

К вопросу смешения углеводородного конденсата с товарной нефтью (результаты моделирования)

И.Ю. Хасанов (Салават, Россия)

npc-sherik@mail.ru

д.т.н., ООО НПЦ «Шэрыкъ»

С.А. Гуржий (Ташкент, Узбекистан)

ОАО «ЛУКОЙЛ»

У.Р. Ильясов (Ишимбай, Россия)

к. ф.-м. н., Уфимский государственный авиационный технический университет, филиал в г. Ишимбае, РБ

М.Ф. Мугафаров (Ишимбай, Россия)

к.ф.-м. н., Уфимский государственный авиационный технический университет, филиал в г. Ишимбае, РБ

С.М. Мухаметшин (Ишимбай, Россия)

к. ф.-м. н., Уфимский государственный авиационный технический университет, филиал в г. Ишимбае, РБ

Приведены результаты расчетов по смешению нефти и конденсата в потоке. На основе проведенных численных экспериментов получены качественные характеристики смеси от режимов работы смесителя.

Материалы и методы

Компьютерное моделирование процессов смешения гетерофазных систем, результаты опытно-промышленных испытаний на установках подготовки нефти и газа месторождения Каракудук.

Ключевые слова

смешение, математическое моделирование, товарная нефть, конденсат, газожидкостный поток

To the issue of hydrocarbon condensate intermixture with commodity oil (modeling results)

Authors

Imer Yu. Khasanov (Salavat, Russia)

D.E.S., JSC NPTs "Sheryk"

Stepan A. Gurzhiy (Tashkent, Uzbekistan)

JSC Lukoil

В первой части работы [1] была представлена постановка задачи смешения конденсата с товарной нефтью, впрыскиваемого через дроссельный смеситель в поток. Выписана система уравнений, описывающих данный процесс. В данной части работы представлены результаты математического моделирования различных режимов смешения, проведен их анализ.

Ожидаемые условия работы смесителя были выбраны в рамках промысловых данных месторождения «Каракудук», РК [2]. Температура основного потока 45 °С, давление в трубопроводе 400 кПа. Значениями расходов нефти задавались из ряда величин 140, 160, 175 т/ч, внутренние диаметры трубопровода основного потока в расчетах принимали 220, 301 и 350 мм. При этом скорости потока существенно отличаются, а это соответственно должно влиять на протяженность зоны полного перемешивания и растворения компонентов. В табл. 1 приведены исследованные скорости потока нефти в зависимости от представленных выше расходов и диаметра труб.

Следующий параметр, который должен влиять на качество смеси — давление в смесителе. Расчеты проведены для значений давлений в смесителе 700, 900 и 1100 кПа. Каждому значению давления соответствует своя температура дросселирования, а также расходы жидкой и паровой фаз конденсата.

Кроме того, диаметр отверстий на самом смесителе влияет на процесс смешения, т.к. от него зависит скорость впрыска и в пределе, крупность образовавшихся частиц, следовательно, картина перемешивания и растворения. Значения скоростей впрыска в зависимости от диаметра отверстий на смесителе и давлений перед смесителем приведены в табл. 2.

Как отмечалось в первой части работы [1], задача решалась в два этапа:

- первый этап: задача перемешивания двух жидкостей (нефти и конденсата) с разными температурами, т.е. в основной трубе движется нефть при заданной температуре, а через отверстия смесителя подается конденсат при температуре дросселирования;
- второй этап: задача растворения, образовавшихся при дросселировании, пузырьков газа в потоке нефти с растворенным в

ней конденсатом.

Цель работы — выявить, что оказывает лимитирующее влияние на протяженность зоны полного перемешивания компонентов смеси и растворения, образовавшихся при дросселировании конденсата пузырьков газа для определения места установки смесителя в трубопроводе товарной нефти.

Далее приведены результаты расчетов.

На рис. 1 показаны поле скоростей и концентраций конденсата в трубопроводе, полученные для расхода нефти 140 т/ч и при давлении в смесителе 700 кПа, которому соответствовал расход конденсата 2936 кг/ч.

