

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН В РАЙОНАХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Бирих Р.А., Павлова П.Л.

Научный руководитель – доцент Колосов В.В.

Сибирский федеральный университет

Север является в настоящее время основной базой добычи энергетического сырья – нефти и газа, и по прогнозным оценкам на ближайшую перспективу 25-30 лет это положение не изменится. К характерным особенностям данного региона относятся суровые климатические условия и наличие вечной мерзлоты.

Вечная мерзлота покрывает 65% территории России. Наиболее широко она распространена в Восточной Сибири и Забайкалье. В районах распространения вечной мерзлоты на территории РФ сосредоточено более 80% разведанных запасов нефти, около 70% - природного газа. Глубина многолетнемерзлых пород варьируется от нескольких десятков метров до 1,5 километров. Температура этих пород в разных районах изменяется от -1°C до -10°C . Сооружение и эксплуатация скважин, в районах с многолетнемерзлым грунтом вызывает ряд специфических осложнений. Осложнения заключаются в том, что нефть залегающая в глубоких горизонтах имеет высокую температуру и при протекании через скважину растапливает вечномерзлый массив, представляющий собой смесь льда и твердых частиц. Известны случаи падения нефтяных вышек, связанные с протаиванием многолетнемерзлых грунтов и образованием «плавунов». Просадка грунта вследствие таяния многолетней мерзлоты является одной из наиболее актуальных проблем нефтедобывающей промышленности в северных регионах.

Наиболее эффективным и легко реализуемым методом защиты скважин от последствий фазовых переходов является повышение термического сопротивления скважин в интервале многолетнемерзлых пород.

Этот способ сохранения многолетнемерзлых пород целесообразен при использовании высококачественной теплоизоляции в регионах с низкой температурой мерзлого грунта.

Протаивание многолетнемерзлого грунта на поверхности изоляции возможно лишь в том случае, если ее температура превышает 0°C .

Процесс переноса теплоты от нефти к грунту в стационарном режиме может быть описан системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_l = \frac{\pi(t_1 - t_3)}{\frac{\frac{1}{2\lambda_1} \ln d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln d_3} \\ q_l = \frac{\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{2\lambda_1} \ln d_2} \end{array} \right. \quad (1)$$

где q_l - линейная плотность теплового потока, t_1 - температура скважины, t_2 - температура наружной поверхности изоляции, t_3 - температура многолетнемерзлого

массива, λ_1 – коэффициент теплопроводности изоляции, λ_2 – коэффициент теплопроводности мерзлого грунта, d_1 – диаметр скважины, d_2 – диаметр изоляции, d_3

- удвоенное расстояние от центра скважины до точки, в которой тепловой поток от скважины не влияет на температуру грунта (рис.1).

Решая (1) относительно температуры наружной поверхности изоляции t_2 получим:

$$t_2 = t_1 - (t_1 - t_2) \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1 \frac{d_2}{d_1}}{\lambda_2 \frac{\ln d_3}{d_2}}} \quad (2)$$

Учитывая, что условие сохранения мерзлоты на поверхности соприкосновения многолетнемерзлого грунта с теплоизоляцией $t_2 \leq 0$, после несложных математических преобразований получим:

$$-\frac{t_2}{t_1} \geq \frac{\lambda_1 \frac{d_2}{d_1}}{\lambda_2 \frac{\ln d_3}{d_2}} \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет определить необходимые теплофизические свойства и диаметр изоляции для эффективного предохранения грунта от протаивания.

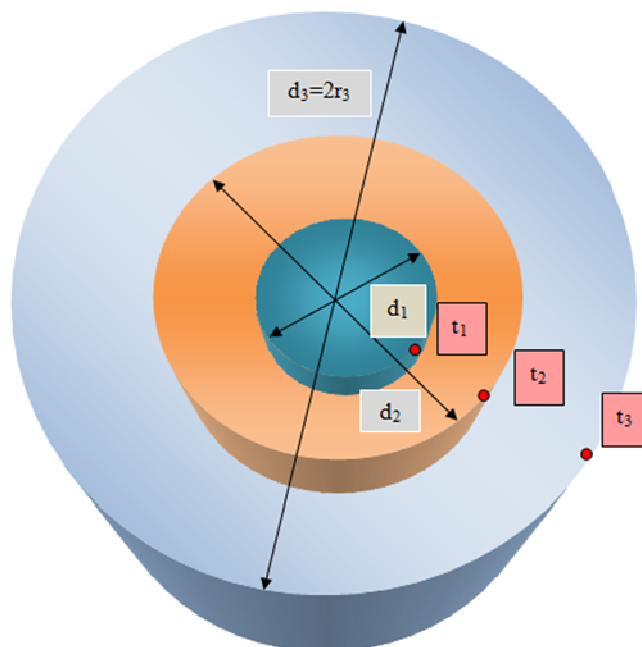


Рисунок 1 – Скважина оснащенная теплоизоляцией в многолетнемерзлом массиве

Применение высококачественной теплоизоляции позволяет во многих случаях отказаться от энергозатратных и экологически опасных технологий с применением хладагентов, а также позволяет предохранить нефть от чрезмерного охлаждения при движении через многолетнемерзлые породы. Снижение температуры нефти приводит к

повышению ее вязкости, образованию на внутренней поверхности трубы парафиновых отложений и уменьшению добычи.

В случае, если неравенство (3) не выполняется (например при высоких температурах многолетнемерзлого грунта и нефти), используются активные методы защиты многолетнемерзлых пород от протаивания, связанные с использованием захлаживающих элементов в которых циркулирует хладоноситель или испаряющийся хладагент.

На кафедре «Теплотехника и гидрогазодинамика» создана методика расчета температурных полей, позволяющая просто и наглядно определить температурное поле вокруг скважины в слое изоляции и мерзлом грунте с использованием захлаживающих элементов.

