

УДК 622.276.8:531.135

Билашев Б.А., кандидат технических наук, доцент

Мурзагалиева А.А., магистр технических наук

Кенжегалиева Ж.Т., магистрант

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана»,
г. Уральск, Республика Казахстан

ВЫБОР РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДОВ, ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ НЕНЬЮТОНОВСКИЕ ЖИДКОСТИ

Аннотация

В статье рассматриваются выбор расчета внутрипромысловых трубопроводов, транспортирующих неньютоновские жидкости. Добыча и перекачка нефти обладающей высокой вязкостью (при обычных температурах) либо содержащей огромное количество парафина по трубопроводам обычным, методом затруднена. При перекачке высокозастывающих нефтей возникает необходимость увеличения мощности перекачивающих агрегатов, использования устьевых подогревателей, или увеличения диаметра нефтепровода или использования различных реагентов.

Парафинизация и застывание внефти и водонефтяной эмульсии выкидных трубопроводов существенно осложняют работу скважин, особенно в холодный период года. С увеличением обводненности добываемой продукции, интенсивность парафинизации наземного оборудования несколько снижается. Однако работа выкидных трубопроводов, транспортирующих высокопарафинистую застывающую нефть и вязкую эмульсию, продолжает оставаться ненадежной.

Падение температуры особенно нежелательно при перекачке высоковязких и парафинистых нефтей. Температура нефти, поступающей из скважины на поверхность, зависит, как известно, от многих переменных глубины скважины и ее дебита, геотермического градиента, газового фактора, степени обводненности нефти, концентричности фонтанных труб относительно эксплуатационной колонны. Все это трудно поддается учету при проектировании выкидных линий и сборных коллекторов на вновь открытых месторождениях, поэтому приходится принимать какую-то среднюю температуру жидкости на устьях скважин при максимально возможных дебитах, предусмотренных проектом разработки. Разрабатывается множество месторождений с парафинистой нефтью, движение которой по трубам не подчиняется известным законам гидравлики.

Ключевые слова: нефть, высокопарафинистая нефть, аномальная нефть, неньютоновская жидкость, реологические свойства, парафинистая нефть, трубопровод, нефтепровод, температура.

На практике приходится иметь дело с подогреваемыми потоками жидкостей (особенно при перекачке парафинистых нефтей) или теряющими естественную теплоту в окружающей среде. С понижением температуры увеличивается вязкость нефти (эмульсии), а, следовательно, и гидравлическое сопротивление при ее транспортировании по трубопроводам [1]. Падение температуры особенно нежелательно при перекачке высоковязких и парафинистых нефтей. Температура нефти, поступающей из скважин на поверхность, зависит, как известно, от многих переменных: глубины скважины и ее дебита, геотермического градиента, газового фактора, степени обводненности нефти, концентричности фонтанных труб относительно эксплуатационной колонны. Все это трудно поддается учету при проектировании выкидных линий и сборных коллекторов на вновь открытых месторождениях, поэтому приходится принимать какую-то среднюю температуру жидкости на устьях скважин при максимально возможных дебитах, предусмотренных проектом разработки. Разрабатывается множество месторождений с парафинистой нефтью, движение которой по трубам не подчиняется известным законам гидравлики. Транспортировка таких нефтей по трубопроводам имеет свою специфику и связана с большими трудностями. Если вязкость парафинистой нефти значительно

возрастает из-за понижения температуры, то существенно осложняется пуск нефтепровода после его остановки, а при перекачке парафинистых нефтей может произойти «замораживание» нефтепровода до полного прекращения подачи.

При перекачке высоковязких нефтей возникает необходимость увеличения мощности перекачивающих агрегатов, использования путевых подогревателей, или увеличения диаметра нефтепровода или использования различных реагентов [2].

Для улучшения прокачиваемости парафинистых нефтей с высокой температурой застывания применяют растворители (керосин, углеводородный конденсат, а также депрессорные присадки или депресаторы, введение которых существенно улучшает реологические свойства нефти.

