

УДК 622.276.6

Товажнянский Л.Л., Ведь В.Е., Ульев Л.М.

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТА
ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ОРГАНИЗАЦИЕЙ НАПРАВЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ
ПОТОКОВ**

Нефть, добываемая из недр Земли, имеет сложный и неоднородный состав, характеризующийся наличием структурно растворенных органического и неорганического происхождения соединений, воды и механических примесей [1]. Органические соединения, содержащиеся в нефти, определяют ее основные реологические свойства и являются причиной серьезных технологических осложнений, связанных с добычей и транспортом нефти.

Если рассматривать течение нефти в скважинах от забоя до устья при ее добыче то этот процесс сопровождается изменением термодинамических условий, в частности, существенным снижением температуры. При добыче высоковязких и парафинистых нефтей уменьшение температуры вызывает ряд существенных трудностей, поскольку значительно увеличивается вязкость и уменьшается текучесть нефтей, особенно обладающих неньютоновскими свойствами. При эксплуатации месторождений с высоким содержанием парафинов в нефти в скважине, когда температура в ней становится ниже температуры кристаллизации парафинов, на стенках насосно-компрессорных труб (НКТ), по которым течет нефть, формируются асфальто-смолопарафиновые отложения, рост которых приводит к уменьшению внутреннего сечения НКТ и, как следствие, к резкому снижению дебита скважин или их закупорке.

Для того чтобы устранить или, хотя бы, уменьшить влияние описанных осложнений, применяют различные методы: паротепловую обработку НКТ; термохимическое воздействие на пласты нефти в забоях; нагрев глубинными электронагревателями, спускаемыми во внутрь НКТ и рядом с ними; введение ингибиторов парафиноотложений; закачку разбавителей и так далее. Эти методы позволяют снизить вязкость нефти и увеличить ее теплосодержание, что сдерживает процессы зарастания труб и положительно влияет на процесс добычи нефти. Но, как правило, все известные методы или очень дорогостоящие или экологически небезопасны. Кроме того им присущ непродолжительный эффект воздействия на процесс интенсификации добычи.

Нами предложен новый метод нагрева нефти через тело НКТ в скважинах при ее добыче за счет специально разработанных керамических нагревателей и приемов организации направленной передачи тепла [2–4].

Керамические нагреватели представляют собой (рис. 1) тонкопрофильную конструкцию, теплопередающая поверхность которой повторяет поверхность нагреваемых объектов, в данном случае НКТ. В объеме нагревателей на расстоянии в 2 мм от теплоотдающей поверхности монослойно расположены резистивные элементы, отслеживающие поверхность теплоотдачи. Тепловыделяющая (внутренняя) поверхность нагревателей также повторяет внешнюю поверхность нагреваемой поверхности труб. С целью снижения количества тепла, выделяемого внешней поверхностью нагревателя в инфракрасной области, на нее нанесено разработанное нами теплоотражающее покрытие.

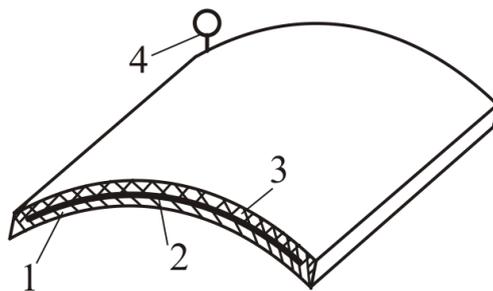


Рисунок 1 – Разрез поперечного сечения керамического нагревателя, обеспечивающего передачу тепла теплопроводностью объектам цилиндрической формы:
 1 – слой керамики с высокой теплопроводностью; 2 – резистивный элемент;
 3 – теплоизолирующий слой керамики; 4 – токовывод

Для реализации процесса наиболее полной передачи тепла путем обеспечения радиально направленного теплового потока от поверхности труб и с целью минимизации термических сопротивлений в теплопередающей системе «нагреватель-НКТ-нефть» керамические нагреватели приклеиваются к НКТ специально разработанными высокотемпературными теплопроводящими клеями.

Передача необходимой тепловой мощности потоку нефти обеспечивается компоновкой нагревателей в блоки, которые образуют на трубах участки заданной протяженности, чем достигается увеличение тепловыделяющей поверхности и снижение температуры на самих нагревателях.

Нагреватели, смонтированные на НКТ в блоки, подвергаются тепло-, гидро-, нефте-, электроизоляции по предложенной технологии так, чтобы суммарная толщина нагревателей и изоляции не превышала 10 мм увеличения радиуса труб. Причем, теплоизолирующее покрытие включает в себя и теплоотражающую высокотемпературную краску, нанесенную непрерывным слоем.

