

Добыча, транспорт и переработка нефти и газа

УДК 622.276

«САМОПРОИЗВОЛЬНАЯ» ОСТАНОВКА «ГОРЯЧИХ» НЕФТЕПРОВОДОВ

В.Н. Дегтярев, А.В. Пименов

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

В статье дается описание механизма снижения производительности нефтепроводов со станциями подогрева нефти (т.н. «горячие» трубопроводы), транспортирующих парафиновые застывающие нефти. Временное отключение нагрева нефти может привести не только к повышению вязкости нефти, но и к созданию условий для возникновения и тиксотропного упрочнения структурной решетки парафина в нефти. Это приводит к интенсивному росту вязкости в зоне неньютоновского течения нефти, сбросу производительности центробежных насосов, что способствует еще большему росту вязкости и т.д., до полной остановки перекачки нефти. Приведены примеры «самопроизвольной» остановки реальных нефтепроводов.

Ключевые слова: парафиновые застывающие нефти, остановка трубопровода, горячая перекачка, структурная решетка парафина, самопроизвольная остановка горячего нефтепровода.

Застывающие парафиновые нефти, как правило, транспортируются по трубопроводам с путевым подогревом, по так называемым «горячим» трубопроводам.

Температура нефти в начале трубопровода с использованием огневых печей поддерживается на уровне 65–45 °С, при котором парафин практически растворен в нефти и нефть является ньютоновской жидкостью.

По мере снижения температуры нефти в процессе ее перекачки парафин начинает выделяться в объеме нефти в виде твердых кристаллов. При незначительном количестве кристаллов парафина нефть является гетерофазной системой, остается ньютоновской жидкостью с повышенной вязкостью.

При достижении определенной температуры, условно называемой температурой массовой кристаллизацией парафина $T_{кр}$, начинается создание объемной решетки парафина в нефти.

Механизм образования структурной решетки парафина – сложный, зависящий от химического состава нефти, количества в ней парафинов и асфальтосмолистых веществ, а также от условий нагрева и последующего охлаждения нефти.

При образовании структурной решетки кристаллы парафина могут взаимодействовать между собой непосредственно, срастаясь и образуя дендритную конфигурацию, но в большей степени они взаимодействуют между собой через сольватные оболочки образованием коагуляционных структур.

Владимир Николаевич Дегтярев – к.т.н., доцент.
Алексей Вячеславович Пименов – аспирант.

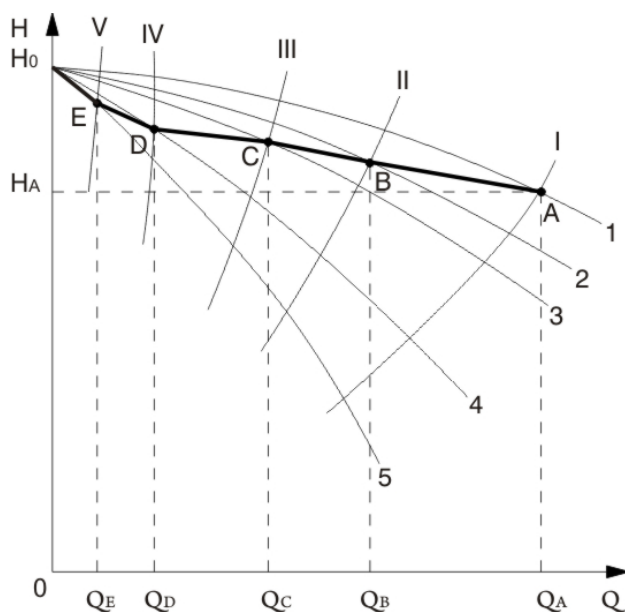
Этим объясняется тот факт, что относительно небольшое количество твердых кристаллов парафина (10-20%) может создать прочную объемную решетку, в ячейках которой иммобилизируется жидкая часть нефти. В определенной степени аналогом такой объемной структурной решетки можно считать пчелиные соты.

Образование структурной решетки парафина даже невысокой прочности превращает нефть в неньютоновскую систему, вязкость которой при постоянной температуре зависит от градиента скорости ее течения (от интенсивности ее деформации).

Если при перекачке парафиновой нефти в области проявления ею неньютоновских свойств снижается ее скорость течения, то происходит тиксотропное упрочнение ранее разрушенных связей в структурной решетке и вязкость ее возрастает. Рост вязкости может быть еще более интенсивным при одновременном снижении и температуры перекачиваемой нефти.

Ниже нами дается описание малоизученного механизма «самопроизвольной» остановки «горячего» нефтепровода, транспортирующего парафиновые застывающие нефти.

