УЧЕТ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СУЗУНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© А.Г. Каграманов, М.И. Касумов, Н.Д. Булчаев, А.Ш. Халадов
ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Вследствие малоизученности геокриологических условий ряда скважин месторождений Сибири, авторы провели исследования, направленные на разработку методов стабилизации теплообменных процессов и сохранения природной среды. Была предложена эффективная методика сохранения баланса в системе скважина – пласт, что будет крайне актуально на месторождениях Сибири, арктического и субарктического климатического пояса.

Изучаемое нами Сузунское месторождение характерно тем, что оно состоит в области многолетнемерзлых пород (ММП) и подвержено их непрерывному воздействию. Оно принадлежит Западно-Енисейской зоне, которая, в свою очередь, входит в Западно-Сибирско-Хатангскую глубинку, характеризующуюся высокой отрицательной температурой (Гинсбург, 1971).

Общегодовая температура мерзлотного рельефа и пород меняется в огромной доле местности от -1°C вплоть до -5°C . Преимущественно холодные температуры характерны промерзшим осадочным породам равнин и террас, в плоскости которых сформирован низкий мохово-лишайниковый слой, который почти никак не противодействует выдуванию осадков.

Помимо этого, в данной статье была проведена работа по моделированию теплообменных процессов между скважинами и зоной расположения многолетнемерзлых пород.

Ключевые слова: подошва пласта, температура грунтов, многолетнемерзлые породы, геотермальный градиент.

Криотемпература земли в подошве покрова годовых теплооборотов (приблизительно 15 м толщины) в водораздельных равнинах ожидается падает с юга на север от -3°C вплоть до -8°C . В речных равнинах температура промерзших пород чаще всего больше на 2°C [1].

Отталкиваясь от данных, полученных с каротажных диаграмм и снятых в Сузунском месторождении, находящихся в зоне перманентной мерзлоты, скважинам Сз-1 и Сз-2 – квернотометрия, КС, ПС. Благодаря термокаротажу на скважине Сз-1 и Сз-3, установлена нижняя линия мерзлоты. Слой промерзлой области располагается в границах 520-570 м. Разработками на протяжении 3-х лет было определено, что черта температур, находящихся ниже нуля, присутствует и на глубине 555 м.

Входящим в нижний гидрогеологический этаж можно назвать около трех водоносных кластера: юрский, неомский и апт-альб-сеноманский.

В Большехетском нефтегазовом районе осадки водоносного кластера возрастом юрского периода сформированы повсюду и показаны в большей степени глинистыми осадками, переслаивающимися с песочными и песчано-алевритистыми разностями пород. Целиком осадки кластера не перфорированы.

Стратиграфический анализ. На Сузунском месторождении породы имеют два вида происхождения: осадочные и метаморфические. Уже определена принадлежность метаморфических пород к архейско-среднепротерозойской эре, а осадочных – к ранне-среднепалеозойскому, позднепалеозойско-ранне-мезозойскому и мезозойско-кайнозойскому периоду. Сейчас глубоким бурением вскрыты лишь только отложения мезозойско-кайнозойского возраста. Информация о сложении более древних отложений будет только гипотезой [2].

Основа данного фундамента в этой местности по некоторым предположениям сформиро-

Рис. 1. Стратиграфический анализ юрских и меловых отложений

рована кластером метаморфических отложений, возрастом архейско-протерозойской эры. Вышезалегающие породы возрастом позднепротерозойского и палеозойского (в большей степени начала палеозоя) терригенно-карбонатных отложений (единая мощность которых будет равна до 4 000 м.) принимают непосредственное участие в формировании неровного,

складчатообразного фундамента. Было разведано, что в истоках мезозойского площадкообразного чехла находятся как материковые вулканогенно-осадочные осадки, так и осадочные образования триаса.

Мезозойско-кайнозойский период показан в виде осадок юрского, мелового и четвертичного возраста (рис. 1).