Таким образом, нагрев нефтепродуктов с помощью разработанных электрических нагревателей при организации описанных приемов направленной передачи тепла, имеет существенную особенность, которая заключается в том, что практически вся мощность, выделяемая нагревательным элементом в виде тепловой энергии, обязательно отводится от него посредством кондуктивного, конвективного или лучистого теплообмена в заданном радиальном направлении.

Блоки нагревателей размещают на поверхностях НКТ на научно обоснованных, рассчитанных глубинах скважины. Геометрические параметры нагревателей, их электрическая мощность, глубина размещения участков нагрева НКТ в скважинах, количество зон подогрева, расстояние между ними и общая тепловая мощность, подводимая посредством нагревателей к нефти, определяются расчетным путем для каждой скважины исходя из реологических особенностей нефти данного месторождения, скорости ее истечения, физических характеристик скважин, грунтов, которые проходит скважина и др. факторов.

Например, для интенсификации добычи нефти на Лычковском месторождении рассчитаны глубины установки нагревателей на НКТ в скважине (рис. 2), длина участков нагрева и др. параметры (табл. 1), по которым определены эксплуатационные характеристики нагревателей для данных условий и их количество.

Рациональный процесс повышения теплосодержания нефти на участках НКТ, расположенных за зонами подогрева по направлению течения нефти к забою, поддерживается при помощи определения температуры нефти непосредственно на выходе из участков нагрева термодатчиками. Датчики температуры передают информацию на

микропроцессорное устройство, позволяющее изменять подаваемую на нагреватели электрическую мощность по априорно заданному режиму управления нагревом нефти на каждой из зон размещения нагревателей по длине НКТ.

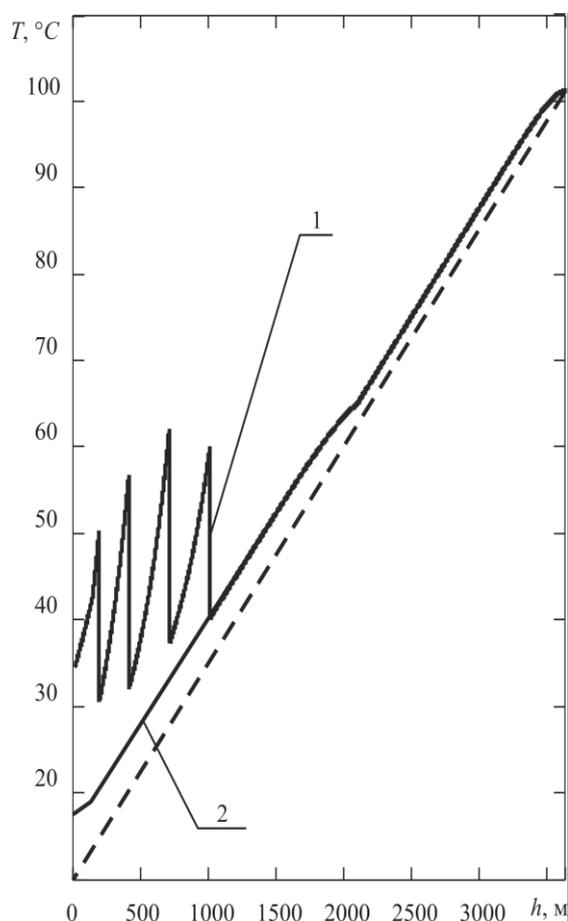


Рисунок 2 – Распределение температуры по глубине скважины h :

- 1 – распределение среднemasовой температуры нефти в начальном участке обсадной трубы и затем в насосно-компрессорной трубе с четырьмя секциями электрического нагрева;
- 2 – распределение среднemasовой температуры потока нефти в начальном участке обсадной трубы и затем в насосно-компрессорной трубе без дополнительного подогрева;
- штриховая линия – распределение температуры в грунте

Таблица 1 – Основные характеристики участков передачи тепла нефти при помощи электрокерамических нагревателей

№ секции нагрева	Глубина размещения на НКТ, м	Длина участка нагрева, м	Температура нефти на входе, °C	Температура нефти на выходе, °C	Выделяемая мощность, кВт	Удельный тепловой поток, кВт/м ²
1	1000	4	40	60	3,0	3,4
2	700	4	37	62	3,6	4,2
3	400	4	32	57	3,6	4,2
4	180	4	31	51	3,0	3,4

Срок окупаемости от использования предлагаемого метода термоинтенсификации вместо применения ингибиторов не превышает 3–4 месяцев.