Характерной особенностью парафинистой нефти является зависимость изменения вязкости от перепада давления Δp (или, что одно и то же, от напряжения сдвига) и от изменения градиента скорости в трубе dv/dr .

Под реологическими свойствами нефти понимается зависимость вязкости нефти μ от изменения градиента скорости в трубе dv/dr напряжения сдвига τ (рисунок 1, в).

Согласно закону Ньютона о вязкостном трении при движении жидкости в круглой трубе, уравнение касательного напряжения записывается в виде:

$$\tau = \frac{F}{S} = -\mu \frac{dv}{dr}, \quad (1)$$

где τ – касательное напряжение сдвига (Па) между двумя слоями жидкости или между жидкостью и телом, заштрихованным на рисунке 1, а; F – сила, Н; S – площадь соприкосновения между двумя слоями жидкости, m^2 ; μ – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом динамической вязкости. Па.с; dv/dr – градиент скорости между слоями жидкости, $1/c$; r – расстояние от оси трубы, м.

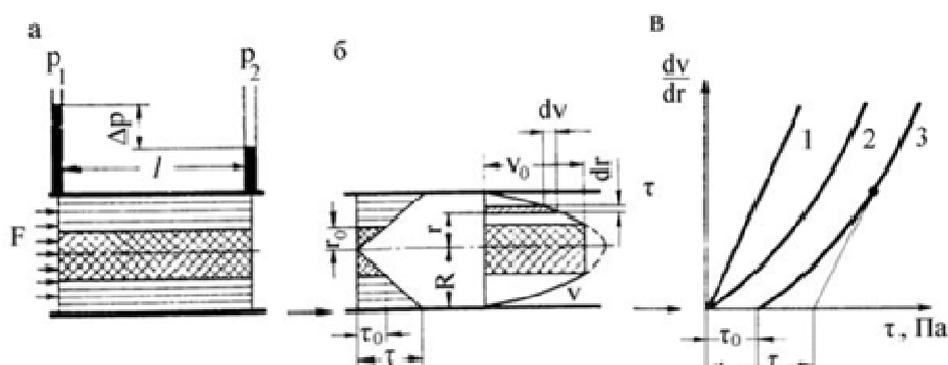


Рисунок - 1. Движение ньютоновских и неньютоновских жидкостей по трубам: а – модель течения жидкости; б – распределение напряжений и скоростей в структурном потоке; в – зависимость напряжений сдвига от градиента скорости для ньютоновских 1 и неньютоновских 2, 3 жидкостей

Формулу (1) можно представить в виде: $\mu = \frac{F}{dv/dr}$.

Зависимость имеет вид прямой, выходящей из начала координат (рисунок 1, в, поз. 1), тангенс угла которой к оси ординат является постоянной величиной и характеризует абсолютную вязкость нефти. Жидкости, вязкость которых изменяется по прямолинейному закону ($\mu = \text{const}$) в зависимости от напряжения сдвига и градиента скорости dv/dr , называются ньютоновскими.

Жидкости, вязкость которых изменяется в зависимости от напряжения сдвига и градиента скорости ($\mu \neq \text{const}$), называются неньютоновскими (кривые 2 и 3 на рисунок 1, в). Кривые этого типа обычно можно снять при температуре застывания нефти.

Большинство аномальных нефтей подчиняются закону Бингама. При транспортировке такой нефти могут иметь место два режима течения - турбулентный в начале трубопровода и структурный в конце [2].

Вязкость неньютоновских жидкостей определяется по уравнению Шведова-Бингема:

$$\tau = \tau_0 + \mu^* \frac{dv}{dr}, \quad (2)$$

или

$$\tau - \tau_0 = \mu^* \frac{dv}{dr}$$

где τ_0 – минимальное касательное напряжение, превышение которого вызывает текучесть ядра неньютоновской жидкости, Па; μ^* – кажущаяся вязкость неньютоновской жидкости, т. е. вязкость, зависящая от градиента скорости dv/dr , Па·с.

