

УДК 622 642.3(088.8)

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ
ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ**

Докт. техн. наук

Т.К. Ахмеджанов

Г.Ж. Кенжетаев

Теоретически рассмотрен тепловой баланс стенок труб нефтепровода и потери тепла излучением. На основании анализа предложен способ изоляции труб для уменьшения их охлаждения из светопрозрачной полимерной пленки.

Добыча нефти на ряде месторождений Казахстана (Жетыбай, Жанаозен и др.) показало их высокую степень вязкости при понижении температуры. При этом вязкость зависит не только от состава нефти, т.е. наличия в ней асфальто-смоло-парафинистых образований, т.е. частиц парафино-смолистых веществ, но и температуры. Взаимодействие таких частиц между собой и жидкой фазой определяет законы вязкости, застывания и течения. При высоких температурах течение такой нефти подчиняется закону Ньютона. Точка застывания нефти определяется температурой, при которой теряется текучесть продукта. Температура застывания зависит от химического состава нефти и главным образом от содержания высокомолекулярных парафиновых углеводородов с относительно высокой температурой плавления.

При охлаждении нефти в некотором интервале температур происходит выпадение частиц наиболее тяжелых углеводородов, в основном парафинов, в результате чего образуется гель и теряется подвижность. Парафин способен при охлаждении связать весь объем жидкого продукта, несмотря на его небольшое содержание, благодаря чрезвычайно большому количеству образующихся кристалликов. В связи с этим переход нефти из жидкого состояния в твердую фазу происходит не в одной определенной температурной точке, а в некотором интервале температур. Этот переход из одного состояния в другое сопровождается загустением, при котором теряется подвижность продукта.

Так на нефтедобывающей скважине снижение температуры нефти в промежутке расстояния от забоя скважины до устья колеблется в интервале от 75 °С до 34 °С, что ниже температуры разжижения парафиновых смол. Это приводит к образованию асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО) на стенках устьевого оборудования и штанге. В результате указанного уменьшается «свободное» сечение устья скважины, что в конечном итоге приводит к падению давления во всей системе.

Для устранения АСПО на месторождениях по добыче высоковязкой нефти применяется ингибиторная защита. При этом в моменты падения давления в устье скважин непрерывно подаются поверхностно-активные вещества (ПАВ) и осуществляется интенсификация работы насосов.

Металлические поверхности устьевого оборудования скважины не имеют теплоизоляции, и поэтому нагретые за световой день открытые поверхности в условиях сухого и жаркого климата Мангистау будут отдавать тепло окружающей атмосфере в ночное время под воздействием эффективной температуры небосвода. Охлаждение стенок труб при этом способствует в значительной мере парафиноотложению. Таким образом, основные теплопотери с металлических поверхностей устьевого оборудования происходят за счет теплопередачи излучением. Теплоотдача от открытых наружных поверхностей устьевого оборудования обусловлена вынужденной естественной конвекцией. Теплообмен нефти со стенками труб протекает также в силу наличия конвекции. Для вертикальной стенки соответствующее критериальное уравнение теплоотдачи имеет вид

$$N_{изж} = C(Gr_{жс} \cdot Pr_{жс})^n (Pr_{жс} / Pr_{сн})^m, \quad (1)$$

где $\bar{N}_{изж} = d_{жс} h / \lambda_{жс}$ - усредненный критерий Нуссельта; $Gr_{жс} = \beta_{жс} h^3 \Delta t / \lambda_{жс}$ - критерий Грасгофа; $Pr_{жс} = \nu_{жс} / d_{жс}$ - критерий Прандтля; C, n, m - числовые параметры; h - расстояние по вертикали от начала образования пограничного слоя до рассматриваемой точки, м.

Параметры C, n и m по мере охлаждения нефти изменяются, так как меняются режимы движения в пограничном слое.

Для повышения температуры в устье скважины и разогрева высоковязкой нефти, необходимо рассчитать количество тепла, требуемого для достижения температуры разжижения парафина, т.е. 54 °С.

Рассмотрим уравнение теплового баланса вида

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{неб}, \quad (2)$$

где Q_1 - количество тепла, расходуемое на разогрев нефти; Q_2 - тепловые потери в окружающую среду; Q_3 - тепло, необходимое для разогрева охлажденных поверхностей устьевого оборудования; $Q_{неб}$ - тепловые потери излучением под воздействием эффективной температуры небосвода.

Величина Q_1 определяется как

$$Q_1 = G_1^{mp} \cdot C_1 \cdot \Delta t_1, \quad (3)$$

где G_1^{mp} - объем разогреваемого слоя в сечении трубы; C_1 - удельная теплоемкость нефти; Δt_1 - изменение температуры разогреваемого продукта.

Коэффициент температуропроводности нефти можно представить в виде

$$a = \lambda_1 / C\gamma, \quad (4)$$

где λ - коэффициент теплопроводности нефти; C - теплоемкость нефти; γ - удельный вес нефти.