Добытая из недр Земли нефть в дальнейшем должна транспортироваться. При этом транспорт высоковязких и застывающих нефтей по трубопроводам невозможен без применения специальных способов повышения транспортабельных свойств (подогрев, разбавители и т. д.). Для того чтобы устранить или, хотя бы, уменьшить влияние описанных эффектов, применяют различные способы повышения температуры нефти: подогрев трубопроводов для транспорта нефти горячими теплоносителями (в основном, паром), путевой подогрев, смешение с углеводородными растворителями, применение поверхностно активных веществ, различных депрессаторов, полимерных добавок, растворенного газа [5].

За последние годы на западе, в частности в США, разработаны технологии применения тепловых пленок, греющих кабелей, применения теплоизолирующих покрытий. Но, как правило, известные методы являются дорогими.

Нами разработан принципиально новый метод повышения теплосодержания (температуры) нефти в трубопроводах транспорта нефти за счет использования созданного электрического пластинчатого теплообменника.

Процесс полной передачи теплоты к жидкости от нагретых стенок каналов реализуется за счет малой их ширины и хорошего перемешивания. Этот принцип заложен в разработку конструкции электрического пластинчатого теплообменника, который монтируется через фланцевые соединения в разрезе транспортных труб шлейфа.

Поток нефти, текущей по трубам шлейфа, в теплообменнике впускным коллектором разбивается на потоки, которые попадают в узкие каналы с развитой поверхностью теплообмена и гофрированными металлическими стенками. Гофры на стенках каждого канала организованы оппозитно друг другу. Такая геометрия каналов создана для обеспечения условий течения нефти близких к пленочному, турбулизации потока и максимального обтекания нефтью нагретых поверхностей стенок каналов.

Нагрев стенок каналов осуществляется электрическими керамическими нагревателями с чрезвычайно развитыми двумя тепловыделяющими поверхностями, размещаемыми по всей площади стенок со стороны, противоположной течению нефти. Соседние стенки каналов, по которым течет нефть в теплообменнике, прилегают к нагревателям с двух сторон так, что керамические нагреватели передают тепло в два смежных канала. Для организации наиболее эффективного процесса передачи тепла воздушные полости, которые могут быть образованными в межканальном пространстве при размещении нагревателей, заполняют специально созданными высокотемпературными теплопроводящими диэлектрическими композициями.

Керамические нагреватели, повторяющие двумя тепловыделяющими поверхностями внутренние поверхности стенок каналов, размещаются между ними блоками заданной мощности. Коммутация нагревательных элементов в блоки и компоновка токоведущих шин для подключения теплообменника по фазам к сети осуществляется в свободной от нефти верхней секции теплообменника, расположенной над торцами каналов и нагревателей.

Параметры электрических пластинчатых теплообменников зависят от условий их эксплуатации в конкретном трубопроводе и являются расчетными величинами. Теплообменники оснащаются датчиками температур потоков и регуляторами выделяемой мощности нагревательными элементами, которые автоматически управляют заданной температурой потока нефти на выходе из теплообменника.

Также еще не решенной проблемой является слив высоковязкой нефти и нефтепродуктов из железнодорожных цистерн. Это приводит к тому, что транспорт нефти на значительные расстояния в железнодорожных цистернах сопряжен со значительными ее потерями, связанными с остатками нефтепродуктов (которые невозможно слить) в цистернах. Остатки нефтепродуктов представляют собой высоковязкий затвердевший слой, занимающий нижний объем цистерны, достигающий до величины одной трети полезного объема цистерны. Особенно значительные остатки нефтепродуктов в цистернах образуются в зимнее время и в районах с низкой среднегодовой температурой.

Затвердевшие остатки нефтепродуктов представляют собой нефть высокой вязкости, находящуюся в той или иной степени полимеризации, инициируемой соединениями различных примесей, как входящих в состав нефти, так и находящихся на стенках цистерн вследствие недостаточной степени их очистки. Процесс зарастания придонного слоя в цистернах ускоряется в нефти, содержащей повышенное количество парафинов или серы.

Устранение полимеризованных остатков нефтепродуктов в цистернах возможно путем перевода их в жидкотекучее состояние под воздействием температуры или растворителей. Поэтому с целью наиболее полного слива нефтепродуктов из цистерн предложены методы воздействия на полимеризованные слои, например, острым паром. Однако применение известных методов извлечения высоковязких нефтепродуктов из цистерн являются достаточно дорогостоящими или экологически небезопасными.