Тектоническая характеристика района.

Развитие террасы завершилось в рубеже границ леонтьевской и малышевской свит. В данный промежуток она заполучила валлообразную фигуру и занимала основную и южную доли исследуемого участка.

По данным районирования, проделанного с использованием этой систематизации (рис. 2), исследуемая нами местность большей частью располагается в границах Болшихетской скелетной мегатеррасы, положительного незамкнутого элемента I порядка в пределах Надым-Тазовской синеклизы Западно-Сибирской плиты.

Согласно данным, сузунские залежи находятся в границах похожего валлообразного возвышения, которое, в свою очередь, осложнено границами лицензионной области как Сузунского, так и Токачинского местного возвышения. При этом оба этих возвышения нацелены по оси вышеупомянутого валлообразного возвышения в субширотном течении. Согласно верхнемеловым отложениям, Сузунское местное возвышение закрывается рельефной изогипсой, равной 830 м, его амплитуда равна 30 м, протяженность – 16,9 км и ширина около 5,5 км. Токачинское местное возвышение протягивается с северной части на южную и закрывается изогипсой, равной 830 м, с амплитудой 50 м, протяженность – 21,2 км и ширина – 5,1 км.

В той области нижнемеловых осадков и то и другое возвышения соединяются в общее Сузунское местное возвышение, усложненное 2-мя малоамплитудными куполами. Оно закрывается изогипсой – 2540 м, обладает амплитудой 40 м, протяженностью 31,8 км, наибольшая ширина – 11,0 км.

Подробная структура замечается по юрским отложениям (кровля сиговской свиты). По этой высоте Сузунское местное возвышение закрывается изогипсой – 3180 м, обладает амплитудой 50 м, его протяженность – 26,2 км, наибольшая ширина – 11,3 км.

В истоке юрского периода днище морского бассейна, каким считалась нечеткая плоскость триас-палеозойского начала, показывала собою моноклиналь западного падения, усложненную в основной доле участка террасообразной площадкой. Разность глубин была равна

более 400 м. В восточной доле участка (на рубеже и за границами Сузунской лицензионной области) замечается линейно тянущаяся валлообразная складка, надлежашая наклоненному в южном направлении горсту в триасовых отложениях, урезанному 2-мя параллельными разломами. Амплитуда складки представляла более 200 м. Терраса, прилегающая к западному скату валлообразной складки, вероятно, сформировавшаяся в ходе денудации триасовых пород при едином погружении местности ниже уровня моря в раннеюрский период [3].

В ходе осадконакопления в нижнеюрский и отчасти среднеюрский периоды проистекает корректировка морского днища, также к западу от горстообразного возвышения создается широкая палеоплощадка немного тянущегося очертания в юго-западной стороне.

Терморегулирующее устройство

Бурение предполагает применение для обсадных колонн теплоизоляционных материалов. Аналогичных точно как термокейсам – колонны начинают создавать из металлических труб, диаметр может быть разный и зависит от условий требуемой скважины. Но стандартно он равен 530 и 820 мм. Обязательным условием будет использование технологической схемы: «труба в трубе» с последующей заливкой межтрубного свободного места теплоизолирующим веществом, например – пенополиуретаном [3]. Устройство протяженностью 24 м произведено из верхней и нижней секций, которые объединяют с использованием фланцев либо сварным швом. Нижний компонент установки оснащен фиксатором с целью крепления на какой-либо ограниченный по времени срок опорных элементов, которые будут упираться в устье скважины во время монтажа колонны. Пространство, необходимое для объединения компонентов, обязательно теплоизолируют оболочками, например как пенополиуретановые скорлупы, затем вводится железный обвод и стягивается хомутами. И только после окончания установки опорные части убираются, и колонна может вводиться в рабочее состояние. Свободное место среди колонны и скважины следует заполнять цементным раствором. Эта методика рекомендуется в основном на мелких пластах под воздействием многолетнемерзлых

Рис. 2. Схема структурно-тектонического районирования по верхнемеловым отложениям

грунтов – вплоть до 30 м и при температуре эксплуатации до -60°C [4].