Для нефти месторождений Жетыбай и Жанаозен экспериментально получено уравнение изменения теплоемкости, т.е.

$$C_{рл} = C_{р30} [\lambda + \beta(t - 30)], \quad (5)$$

где $C_{р30}$ - изобарная теплоемкость нефти при температуре $t = 30$ °С.

Расчет стадии застывания нефти в устье скважины сводится к решению задачи Стефана с движущейся границей. Решение дифференциальных уравнений производится с использованием метода конечно-разностных элементов. При этом радиус устья трубы, время застывания выбраны так, чтобы критерий Фурье, образованный из этих величин был менее 0,5, т.е.

$$F_o = \frac{\lambda_r}{\rho_r C_r} \frac{\Delta r}{(\Delta S)^2} < 0,5 \quad (6)$$

Если около стенок трубы уже образовались один или несколько слоев застывшего материала толщиной ΔS каждый, то расчет изменения их температур производится с помощью следующего конечно-разностного уравнения, вывод которого основан на известных положениях, т.е.

$$T_{n,i+1} = T_{n,i} + \frac{2\pi_r \Delta \tau}{\rho_r c_r (\Delta S)^2 (R_n + R_{n+1})} \cdot [R_n (T_{n-1} - T_{n,i}) E - R_{n+1} (T_{n,i} - T_{n+1})] \cdot G, \quad (7)$$

где $T_{n,i}$ и $T_{n,i-1}$ - прежняя относительная температура n -го слоя и новые температуры через время Δt ; R_n и R_{n+1} - наружный и внутренний слой рассчитываемого слоя (устья скважины); T_{n-1} , T_{n+1} - температура соответственно предыдущего и последнего слоя. Величина коэффициента E определяется как $E=2 \Delta S / S_n + \Delta S_i$ - для первого слоя ($n=1$), где S_n - толщина застывшего слоя парафина.

Термическое сопротивление стенок труб и теплоотдачу относительно окружающего воздуха заменяем сопротивлением слоя застывшего парафина толщиной

$$S_n = \lambda_{cm} \left(1 / \alpha_0 + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} \right),$$

при $G = 2 \Delta S / \Delta S + \delta(n+1)i$ для последнего из полностью застывших слоев, где $\delta(n+1)i$ - толщина нефти, в последующем не полностью застывшем слое.

Тогда, тепловые потери стенок устьевого трубы и оборудования определим из выражения:

$$U_{nom} = g_{nom} \cdot F, \quad (8)$$

где $g_{nom} = \alpha(t_2 - t_6)$ - удельные теплотери кДж/м^2 ; α - коэффициент теплопередачи при естественной конвекции. Таким образом, увеличение слоев парафиноотложений затрудняет теплообмен между жидкостью и окружающим естественным теплом, за счет больших теплотерь стенок труб.

Из вышеизложенного следует, что наряду с применением ингибиторов, необходимо до минимума свести теплотери наружной поверхности устьевого оборудования, особенно относительно эффективной излучательной способности в ночное время.

Небосвод можно рассматривать как черное тело при некоторой эффективной температуре ниже температуры окружающего воздуха, что способствует переизлучению теплового потока с более теплых поверхностей. Этот эффект излучательной способности в условиях сухого и жаркого климата используется для радиационного охлаждения помещений, с помощью применения металлических крыш и кровель.

Поток результирующего излучения, падающий на поверхность, имеющую степень черноты ε и температуру T , определяется из уравнения

$$Q = \varepsilon A \cdot \delta (T_{\text{неб}}^d - T^d), \quad (9)$$

Эффективная температура небосвода учитывает неоднородность температуры атмосферы и свойства ее излучать только в определенных диапазонах длин волн. Атмосфера по существу прозрачна в длинноволновой области волн 8-14 мкм, а вне этого «окна» атмосфера излучает в полосах, занимающих большую часть инфракрасной области спектра.

Для снижения теплотерь с открытых поверхностей труб и устьевого оборудования предлагается использовать защитную оболочку из светопрозрачной полимерной пленки с облегченным каркасом из проволоки. Устройство обладает конструктивной и принципиальной новизной и может быть использовано на нефтедобывающих скважинах, а также нефтепроводах для уменьшения вязкости нефти.

Казахский национальный технический университет

ЖОҒАРЫТҮТҚЫР МҰНАЙДЫ АЛУ ЖӘНЕ ТАСЫМАЛДАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗ ЖОЛДАРЫ

Техн. ғылымдарының докт. Т.К. Ахмеджанов
Ф.Ж. Кенжетаев

Мұнайжүргізіш құбырлардың қабырғаларының жылу балансы мен сәуле шығарудың жылу жоғалтуы теория тұрғысынан қарастырылған. Талдау негізінде құбырлардың сууын кеміту үшін оларды жарықөткізіш қабыршақпен орау тәсілі ұсынылған.