При этом скорость потока нефти составляла 0.68 м/с и скорость впрыска конденсата, соответствующая давлению 700 кПа и диаметру отверстий 5 мм — 2.09 м/с. Как видно из рис. 1, уже на расстоянии 0,75 м от смесителя поток практически однородный (верхний рисунок), а на расстоянии 1 м происходит практически полное перемешивание нефти с конденсатом, поток гомогенный.

Более подробную картину о структуре потока дают распределения температуры и концентрации конденсата в сечениях трубы, представленные на рис. 2...4. Каждая кривая представляет собой зависимость заданного параметра (температуры потока или концентрации конденсата) от радиуса трубы на некотором сечении. Сечения расположены через каждые 0.5 м от смесителя.

Из рис. 2...4 следует, что оптимальным, с точки зрения наилучшего перемешивания, является диаметр отверстий 3–5 мм. Проведенные расчеты показали, что если диаметр отверстий мал (2 мм), то струя конденсата «прибивается» к стенке трубы вследствие большой скорости впрыска (порядка 10 м/с). Для диаметра отверстий в 7 мм скорость впрыска 1.5 м/с, это приводит к сносу струи конденсата основным потоком к центру трубы.

Кроме того, из анализа рис. 1...4 следует, что не зависимо от скорости впрыска, на расстояниях ~2 м от смесителя смесь можно считать близкой к однородной, и по температуре, и по концентрации конденсата в основной трубе. По-видимому, столь небольшой путь смешения вызван высокой турбулентностью основного потока и малыми концентрациями конденсата в смеси, $Re \geq 50000$.

Расход нефти, т/ч	Скорость потока, м/с при диаметрах трубопровода, мм		
	220	301	350
175	1.58	0.85	0.62
160	1.44	0.78	0.57
140	1.26	0.68	0.50

Таб. 1 — Скорости потока в трубопроводе в зависимости от расхода нефти и диаметра трубы, м/с

Диаметр отв, мм	Скорости впрыска, м/с при давлении в смесителе, кПа		
	700	900	1100
3	5,8	6,05	6,25
5	2,09	2,18	2,25
7	1,06	1,11	1,15

Таб. 2 — Значения скоростей впрыска конденсата для различных диаметров отверстий на смесителе и от давлений перед смесителем

Уравнения, описывающие движение парожидкостного потока в трубе так же приведены в первой части работы. Ниже представлены некоторые результаты численного моделирования движения парожидкостного потока с растворяющимся в нефти газом.

Выберем, по результатам первой части работы, сечение трубы на расстоянии 2 м от смесителя, на которое подается пузырьковая жидкость. Это позволит считать, что основной поток однородным, т.е. жидкая часть конденсата полностью перемешалась с нефтью.

На рис. 5...7 показаны распределения объемной доли жидкой фазы ($1-\phi_g^{(v)}$) в парожидкостном потоке на сечениях трубы, отстоящих друг от друга на 1 м. Рассмотрены расходы нефти 140, 160 и 175 т/ч при давлении дросселирования 700 кПа. Внутренний диаметр основной трубы 301 мм. Жидкая фаза — нефть + конденсат. Линии получены с шагом 1 м. Как видно из рис. 5 7-я линия соответствует практически чистой жидкости, т.е. на расстоянии 9 (7+2) м весь газ растворился в нефти. Для расхода 175 т/ч соответственно — на 12 м (рис. 7).

Как видно из рис. 5...7 наблюдается нелинейная зависимость протяженности зоны полного растворения выделившегося газа от расхода нефти. Это явление связано с тем, что увеличение скорости потока, с одной стороны приводит к интенсификации массообмена и ускорению растворения пузырьков газа, а с другой стороны, чем больше скорость потока, тем дальше сносятся пузырьки газа.

Кроме того, как показано на рисунках, однородность потока по температуре и концентрации жидкой части конденсата с нефтью реализуется уже на расстояниях 2 м от смесителя, а однородность по газовой части, т.е. полное растворение пузырьков — на расстояниях порядка 10 м. Таким образом, лимитирующее влияние на протяженность полного перемешивания оказывает переход от пузырькового режима течения к «чистой» жидкости.