Рассмотрим течение в трубе заштрихованного объема жидкости (рисунок 1,а) длиной l и диаметром D при приложении внешней силы F . Давление на концах трубопровода пусть будет P_1 и P_2 .

Внешняя сила F нарушит условия равновесия сил давления $(P_1 - P_2) \frac{\pi D^2}{4}$ и силы трения $F_{тр} = \pi D l \tau$, возникающей на внутренней поверхности трубы при движении жидкости, если

$$F > F_{тр}$$

или

$$(P_1 - P_2) \frac{\pi D^2}{4} > \pi D l \tau, \quad (3)$$

Сокращая, получим:

$$\Delta p > \frac{4\tau l}{D}, \quad (4)$$

Предельному равновесию, т.е. такому состоянию, когда неньютоновская жидкость только начнет двигаться, будет соответствовать условие

$$\Delta p_0 = \frac{4\tau l}{D} = \frac{2\tau l}{R}, \quad (5)$$

Таким образом, если

$$\Delta p > \Delta p_0 = \frac{2\tau l}{R}, \quad (6)$$

то жидкость в трубопроводе будет двигаться, и в зависимости от приложенной разности давлений могут образоваться три различных режима ее движения: структурный, ламинарный или турбулентный.

Под структурным режимом понимается такой режим, когда движение всего потока «жидкости» условно принимается за движение твердого тела с одинаковой скоростью по всему поперечному сечению. По мере увеличения перепада давления возрастает скорость движения жидкости, и в ближайших к стенке трубы частях потока развивается ламинарный режим, в то время как в центральной его части (ядро) жидкость по-прежнему продолжает двигаться как твердое тело (см. рисунок 1, б), т. е. имеет место как бы ламинарно-структурный режим.

Теперь установим закон распределения скоростей в поперечном сечении трубы при ламинарно-структурном режиме. Будем исходить из общего уравнения (2) для касательного напряжения в неньютоновской жидкости.

Для любого цилиндрического слоя жидкости радиусом (см. рисунок 1,б) $r > r_0$ касательное напряжение можно выразить аналогично формуле (5), т.е.

$$\tau = \frac{d\Delta p}{4l} = \frac{2r d\Delta p}{4l} = \frac{r d\Delta p}{2l}, \quad (7)$$

где d – диаметр цилиндрического слоя жидкости, в котором напряжение сдвига равно τ . Подставив последнее значение τ в уравнение (2), получим

$$\mu^* \frac{dv}{dr} = \frac{r \Delta p}{2l} - \tau_0, \quad (8)$$

Умножим обе части этого уравнения на dr :

$$\mu^* dv = \frac{r \Delta p}{2l} dr - \tau_0 dr$$

Проинтегрировав данное выражение

$$\int dv = \frac{\Delta p}{2\mu^* l} \int r dr - \frac{\tau_0}{\mu^*} \int dr,$$

получим

$$v = \frac{\Delta p r^2}{4\mu^* l} - \frac{\tau_0}{\mu^*} r + C, \quad (9)$$

Постоянная интегрирования C находится из условия: у стенок трубы при $r=R$, $v=0$, следовательно,

$$C = \frac{\Delta p R^2}{4\mu^* l} - \frac{\tau_0}{\mu^*} R, \quad (10)$$

Подставив (10) в (9) получим

$$v = \frac{\Delta p}{4\mu^* l} (R^2 - r^2) - \frac{\tau_0}{\mu^*} (R - r), \quad (11)$$

Кривая скоростей, соответствующая этой формуле, представлена на рисунке 1, б. Она состоит из двух частей: параболических ветвей у стенок трубы, соответствующих ламинарному режиму течения, и прямолинейного участка в центральном ядре, соответствующего структурному режиму течения.

Для определения скорости движения центрального ядра в формуле (11) необходимо принять $r = r_0 = r_0$. Тогда

$$v_0 = \frac{\Delta p}{4\mu^* l} (R^2 - r_0^2) - \frac{\tau_0}{\mu^*} (R - r_0), \quad (12)$$

Расход жидкости при ламинарно-структурном режиме будет равен

$$Q = Q_{\text{л}} + Q_{\text{ц}},$$

где $Q_{\text{л}}$ и $Q_{\text{ц}}$ – соответственно расход в ламинарном кольце и в центральном ядре.