На рис. 1 графически представлен процесс «самопроизвольной» остановки «горячего» нефтепровода с насосно-перекачивающей станцией (НПС), оснащенной центробежными насосами.



Р и с . 1. Графическая интерпретация процесса «самопроизвольной» остановки нефтепровода:

1, 2, ... – $H-Q$ нефтепровода; I, II, ... – $H-Q$ насосной станции

Римскими цифрами обозначены гидравлические характеристики $Q=H$ трубопровода, арабскими – гидравлические характеристики центробежной НПС.

Точка А характеризует стационарную совместную работу НПС и нефтепровода. Соответственно Q_A – производительность нефтепровода, H_A – напор НПС, обеспечивающий эту производительность.

В какой-то момент происходит незапланированное отключение печей нагрева нефти, что приводит к следующим явлениям:

1) из-за снижения температуры нефти, поступающей на прием насосов, возрастает ее вязкость, что приводит к изменению характеристики $H-Q$ насосов (кривая 2);

2) происходит рост гидравлических сопротивлений (кривая II).

Рабочая точка переместится в т. В, соответственно, снизится и производительность трубопровода QВ.

Следует отметить, что скорость снижения производительности зависит от условий охлаждения трубопровода и реологических свойств перекачиваемой нефти.

Отрезок А-В на рис. 1 представлен в виде прямой, тогда как он может иметь более сложную конфигурацию.

С какого-то момента температура нефти на конечном участке нефтепровода может снизиться до температуры проявления нефтью неньютоновских свойств. В этом случае снижение производительности будет проходить еще интенсивнее, т. к. рост вязкости нефти связан не только со снижением ее температуры, но и со снижением градиента скорости потока.

Дальнейший рост вязкости нефти на приеме насосов будет снижать их производительность, тем самым снижая градиент скорости в трубе, и соответственно вязкость нефти в линейной части трубопровода за счет тиксотропии будет возрастать, что вызовет дополнительный сброс производительности НПС (т.т. С, D, E).

Производительность трубопровода будет последовательно снижаться. Расходы QC, QD, QE отвечают промежуточным положениям гидравлических характеристик трубопровода (III, IV, V) и НПС (3, 4, 5).

Описанный процесс автоматического самопроизвольного сброса производительности приведет к остановке перекачки. Это происходит в случае роста гидравлических сопротивлений в трубопроводе до величины H_0 , при которой $Q=0$.

Реальное проявление эффекта самопроизвольной остановки нефтепроводов иллюстрируются следующими примерами.

Пуск нефтепровода длиной 134 км и диаметром 500 мм (Ю. Мангышлак)

Нефтепровод перед пуском был заполнен высокопарафиновой нефтью с температурой застывания 23°C . Температура нефти в нефтепроводе составляла 20°C .

Пуск осуществляется подачей в трубопровод нефти, нагретой до $56-74^{\circ}\text{C}$, с помощью центробежного насоса 8 М.С.

Динамика производительности трубопровода и изменения вязкости вытесняемой нефти представлена на рис. 2.

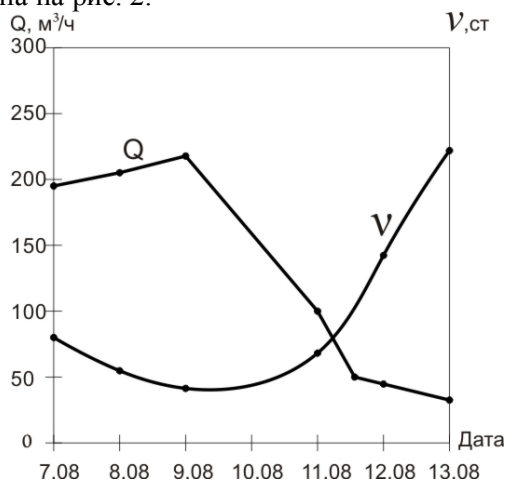


Рис. 2. Самопроизвольная остановка нефтепровода $D=500$ мм

В первые трое суток по мере замещения нефти, находящейся в трубе, нагретой нефтью, производительность трубопровода постепенно возрастала. Возрастал градиент скорости течения нефти и, соответственно, снижалась ее вязкость.

За трое суток работы нефтепровода более половины находящейся в нем нефти было замещено нагретой нефтью, после чего 10 августа нагревательные печи были отключены и начался процесс самопроизвольной остановки нефтепровода по описанной выше схеме.

Производительность начала снижаться, эффективная вязкость невытесненной из трубы нефти с температурой 20°C за счет тиксотропии стала резко возрастать, что привело к росту гидравлических сопротивлений в трубе и еще более снизило производительность насоса. В течение последующих трех суток вязкость возросла до 55 стокс, и после 13 августа производительность снизилась до нуля.

