УДК 532.13

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ НА ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ

♦♦♦♦♦

THE INFLUENCE OF THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF OIL ON THE CHOICE OF TRANSPORT AND STORAGE TECHNOLOGY

Федотова М.В.
старший преподаватель
кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
starodub.m@mail.ru

Мананкова М.В.
студентка кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
manankova05@inbox.ru

Аннотация. В статье рассмотрено влияние физико-химических свойств нефти (плотности, вязкости, содержания парафинов, асфальтенов, смол, температуры застывания и фракционного состава) на выбор технологий транспортировки и хранения. Установлено, что освоение трудноизвлекаемых запасов высоковязких и парафинистых нефтей требует использования специализированных методов.

Ключевые слова: высоковязкая нефть, реология, парафиноотложения, трубопроводный транспорт, хранение нефти, испарение легких фракций.

Fedotova M.V.
Senior Lecturer at the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
starodub.m@mail.ru

Manankova M.V.
Student of the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
manankova05@inbox.ru

Annotation. The article examines the influence of the physicochemical properties of oil (density, viscosity, content of paraffins, asphaltenes, resins, pour point, and fractional composition) on the choice of transportation and storage technologies. It has been established that the development of hard-to-recover reserves of highly viscous and paraffinic oils requires the use of specialized methods.

Keywords: high-viscosity oil, rheology, paraffin deposits, pipeline transport, oil storage, evaporation of light fractions.

По мере исчерпания запасов легких маловязких нефтей все большее значение приобретает добыча трудноизвлекаемых запасов, представленных высоковязкими и парафинистыми нефтями. Мировые геологические ресурсы тяжелых нефтей оцениваются в 700 млрд т, что соизмеримо с мировыми запасами обычной нефти, а геологические запасы высоковязкой нефти в России достигают 75 млрд т. Однако их применение требует использования специальных дорогостоящих технологий, так как такая нефть сложна в переработке и из-за высокой вязкости ее сложно перекачивать. Операционные затраты по добыче и транспортировке тяжелой нефти в 3–4 раза превосходят эти затраты для легкой нефти. В связи с этим выбор технологии транспорта и хранения нефти напрямую определяется ее физико-химическими свойствами [1]. Нефть представляет собой сложную смесь углеводородов различных классов – алканов, циклоалканов и аренов, а также гетероатомных соединений – смол и асфальтенов. Именно соотношение этих компонентов определяет ключевые транспортные характеристики сырья. При низком содержании высокомолекулярных соединений нефть ведет себя как ньютоновская жидкость и может перекачиваться при обычных температурах. В противном случае, при высоком содержании парафинов и асфальтенов, нефть приобретает свойства неньютоновской среды, вязкость которой зависит от скорости сдвига и температурной предыстории [2]. Наиболее значимыми параметрами для выбора технологии транспорта являются вязкость и температура застывания. Вязкость высоковязких нефтей быстро увеличивается при снижении температуры, и застывает такая нефть при сравнительно низких температурах. В состав высоковязкой нефти входит большое количество парафинов: при высоких температурах она является маловязкой жидкостью, однако при снижении температуры ниже начала кристаллизации в ней начинают выделяться кристаллы парафина, количество которых увеличивается по мере снижения температуры. Вязкость в пластовых условиях

для месторождений тяжелой высоковязкой нефти варьируется от относительно небольших значений 20 МПа·с до величин, близких к значениям природного битума (9000 МПа·с), при этом большинство месторождений имеют вязкость в пределах 1000 МПа·с. Температурная зависимость вязкости нефти описывается уравнениями типа Аррениуса или эмпирическими корреляциями, например уравнением Беггса-Робинсона: lg(μ) = 10^(3,0324 − 0,02023·API) × T^(−1,163) − 1. Для неньютоновских нефтей применяются модели Шведова-Бингама ($\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}$), степенная модель Оствальда-де Вале и их модификации. Выбор конкретной реологической модели определяется природой нефти и диапазоном температур эксплуатации трубопровода [3]. Для нефтей, сохраняющих текучесть при нормальных условиях, применяется традиционная перекачка по трубопроводам. Однако для высоковязких и парафинистых нефтей требуются специальные технологии. Наиболее распространенным методом является «горячая перекачка» – нагрев нефти до температуры, при которой парафины полностью растворяются, а вязкость снижается до приемлемых значений, который представлен на рисунке 1:

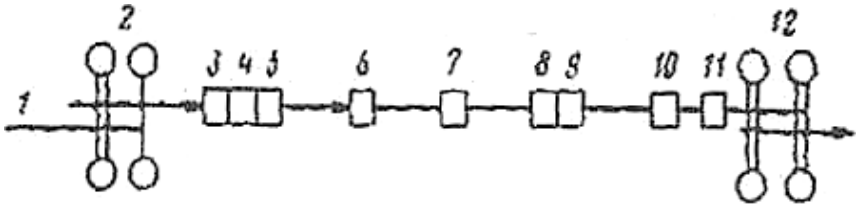


Рисунок 1 – Схема горячей перекачки:
1 – трубопровод; 2 – резервуарный парк; 3 – насосы; 4 – подогреватели;
5 – основные насосы; 6,7,9, 10,11 – промежуточные тепловые станции;
8 – промежуточные насосные установки; 12 – сырьевой парк

При повышении температуры воздуха в дневное время резервуар нагревается, увеличивается испарение нефтепродуктов, особенно легколетучих фракций, а следовательно, растут давление и температура парогазовой смеси в резервуаре, срабатывает дыхательный клапан, и паровоздушная смесь выходит в окружающую среду. Ночью давление парогазовой смеси снижается, создается частичный вакуум, и воздух через впускной клапан поступает в газовое пространство резервуара. Для расчета потерь от «малых дыханий» применяются эмпирические формулы, учитывающие истинное давление паров при температуре жидкости, диаметр резервуара и климатические коэффициенты [4]. Выбор технологии хранения определяется давлением насыщенных паров нефти. Для нефтей с высоким содержанием легких фракций применяются резервуары с плавающей крышей или понтоном, что позволяет сократить потери от «малых дыханий» на 70–80 %. Для особо легких нефтей и газоконденсатов используются подземные резервуары в соляных кавернах, где колебания температуры минимальны, а потери от испарения практически исключены. Системы улавливания легких фракций позволяют рекуперировать пары углеводородов, возвращая их в поток нефти и предотвращая загрязнение атмосферы. Для снижения потерь легких фракций при хранении нефти применяются различные методы: газохранилища, факельное сжигание, мембранное разделение смеси легких фракций, азотное охлаждение, адсорбция с помощью активированного угля, абсорбция нефтяными маслами [5]. Физико-химические свойства нефти – вязкость, температура застывания, содержание парафинов, асфальтенов и легких фракций – являются определяющими факторами при выборе технологии транспорта и хранения. Для высоковязких и парафинистых нефтей требуются специальные методы подготовки, такие как нагрев, разбавление и применение депрессорных присадок, в то время как для легких нефтей ключевой задачей становится минимизация потерь от испарения. [6] Реологические характеристики неньютоновских нефтей описываются моделями Шведова-Бингама и Оствальда-де Вале, а механизмы формирования асфальтосмолопарафиновых отложений определяются молекулярной диффузией парафинов и нарушением равновесного состояния асфальтенов. Ком-

плексный учет реологических и фазовых характеристик сырья на стадии проектирования систем транспорта и хранения позволяет обеспечить энергоэффективность, надежность и экологическую безопасность нефтяной инфраструктуры [7].

Литература

1. Геология и недропользование. – 2022. – № 5. – С. 62–75.
2. Вестник Тюменского государственного университета. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 27–45.
3. Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 6. – С. 52–57.
4. Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 12. – С. 45–52.
5. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 18. – № 1.
6. Двухфазное течение вязкопластичной или степенной жидкости: обзор // Журнал механики неньютоновских жидкостей. – 2026.
7. РМГ 107-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Потенциальные потери углеводородов в нефти от испарения.

References

1. Geology and Subsoil Use. – 2022. – № 5. – P. 62–75.
2. Bulletin of Tyumen State University. – 2021. – Vol. 7. – № 4. – P. 27–45.
3. Oil Industry. – 2022. – № 6. – P. 52–57.
4. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2024. – № 12. – P. 45–52.
5. Bulletin of PNIPU. Geology. Oil and Gas and Mining Engineering. – 2018. – Vol. 18. – № 1.
6. Two-phase flow with viscoplastic or power-law fluid: A review // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. – 2026.
7. RMG 107-2010. State system for ensuring the uniformity of measurements. Potential losses of hydrocarbons in oil due to evaporation.