Последнее выражение можно представить как:

$$Q = \int 2\pi r dr v + v_0 \pi r_0^2, \quad (13)$$

где v и v_0 – скорости жидкости, определяемые из выражений (11) и (12).

Подставив в выражение (13) формулы (11), (12) и проведя затем интегрирование и некоторые упрощения, получим формулу Букингема:

$$Q = \frac{\pi R^3}{8\mu^* l} \left(\Delta p - \frac{4}{3} \Delta p_0 + \frac{1}{3} \frac{\Delta p_0^2}{\Delta p} \right), \quad (14)$$

При больших перепадах давлений последним членом в этом уравнении можно пренебречь ввиду его малости, и тогда формула (14) принимает вид:

$$Q = \frac{\pi R^3}{8\mu^* l} \left(\Delta p - \frac{4}{3} \Delta p_0 \right), \quad (15)$$

где Δ_p – наблюдаемый перепад давлений, определяемый по формуле

$$\Delta_p = \sum_i^n z_{pi} \rho_{pi} - \sum_i^n z_{cpi} \rho_{cpi} + \lambda_{cm} \frac{l v_{cm}^2}{D} \rho_{cm}, \quad (16)$$

Δ_{p_0} – перепад давления, соответствующий началу движения жидкости, определяемый по формуле (5).

Часто пользуются формулой Букингема следующего вида

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta_{p_0}}{8 \mu^* l} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{r_0}{R} + \frac{1}{3} \left(\frac{r_0}{R} \right)^4 \right), \quad (17)$$

Так как касательные напряжения в трубе имеют линейный характер (см. рис. 1,б), то на поверхности ядра они равны

$$\tau_0 = \tau r_0 / R,$$

откуда

$$r_0 = \tau_0 R / \tau, \quad (18) [4].$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршак А.А. Специальные методы перекачки. -Уфа: «Дизаин-ПолиграфСервис», 2001. - 208 с.
2. Тугунов П.П. Нестационарные режимы перекачки нефтей и нефтепродуктов. -М.: Недра, 1984. - 224 с.
3. Белозерцев В.Н, Беляева Е.В, Бирюк В.В. Основы механики жидкости. – Самара, издательство СГАУ, 2006. – 324 с.
4. Хазизов А.Р., Пестрецов Н.В, Чеботарев В.В. Сбор, подготовка и хранение нефти. Технология и оборудование. - https://www.studmed.ru/hafizov-ar-pestrecov-nv-sbor-i-podgotovka-nefti-i-gaza-tehnologiya-i-oborudovanie_f90caf9b0d7.html.

ТҮЙІН

Мақалада ньютондық емес сұйықтықтарды тасмалдайтын, құбырларды есептеу қарастырылған. Кәдімгі әдіспен жоғары тұтқырлықты (әдеттегі і температурада) немесе магистральды құбырлар арқылы үлкен көлемді парафині бар мұнай алу және айдау қиын. Жоғары тазартылған майларды сорып жатқанда, сорғы қондырғыларының сыйымдылығын арттыру, ұңғымаларды жылытатын қондырғыларды пайдалану немесе құбырдың диаметрін арттыру немесе әр түрлі реагенттерді қолдану қажет болады. Суды бұру құбырларында мұнай мен су-майы эмульсияларында балауыз және қатайту ұңғымалардың жұмысын айтарлықтай қиындатады, әсіресе жылдың суық мезгілінде. Өндірілетін өнімнің су құрамының артуымен жердегі жабдықты парафинизация қарқындылығы азаяды. Дегенмен, парафинирленген қатты мұнай мен тұтқыр эмульсияны тасымалдайтын құбырларды шығару жұмыстары сенімсіз болып қалады.