В заключении отметим, что при решении уравнений, описывающих движение перемешивающихся жидкостей, в также пузырькового потока применялся метод конечных элементов [3]; вычисления системы уравнений проводились с использованием библиотек с открытым кодом OpenFOAM [4], промышленные испытания смесителя показали адекватность результатов, полученных путем математического моделирования.

Итоги

Проведены опытно-промышленные испытания разработанной технологии и оборудования для смешения жидкой части ШФЛУ в трубопроводе с потоком товарной нефти. Технология и оборудование внедрены на месторождении Каракудук, Республика Казахстан.

Выводы

Проведено численное исследование процесса перемешивания конденсата и нефти в дроссельном смесителе. Полученные решения согласуются с промышленными данными.

Ural R. Ilyasov (Ishimbay, Russia)

Ph.D, Ufa State Aviation Technical University, Ishimbay branch, RB

Marat F. Mugafarov

Ph.D, Ufa State Aviation Technical University, Ishimbay branch, RB

Salavat M. Mukhametshin

Ph.D, Ufa State Aviation Technical University, Ishimbay branch, RB

Abstract

Calculations results on oil and condensate intermixture in a stream are presented.

On the basis of the carried-out numerical experiments the mixture quality characteristics resulting from operating modes of the mixer are obtained.

Materials and methods

Computer modeling of heterogeneous systems intermixture processes, results of pilot testing at Karakuduk fields oil and gas treatment facilities.

Results

Experimental-industrial tests of the developed technology and equipment for compounding of NGL and commodity oil flow in a pipeline are carried out. The technology and the equipment are implemented on the Karakuduk field, Republic of Kazakhstan.

Conclusions

Numerical research of condensate and oil intermixing process in a throttle mixer is carried out. The obtained results keep in step with field data.

Keywords

intermixing, mathematical modeling, commodity oil, condensate, gas phase stream

References

1. Khasanov I.Yu., Shefer A.G., Ilyasov U.R., Mugafarov M.F., Mukhametshin S.M. To the issue of hydrocarbon condensate intermixture with commodity oil (Problem definition) // Oil Gas Exposition— Naberezhnye Chelny: Publ. OOO «Oil Gas Exposition», No. 3(21), 2012 — Pages. 35-37.
2. Gurzhii S.L., Shefer A.G., Rogozin V.I., Khasanov I.Yu. On rational technology of hydrocarbon condensate recovery at Karakuduk field // XIX International Specialized Exhibition «Gas. Oil. Technologies - 2011» Ufa, May 24-27, 2011. Forum materials. Safety and reliability assurance problems and methods of oil, oil products and gas transportation systems. Pages 139-142.
3. Nikitin K.D. Nonlinear method of final volumes for polyphase filtration problems // Mathematical modeling. 2010. Volume 22, No. 11. Pages 131-147.
4. <http://www.openfoam.co.uk/openfoam/>

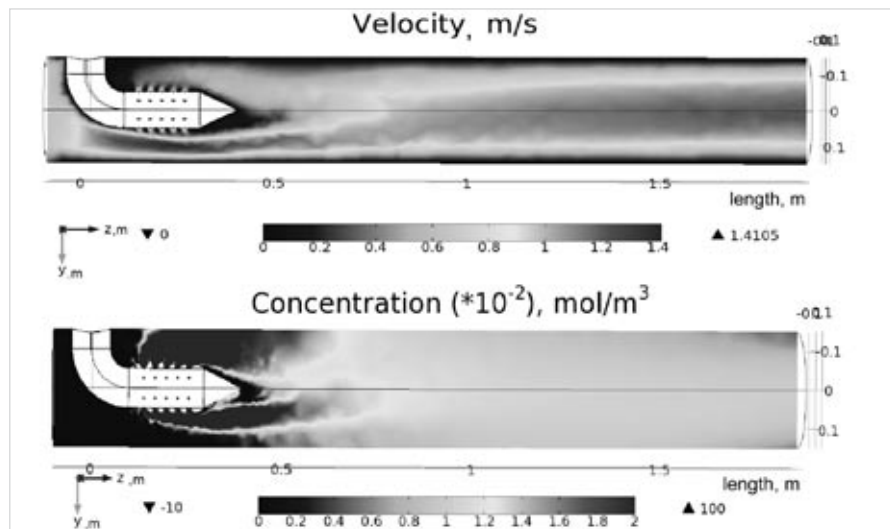


Рис. 1 — Поля скоростей (верхний рис.) и концентраций (нижний рис.) конденсата в трубопроводе