На рис. 2 изображено температурное поле, рассчитанное численным методом в программе Microsoft Excel. На рисунке видны прилегающие к наружной поверхности изоляции слои грунта, имеющие положительную температуру (показаны белым цветом на рис.2), что в реальных условиях приведет к их таянию и образованию «плавунов».

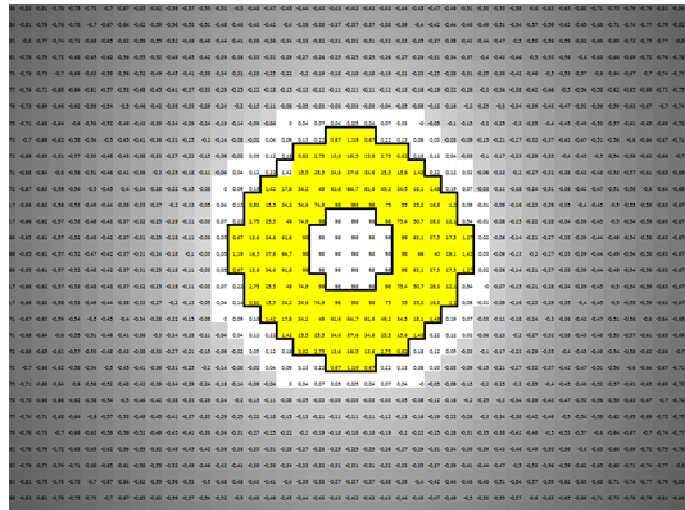


Рисунок 2 – Температурное поле вокруг скважины без захлаживающих элементов в случае если условие (3) не выполняется

Для предотвращения разрушения вечноммерзлого грунта могут быть введены захлаживающие элементы (показаны черным цветом на рис.3). Введение этих элементов способствует снижению температуры вблизи поверхности изоляции, таким образом, чтобы нулевая изотерма прошла внутри слоя изоляции. Это отображено на рис. 4.

Расчет выполнен в программе при следующих данных: температура грунта -2°C , температура скважины 98°C , температура захлаживающих элементов -10°C , коэффициент теплопроводности теплоизоляции $0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, коэффициент теплопроводности грунта $0,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, диаметр скважины 250 мм , диаметр теплоизоляции 750 мм .

Разработанная методика позволяет рассчитать температурное поле вечноммерзлого грунта при различных его температурах, различных температурах охлаждающих элементов, различном их расположении, диаметрах и коэффициентах теплопроводности грунта и изоляции. Определить оптимальное количество захлаживающих элементов при различных параметрах скважины.

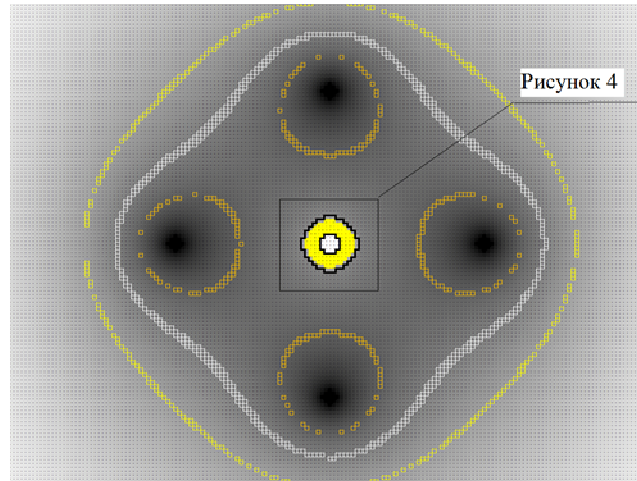


Рисунок 4

Рисунок 3 – Температурное поле вокруг скважины при использовании четырех захлаживающих элементов (захлаживающие элементы показаны черным цветом, белые линии изотермы)

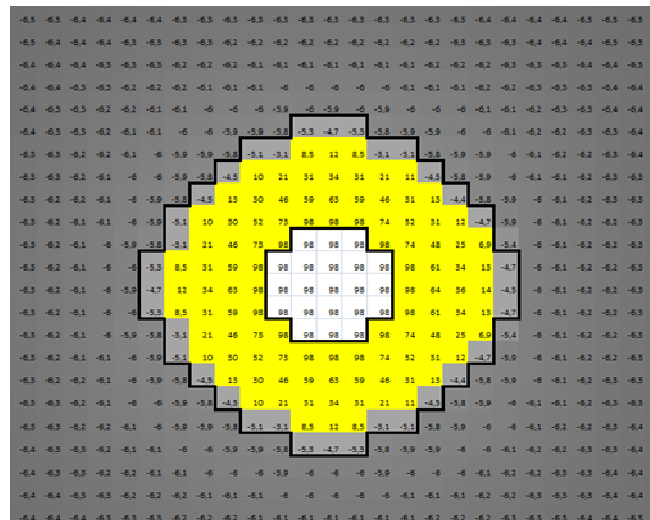


Рисунок 4 – Температурное поле вблизи скважины при использовании четырех захлаживающих элементов (нулевая изотерма проходит внутри изоляции по границе белой и серой областей)

Использование эффективной изоляции позволяет снизить расход энергии на установку и обслуживание захлаживающих элементов, а также предотвратить риск загрязнения окружающей среды.

В том случае, если установка захлаживающих элементов необходима, данная методика позволяет определить оптимальное количество, расположение и температуру захлаживающих элементов, что может существенно снизить энергетические затраты и повысить экологическую безопасность

Расчет позволяет показать, что изотерма находится внутри изоляции и вблизи ее наружной границы, что уменьшает потери тепла со стороны нефти, затраты энергии на охлаждение.