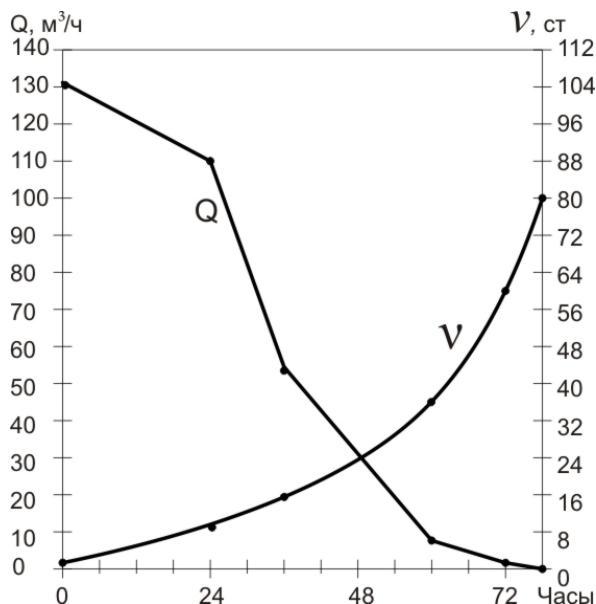
Перекачка по нефтепроводу прекратилась.

Остановка нефтепровода диаметром 300 мм и длиной более 100 км

«Горячий» нефтепровод с насосной станцией, оснащенной центробежными насосами, транспортирует парафиновую застывающую нефть.

Конечный участок нефтепровода проходит по заболоченной местности и пересекает несколько ручьев и мелких рек.

Коэффициент теплопередачи от трубопровода на этом участке очень велик, температура нефти на нем в зимнее время близка к температуре ее застывания, нефть при этом является неньютоновской жидкостью, вязкость которой зависит от градиента скорости.



Р и с . 3. Самопроизвольная остановка нефтепровода $D = 300$ мм

Ниже дается описание процесса самопроизвольной остановки нефтепровода в результате отключения печей подогрева нефти на несколько суток.

При прекращении нагрева нефти началось снижение температуры нефти на основной длине горячего нефтепровода и в приемных коллекторах НПС привело к определенному росту вязкости нефти и снижению производительности насосов. Это, в свою очередь, вызвало рост вязкости нефти на «холодном» конце трубопровода.

Основную роль в увеличении гидравлических сопротивлений в трубопроводе сыграло резкое повышение вязкости нефти на «холодном» участке трубопровода, связанное с тиксотропным упрочнением структурной решетки практически при неизменяющейся температуре.

Рис. 3 иллюстрирует зависимость производительности нефтепровода от величины эффективной вязкости нефти на конечном «холодном» участке нефтепровода.

В течение примерно трех суток повышение вязкости вело к росту гидравлических сопротивлений, снижению производительности перекачки (снижению градиента скорости), что автоматически привело к дальнейшему росту вязкости нефти, в первую очередь на «холодном» участке трубопровода, и соответственному росту гидравлических сопротивлений и т. д. по схеме, представленной на рис. 1.

При вязкости нефти порядка 80 стокс нефтепровод останавливается.

Таким образом, нами показано, что одной из проблем обеспечения эксплуатационной надежности «горячих» нефтепроводов является недопущение процесса самопроизвольной их остановки.

Это может быть достигнуто как конструктивными решениями на этапе проектирования (теплоизоляция, резервирование мест оперативного подключения передвижных насосных установок по трассе нефтепровода и т. д.), так и расчетом времени безопасной остановки таких нефтепроводов и разработкой комплекса мероприятий, обеспечивающих их пуск за период времени, меньшем времени безопасной остановки.

Статья поступила в редакцию 4 мая 2011 г.

SPONTANEOUS STOP OF «HOT» PIPELINES

V.N. Degtyarev, A.V. Pemenov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The article describes a mechanism to reduce the performance of pipelines with oil heating stations (so-called «hot» piping), that transport solidifying paraffin oil.

Temporary disconnection of oil heating may not only lead to an increase in oil viscosity, but also can create conditions for the emergence and strengthening of thixotropic structural lattice in paraffin oil.

This leads to an intense increase in the viscosity in the area of Newtonian flow of the oil. Decreasing performance of centrifugal pumps contributes to even greater increase in viscosity and finally to a complete stop of oil flow. Examples of the «spontaneous» stop of real «hot» pipelines are listed.

Keywords: waxy oil, “hot” pipelines, “hot” transfer, lattice structure of wax.