Жоғары тұтқыр және парафинді майларды айдау кезінде температураның төмендеуі әсіресе қажет емес. Ұңғымалардан бетіне дейін түсетін мұнай температурасы көптеген айнымалыларға байланысты: ұңғыманың тереңдігі және оның ағымы, геотермальды градиент, газ факторы, мұнай суының дәрежесі, өндіру жолына қатысты ағындық құбырлардың концентрациясы. Мұның бәрі жаңадан ашылған кен орындарында ағындық сызықтарды және құрастырылған су қоймаларын жобалау кезінде қиындық тудырады, сондықтан жобаны жүзеге асыру барысында ұсынылатын максималды мүмкін шығындар бойынша ұңғымалардағы орташа сұйықтық температурасын алуға тура келеді. Көптеген кен орындары парафиндік маймен дамиды, оның қозғалысы құбырлар арқылы белгілі гидравлика заңдарына бағынбайды. се әртүрлі реагенттерді пайдалану қажеттілігі туындайды.

RESUME

The article discusses the choice of calculating intrafield pipelines transporting non-Newtonian fluids. Extraction and pumping of oil with a high viscosity (at ordinary temperatures) or containing a huge amount of paraffin through pipelines using the usual method is difficult. When pumping high-curing oils, it becomes necessary to increase the capacity of the pumping units, use wellhead heaters, or increase the diameter of the pipeline or use different reagents.

Waxing and hardening in oil and water-oil emulsions in discharge pipelines significantly complicate the work of wells, especially in the cold period of the year. With an increase in the water content of the extracted products, the intensity of paraffinization of ground-based equipment decreases slightly. However, the work of discharge pipelines transporting paraffinized solidifying oil and viscous emulsion continues to remain unreliable.

A drop in temperature is especially undesirable when pumping highly viscous and paraffinic oils. The temperature of oil coming from wells to the surface depends, as is well known, on many variables: the depth of the well and its flow rate, geothermal gradient, gas factor, degree of oil water cut, concentricity of the flow pipes relative to the production string. All this is difficult to account for when designing flow lines and prefabricated reservoirs in newly discovered fields, so you have to take some kind of average fluid temperature at the wellheads at the maximum possible flow rates provided by the development project. Many fields are being developed with paraffinic oil, the movement of which through pipes does not obey the known laws of hydraulics.

УДК 665.6/7

Мурзагалиева А.А., магистр технических наук
НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана»,
г. Уральск, Республика Казахстан

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ В ПЕРСПЕКТИВЕ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ В МИРЕ И КАЗАХСТАНЕ

Аннотация

Дана характеристика нефтяной отрасли как одной из основных отраслей экономики Казахстана. Доказывается, что нефтегазовый комплекс является движущей силой проводимых в республике социально-экономических реформ, проводником современных инновационных и управленческих решений. Отмечается, что нефтегазовый комплекс имеет специфические особенности, усиливающие интенсивность техногенного воздействия в загрязнении окружающей среды. Подчеркивается, что морская добыча становится новым этапом освоения запасов углеводородов в республике. Рассматриваются приоритетные направления эффективного развития нефтехимии в стране. Обосновывается целесообразность формирования кластеров в нефтегазодобывающей промышленности Казахстана. Делается вывод о путях развития и поддержания системы магистральных нефтепроводов для надежной транспортировки нефти на экспорт и внутренний рынок. Под термином «энергетическая безопасность» в мировом сообществе принято понимать защищенность граждан, экономики, государства от угрозы дефицита в обеспечении энергией на приемлемых условиях (качество, цена, доставка).

Проблема формирования кластеров в нефтяной промышленности заключается в необходимости создания цепочек взаимосвязанных производств — от геолого-поисковых и разведочных работ до переработки извлеченных углеводородных соединений и реализации товарной продукции. Реальная возможность формирования кластеров, в основу которых будет положено использование нефтегазовых ресурсов, существует в регионах Западного Казахстана. Первый из них может быть образован с учетом существующего промышленного и научного потенциала в Атырауской области. Данная область, благодаря сосредоточенным на ее территории запасам нефти и газа, является одним из перспективных и привлекательных регионов республики, где уже идут формирование нефтехимического кластера и создание