail.ru

Artem Sharipov, Post-graduate Student