Однако ограничение использованием лишь данного метода не сможет полностью решить существующую проблему. Авторы предполагают для решения этой проблемы использование терморегулирующего устройства.

Внутренней трубой является насосно-компрессорная труба, а внешней – труба, изготовленная из стали или алюминиевого сплава, распределяющая температуру от ореолов термоэлектрических сборок, удерживающихся металлической проволокой. Втулки на внешней трубе увеличивают эффективность теплоотвода и соединяют секции. Компенсаторы линейных расширителей созданы в виде гофрированной

диафрагмы. Теплоизоляционные скорлупы имеют материал с низкой теплопроводностью, например – пенополиуретана, выполняющие функцию фиксирования теплового потока и не дающие ему уйти во внешнюю трубу.

С помощью локализованно установленных термоэлектрических элементов, СТЭМ может управлять процессом теплообмена в межтрубном пространстве скважины, что делает ее крайне эффективной в многолетне-мёрзлых породах.

Учитывая, что скважины Ванкорского кластера находятся в зоне вечной мерзлоты, разработаны дополнительные меры, для того чтобы не растоплять пласты и сохранить экологический баланс системы. Для решения этой

Рис. 3. Конструкция скважинного термоэлектрического модуля.

Строение скважинного термоэлектрического экранированного модуля: Внутренняя труба – 1; Внешняя труба – 2; Компенсаторы линейных расширений в верхней части СТЭМ – 3; Теплоизоляционные скорлупы – 4; Термоэлектрические сборки – 5; Центрирующие кольца – 6; Наполнитель – 7; Кабель – 8; Переходники – 9; Разъемные соединения – 10; Металлическая проволока – 11; Втулки на внешней трубе – 12; Муфты – 13.

проблемы рекомендовано использование для обсадных колонн термокейсов, покрытых снаружи прочной пленкой из СВМПЭ, имеющих низкий коэффициент трения и достаточную ударную вязкость. Кроме того, этот материал хорошо защищает металл от коррозии. В качестве утеплителя можно использовать войлок, стекловату и другие. В дополнение к этому предлагается терморегулирующее устройство СТЭМ [5].

Допускаемое значение линейного теплового потока $Y_{\text{скв.д}}$, в котором температура на внешней плоскости колонны будет равна температуре фазовых превращений многолетне-мерзлой породы.

$$q_{\text{скв.д}} = \frac{\pi(t_{\text{ж}} - t_{\text{ф}})}{\left(\sum_{i=1}^{i=1} \frac{1}{a_i d_i} + \sum_{i=2}^{i=k} \frac{1}{\ln \frac{d_i M}{d_i}} \right)} \quad (1)$$

Определяем разность фактического и допускаемого линейных тепловых потоков, Вт/м:

$$\Delta q = [q_{\text{скв.ф}} - q_{\text{скв.д}}] \quad (2)$$

Требуемая холодопроизводительность СТЭМ Q_0 , Вт:

$$Q_0 = \Delta q l \quad (3)$$

Количество термоэлектрических элементов в СТЭМ:

$$n_1 = \frac{Q_0}{Q_M} \quad (4)$$

где Q_M – холодопроизводительность одного термоэлектрического компонента, Вт.