Нами предложен новый метод и устройство для опорожнения железнодорожных цистерн от остатков высоковязких нефтепродуктов.

Устройство для слива нефти представляет собой блоки электрических керамических нагревателей заданной мощности. Отдельный нагреватель представляет собой плоскую пластину толщиной 4 мм размерами $(30 \div 65) \times (100 \div 250)$ мм. Поверхность нагревателей и коммутационные провода подвергаются высокотемпературной гидро-, нефте-, электроизоляции. Нагреватели соединены между собой механическими тягами, позволяющими различно ориентировать нагреватели в пространстве. Максимальное сближение нагревателей друг к другу в компактный блок необходимо для того, чтобы свободно переместить их во внутрь цистерны через заливочную горловину.

Устройство для слива нефти состоит из нескольких блоков нагревателей. Вначале на поверхность затвердевшего слоя нефтепродуктов, оставшегося на дне цистерны, через заливочную горловину вертикально опускается электрическое нагревательное устройство, в котором тягами из блочного состояния механически подобно зонту нагреватели переориентируются в плоскость, после чего на него подается электропитание. Выделяемая тепловая мощность нагревательным устройством является достаточной для того, чтобы обеспечить в затвердевшем слое нефтепродуктов цилиндрический объем жидкой нефти, которая сливается.

Затем через заливочную горловину цистерны вводится в одну из ее равноценных получастей следующее электрическое нагревательное устройство в компактной форме. Устройство, которое состоит из значительного количества плоских единичных нагревателей, собранных компактно в блок, размещают на затвердевшем слое нефтепродуктов. Затем механически тягами нагреватели ориентируют в плоскость, занимающую практически площадь от сливного устройства до торцевой стенки цистерны по ширине твердого слоя нефтепродуктов, и подают на них электрическое напряжение. Рассчитанная тепловая мощность нагревательного устройства позволяет за заданное время слить остатки нефтепродуктов и из этой части цистерны.

Аналогичным образом производится очистка от нефтепродуктов из оставшейся части цистерны уже применявшимся для очистки нагревательным устройством или аналогичным.

Нагревательные устройства оснащены термоприемниками, фиксирующими температуры, как нагревателей, так и сливаемой нефти, сигналы от которых передаются на управляющее режимами выделяемой мощности нагревателями микропроцессорное устройство.

Данный принцип организации нагрева может быть использован и для опорожнения заполненных цистерн высоковязкими продуктами органического происхождения.

Литература

1. Багиров И.Т. Современные установки первичной переработки нефти. – М.: «Химия», 1974, – 240 с.

2. Ведь В.Е., Лещенко В.А., Гусева Н.И., Верба А.Г. Энергоэффективные нагревательные устройства на основе термостойкой керамики // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків. – НТУ «ХПІ». 2001. – №2. С. 23–27.

3. Товажнянский Л.Л., Ведь В.Е., Гусева Н.И., Верба А.Г. Керамические нагреватели для энергоэффективной направленной передачи тепла. // «Оборудование. Инструмент». – 2006. – № 3. – С. 96–98.

4. Пат. 14356 Україна. МПК⁷ E21B 43/00, E21B 37/00. Пристрій для експлуатації свердловини. Пат. 14356 Україна. МПК⁷ E21B 43/00, E21B 37/00 / І.Й. Рибчич, Б.Б. Синюк, В.М. Світлицький, В.С. Сливканич, Л.Л. Товажнянський, В.Є. Ведь, Л.М. Ульянов, В.О. Гондель, В.В. Хірний, О.Б. Хоружевський, Є.М. Бантюков; Дочірня компанія «Укргазвидобування» Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України». – № 10553; Заявл. 08.11.2005; Опубл. 15.05.2006. – Бюл. № 5.

5. Юкин А.Ф. Управление тепловыми режимами транспорта вязких и застывающих нефтей и нефтепродуктов. Автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук. Уфа. – 2004. – 61 с.

УДК622.276.6

Товажнянський Л.Л., Ведь В.Є., Ульянов Л.М.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ВИДОБУТКУ ТА ТРАНСПОРТУ ВИСОКОВ'ЯЗКОЇ НАФТИ ОРГАНІЗАЦІЄЮ СПРЯМОВАНИХ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ

Запропоновано рішення проблем видобутку та транспорту високов'язкої нафти організацією спрямованих теплових потоків завдяки використанню створених керамічних нагрівників нового типу.