РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

DEVELOPMENT OF OIL AND GAS DEPOSITS

УДК 622.692.4

В.И.АЛЕКСАНДРОВ, *д-р техн. наук., профессор, victalex@mail.ru*
А.П.ХРАБРОВ, *аспирант, pellava@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

V.I.ALEXANDROV, *Dr. in eng.sc., professor, victalex@mail.ru*
A.P.KHRABROV, *post-graduate student, pellava@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ В ВИДЕ ЭМУЛЬСИЙ С ЦЕЛЬЮ ИХ ОПТИМИЗАЦИИ

В работе рассмотрена физическая модель течения прямой эмульсии высоковязкой нефти, учитывающая как структурные, так и пластические свойства вязкопластических жидкостей. На основании теоретических исследований, подтвержденных экспериментальными данными, разработан алгоритм расчета параметров трубопроводного транспортирования высоковязкой нефти в эмульсионном состоянии

Ключевые слова*:* гидротранспорт, высоковязкая нефть, эмульсия, математическая модель, трубопроводный транспорт.

PARAMETERS OF HIGH VISCOSITY OILS TRANSPORTATION IN THE FORM OF EMULSION RESEARCH IN ORDER TO ITS OPTIMIZATION

The article deals with the physical model of high viscosity oil-in-water emulsion flow, which concern both structural and plastic properties of viscoplastic liquids. On the basis of theoretical study, which was proved with experimental data, computation algorithm of high viscosity oil in emulsion state pipeline transportation was developed.

Key words*:* hydrotransport, high viscosity oil, emulsion, mathematical model, pipeline transportation.

Чаще всего, вновь разрабатываемые месторождения значительно удалены от основных районов переработки и потребления. В связи с этим логичным является для транспортирования высоковязкой нефти использовать преимущества трубопроводного транспорта. Однако аномальные свойства таких нефтей заставляют разрабатывать специальные технологии улучшения их реологических свойств для обеспечения эффективного и экономически оправданного способа транспортирования [1, 3].

В последние годы значительное внимание уделяется вопросам трубопроводного транспорта высоковязкой нефти совместно с водой – гидротранспорт [2, 4]. Выполненные в разные годы, как у нас в стране, так и за рубежом исследования по совместной перекачке высоковязкой нефти и воды подтверждают технико-экономическую эффективность данного способа. Результаты промышленных экспериментов на действующих трубопроводах показали, что удельные потери напора значительно снижаются в сравнении с обычной перекачкой высоковязкой нефти.

Известно, что нефтяная фаза потока в процессе перекачки всегда диспергируется, т.е. разбивается на отдельные нефтяные частицы, того или иного размера (диаметра). Особенно дисперсность нефтяной фазы проявляется на границе раздела, где формируется эмульсионная составляющая потока, и свойства которой будут определяться не только поверхностным натяжением (число Вебера), но и сдвиговыми напряжениями. Таким образом, при совместной перекачке высоковязкой нефти и воды, речь должна идти о перекачке нефти в состоянии эмульсии.

Проведенные теоретические исследования позволили выбрать физическую модель, наиболее близко, на наш взгляд, описывающую течение водно-нефтяных эмульсий по трубопроводу: модель Бингама (Bingham model), где тело течения (жидкость) представляет собой бингамовский пластик. При этом принято, что эмульсии с относительно высокими концентрациями диспергированной нефти подобны бингамовскому пластику, но отличаются от него природой возникновения и механизмом проявления пластических свойств.

Выбранная физическая модель течения прямой эмульсии ярегской высоковязкой нефти основана на предположении, что реологические свойства таких жидкостей зависят от эффективной вязкости, представляющей собой сумму эффектов от структурной и пластической вязкости.

Для определения взаимосвязи и характера проявления реологических параметров при изменении объемного расхода эмульсии и содержания нефтяных частиц (концентрации) выполнено интегрирование полученного реологического уравнения. При этом согласно схеме течения, принималось, что средний расход в поперечном сечении трубопровода складывается из центрального тела течения – ядра потока и течения в кольцевой области – между ядром потока и стенкой трубопровода, а концентрация и вязкость жидкости изменяются в области кольцевого сечения. В этом условии заключается принципиальное отличие известных методов математического анализа уравнения Бингама-Шведова, в которых вязкость жидкости принимается постоянной по всему сечению трубопровода и при интегрировании выносится за знак интеграла. Интегрирование уравнения Бингама-Шведова при постоянной вязкости по сечению потока приводит к известному уравнению Букингама, устанавливающего взаимосвязь только двух параметров – напряжения сдвига и расхода. Другие же параметры, такие как вязкость эмульсии и содержание дисперсных частиц, от которых фактически и зависят напряжения, в это уравнение не входят. Было принято, что концентрация по сечению потока изменяется по линейному закону от максимального значения на границе ядра потока до нулевого значения на стенках трубопровода, а вязкость как функция концентрации, также линейно изменяется в этих пределах от максимального значения до вязкости вмещающей нефтяные частицы жидкости, т.е. воды. Такой подход при определении значений вязкости в поперечном сечении трубопровода до настоящего времени не использовался, так как при этом значительно усложняется способ решения соответствующих интегральных уравнений.