Связь температуры на внешней плоскости СТЭМ от холодопроизводительности от одного термоэлектрического элемента и расстояния z от него:

$$t = \frac{-Q_M}{2\pi\lambda z_M} \cdot \frac{\left(m - \frac{d_z}{\lambda}\right)e^{-ml}e^{m-z} + \left(m + \frac{d_z}{\lambda}\right)e^{-ml}e^{-mz}}{m(e^{ml} + e^{-ml}) + \frac{\alpha_2}{\lambda}(e^{ml} + e^{-ml})} + t_{\text{окр}}. \quad (5)$$

где $m = \sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda_6}}$; z_M – длина работающего термоэлектрического элемента, м;

l – длина рассматриваемого участка, м;

λ – показатель теплопроводности использованного материала трубы, Вт/(м °C);

α_1 – показатель теплоотдачи внешней трубы, Вт/(м °C);

α_2 – показатель теплоотдачи торца трубы, Вт/(м °C);

δ – слой стены внешней трубы (кожуха) термоэлектрического модуля, м;

$t_{\text{окр}}$ – температуры среды между лифтовой и эксплуатационной колоннами (затруб), °C.

Исходя из вышесказанного, можно констатировать, что температура в плоскости внешнего цементного кольца обязана являться равной или меньшей температуры фазовых метаморфоз промерзлой породы, при функционирующем термоэлектрическом компоненте. Математическое выражение этой температуры представлено формулой (6):

$$t_k = t_{\text{ж}} - \frac{q_{\text{скв}}}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{\text{нз}}} \ln \frac{d_{\text{в СТЭМ}}}{d_2} \right) + \frac{Q_M}{2\pi\lambda z_M} \frac{\left(m - \frac{\alpha_m}{\lambda}\right)e^{-ml}e^{m-z} + \left(m + \frac{\alpha_m}{\lambda}\right)e^{-ml}e^{-mz}}{m(e^{ml} + e^{-ml}) + \frac{\alpha_m}{\lambda}(e^{ml} + e^{-ml})} - \frac{q_{\text{скв}}}{\pi} \left(\sum_{i=2}^3 \frac{1}{\alpha_i d_i} + \sum_{i=3}^k \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{1+z}}{d_1} \right) \quad (6)$$

Из пропорций длин исследуемой плоскости и распределения нынешней температуры промерзлой породы устанавливаем нужное количество термоэлектрических компонентов в СТЭМ с целью управления термическими потоками:

$$n_2 = \frac{l_1}{l_0} \frac{3,14D}{l_3} \quad (7)$$

где l_0 – максимальная дистанция с термоэлектрического компонента, при которой на внешней плоскости слоя конструкции скважины ниже температуры фазовых превращений мерзлой породы, м; l_1 – протяженность исследуемой зоны скважины, в коей нужно сохранять температуру фазовой метаморфозы мерзлой породы, м; D – внешний диаметр внутренней трубы СТЭМ, м.

Советуемое количество термоэлектрических компонентов в СТЭМ с учетом 2-х расчетов, шт:

$$n = \frac{n_1 + n_2}{2} \quad (8)$$

Результаты использования дали положительный эффект на ряде скважин Ванкорского месторождения.

Заключение. Применение термокейсов или же других термоизолирующих устройств способно только замедлить процессы протаивания многолетнемерзлых пород вокруг рабочей скважины. Поэтому в данной работе авторами был предложен расширенный ряд

мероприятий для максимально полезного использования терморегулирования на продуктивных скважинах в зоне вечной мерзлоты.

Данное экспериментальное моделирова-

ние показало, что терморегулирующие устройства позволяют эффективно регулировать ореолы протаивания, вследствие чего избежать значительных затруднений эксплуатации, таких как провалы и пучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Решения межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию региональной стратиграфической схемы палеозойских образований Западно-Сибирской равнины. (Новосибирск, 1999 г.). СНИИГГиМС. Новосибирск, 1999. 79 с.
2. Баясан Р.М. Парожидкостные термостабилизаторы грунта различных типов и назначения, их конструктивные и теплотехнические особенности / Р.М. Баясан, А.Д. Лобанов и др. // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2012. №4 (32). С. 11-1.
3. Баясан Р.М. Сравнительная оценка эффективности работы двухфазных термосифонов для термостабилизации грунтов в криолитозоне / Р.М. Баясан, А.Д. Лобанов и др. // Инженерные изыскания. 2012. №7. С. 63.
4. Байбародских Н.И., Назимко в Г.Д. и др. Перспективы нефтегазоносности Красноярского края. Красноярск: КГУ, 1964.
5. Булчаев Н.Д., Газабиева З.Х., Магомадова Э.И. Методы борьбы с коррозией в условиях ванкорского нефтегазового месторождения. Грозный: Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, 2018. С. 180-187.