В результате указанной математической обработки с применением компьютерных технологий было получено обобщенное уравнение течения потока смеси в трубопроводе, связывающее все главные параметры реологического потока: напряжение на стенке трубопровода и начальное напряжение сдвига, радиус ядра потока и радиус трубопровода, вязкость на границе ядра потока и вязкость в кольцевой области течения

$$q = \frac{K_p}{\sigma\rho_0^3} = 1 + \frac{K_p k_{st}}{\sigma\rho_0^3}\left(1 - \sigma\rho_0^3\right), \qquad (1)$$

где q – средний расход эмульсии; K_p – безразмерный коэффициент пластичности; K_{st} –безразмерный коэффициент структуры, ρ_0 – безразмерный радиус ядра потока, σ – безразмерное (относительное) напряжение.

Из формулы следует, что средний расход эмульсии определяется радиусом ядра потока, напряжением сдвига и вязкостью в зонах течения. Каждая из этих зон течения характеризуется своим значением вязкости. Фактически это положение было положено в основу математической модели течения эмульсий, характеризующихся вязкопластическими свойствами. Уравнение (1) является конечным видом математической модели потока эмульсии, выраженной в безразмерном виде.

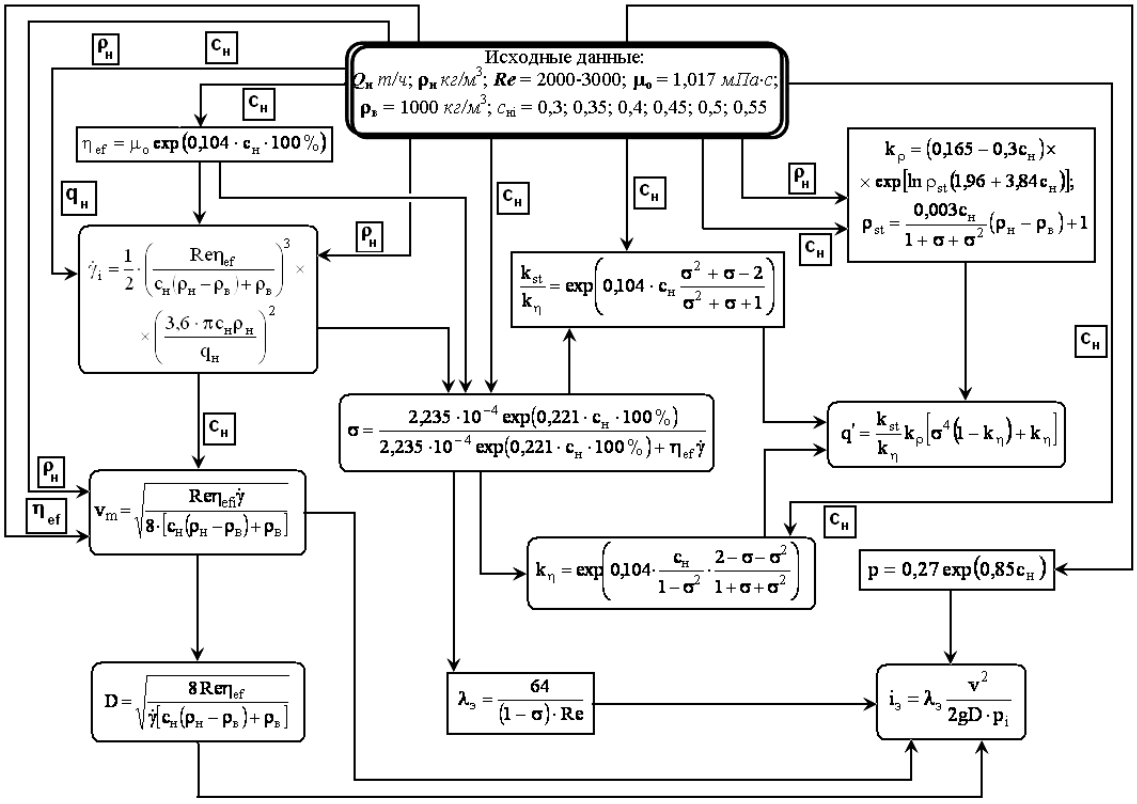
Из уравнения следует, что при $\dfrac{\eta_{st}}{\eta_p} = K_p k_{st} = \dfrac{1}{k_p}\Big|_{\rho_0=0} \to 1$ и $k_p = 1$, что означает $\eta_p = \eta_{st}$ и, следовательно, поток представлен внешней фазой (водой); если $K_p = \dfrac{1}{k_p}\Big|_{\rho_0=1} \to 1$ и $k_p = 0$, из чего следует $\eta_{ef} = \eta_{st}$ и континуум выражен только внутренней фазой – нефтью.

Таким образом, полученное уравнение (1) охватывает всю область возможных концентраций нефтяных эмульсий, и его можно записать в следующем общем виде

$$q = q(\nu_0, \rho_0, \sigma), \qquad (2)$$

где q –безразмерный (относительный) расход эмульсии в трубопроводе, ν_0 – безразмерная вязкость эмульсии, ρ_0 – безразмерный радиус ядра потока, σ – безразмерное (относительное) напряжение.

В процессе решения на основании принятого линейного закона, получены расчетные формулы для вязкости и концентрации как функции радиуса ядра потока и радиуса



Алгоритм расчета параметров трубопроводного транспортирования высоковязкой нефти в эмульсионном состоянии

трубопровода. На основе аппроксимации построенных графических зависимостей была получена формула, устанавливающая взаимосвязь расхода в кольцевой области потока, напряжения сдвига и концентрации нефтяных частиц (вязкости) и формула для коэффициента гидравлических сопротивлений при течении эмульсии в ламинарной области, также учитывающая параметры, определяющие реологические свойства эмульсии.

Для проверки адекватности разработанной модели была проведена серия экспериментов по определению на реальных нефтяных эмульсиях численных значений коэффициентов вязкости и структуры.

В результате проведения экспериментов осуществлена проверка полученных решений на адекватность реальным процессам транспортирования прямых водно-нефтяных эмульсий по трубопроводу. Отклонение расчетных данных от экспериментальных по абсолютному значению не превышает 5 %.

На основании теоретических исследований, подтвержденных экспериментальными данными, разработан алгоритм расчета параметров трубопроводного транспортирования высоковязкой нефти в эмульсионном состоянии (см.рисунок).

В соответствии с предложенным алгоритмом возможно с помощью компьютерных технологий на практике оптимизировать технологические параметры транспортирования прямых водо-нефтяных эмульсий в зависимости от плотности перекачиваемой нефти, от концентрации нефти в эмульсии, от диаметра трубопровода, от скорости потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамзон А.С.* Трубопроводный транспорт высоковязких и застывающих нефтей. ВНИИОЭНГ. М., 1969.

2. *Саадеванди Б.* Водные эмульсии для трубопроводного транспорта вязкой сырой нефти / Б.Саадеванди, А.Пилевари // Материалы ежегодной технической конференции и выставки. 2-5 октября. 1988. Хьюстон, Техас.

3. *Храбров А.П.* Анализ методов и средств подготовки высоковязкой и тяжелой нефти к трубопроводному транспорту / А.П.Храбров, В.И.Александров. // Материалы 8-й Международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех». УГТУ, 2008.

4. *Храбров А.П.* Метод расчета гидротранспорта высоковязкой нефти / А.П.Храбров, В.И.Александров // Научно-технический журнал «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов». 2010. № 2 (80).

REFERENCES

1. *Abramson A.S.* Pipeline transport of High Viscosity and concreted Oil. VNIIOENG. Moscow, 1969.

2. Saadevandi B., Pilehvari A. Water Emulsions for Pipeline Transport of Viscous Crude Oil // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 2-5 October 1988, Houston, Texas, USA.

3. *Khrabrov A.P.* The analysis of methods and preparation means high viscosity and heavy oil to pipeline transport / A.P.Khrabrov, V.I.Alexandrov // Materials 8 international youth scientific conferences «Severgeoecoteh». UGNTU, 2008.

4. Khrabrov A.P. Alexandrov V.I.Calculation of hydraulic transport of high viscosity oil / A.P.Khrabrov V.I.Alexandrov // Scientific and technical magazine «Problems of gathering, preparation and transport of oil and oil products». 2010. № 2 (80).