CONSIDERATION OF GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS IN THE DEVELOPMENT OF THE SUZUNSKOYE FIELD.

© A.G. Kagramanov, M.I. Kasumov, N.D. Bulchaev, A.Sh. Khaladov
GSTOU named after acad. M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia

The poor knowledge of the geocryological conditions of a number of wells in Siberian fields, the authors carried out research aimed at developing methods for stabilizing heat transfer processes and preserving the environment. An effective method for maintaining a balance in the well-reservoir system was proposed, which will be extremely important in the fields of Siberia, the arctic and subarctic climatic zones.

The zone of the Suzunskoye field is located in the area of continuous influence of permafrost rocks (permafrost), also in geocryological connection it belongs to the West Yenisei subzone of the West Siberian-Khatanga permafrost hinterland (Ginsburg, 1971).

The total annual temperature of the permafrost relief and rocks varies in a huge part of the area from -1°C to -5°C . Predominantly cold temperatures are characteristic of frozen sedimentary rocks of plains and terraces, in the plane of which a low moss-lichen layer is formed, which almost does not in any way oppose the blowing of sediments.

In addition, in this article, work was, carried out to simulate heat transfer processes between wells and the permafrost zone.

Keywords: base surface, soil temperature, permafrost, geothermal gradient.

REFERENCES

1. (1999) Resheniya mezhvedomstvennogo stratigraficheskogo soveshchaniya po rassmotreniyu i prinyatiyu regional'noi stratigraficheskoi skhemy paleozoiskikh obrazovaniy Zapadno-Sibirskoi ravniny. [Decisions of the interdepartmental stratigraphic meeting for the consideration and adoption of the regional stratigraphic scheme of the Paleozoic formations of the West Siberian Plain]. SNIIGiMS. Novosibirsk, 79 p.
2. Bayasan, R.M., Lobanov, A.D. and others. (2012) 'Parozhidkostnye termostabilizatory grunta razlichnykh tipov i naznacheniya, ikh konstruktivnye i teplotekhnicheskie osobennosti'. *Truboprovodnyi transport: teoriya i praktika*. [Vapor-liquid thermal stabilizers of soil of various types and purposes, their design and heat engineering features. Pipeline transport: theory and practice]. No. 4 (32). P. 11-1
3. Bayasan, R.M., Lobanov, A.D. and others. (2012) 'Sravnitel'naya otsenka effektivnosti raboty dvukhfaznykh termosifonov dlya termostabilizatsii grunta v kriolitozone'. *Inzhenernye izyskaniya*. [Comparative evaluation of the efficiency of two-phase thermosyphons for thermostabilization of soils in permafrost. Engineering surveys]. №7. P. 60-63
4. Baybarodskikh, N.I., Nazimkov, G.D. and others. (1964) Perspektivy neftegazonosnosti Krasnoyarskogo kraya. [Perspectives of oil and gas potential of the Krasnoyarsk region]. KSU, Krasnoyarsk.
5. Bulchaev, N.D., Gazabieva, Z.Kh. and Magomadova, E.I. (2018) 'Metody bor'by s korroziei v usloviyakh vankorskogo neftegazovogo mestorozhdeniya' *Groznyanskii gosudarstvennyi neftyanoi tekhnicheskii universitet imeni akademika M.D. Millionshchikova*. [Methods of combating corrosion in the conditions of the vankor oil and gas field. Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov]. Pp. 180-187.