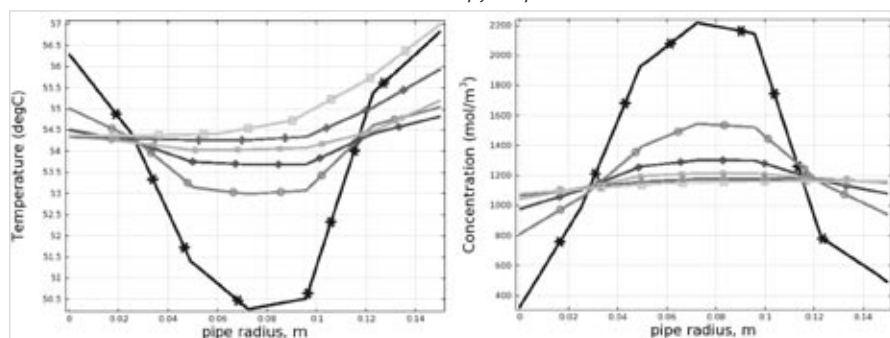


Рис. 2 — Распределения температуры и концентрации конденсата в поперечных сечениях трубы через каждые 0,5 м для диаметра отверстий смесителя 3 мм. Обозначения: здесь и на рис. 3 и 4: * — состояние на расстоянии 0,5 м от сопла, ○ — 1,0 м, ◇ — 1,5 м, □ — 2,0 м, + — 2,5 м, □ — 3,0 м и на рис. 5...7 через 1 м соответственно.

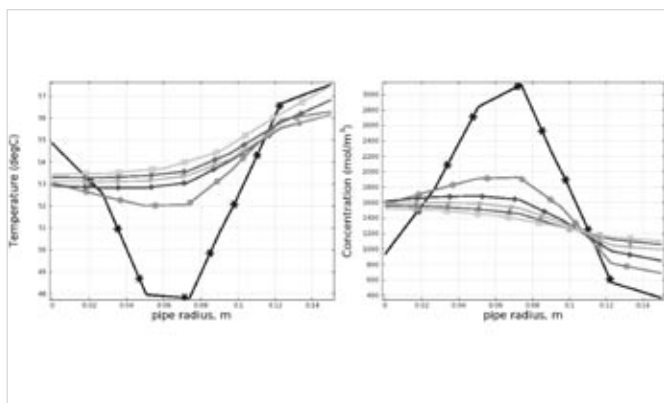


Рис. 3 — Распределения температуры и концентрации конденсата в поперечных сечениях трубы через каждые 0,5 м. для диаметра отверстий смесителя 5 мм.

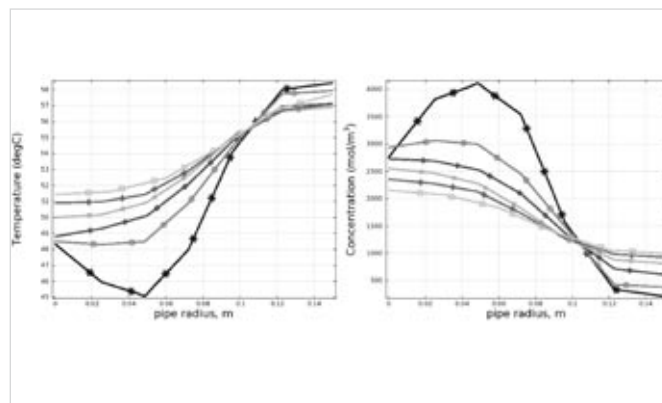


Рис. 4 — Распределения температуры и концентрации конденсата в поперечных сечениях трубы через каждые 0,5 м. для диаметра отверстий смесителя 7 мм.

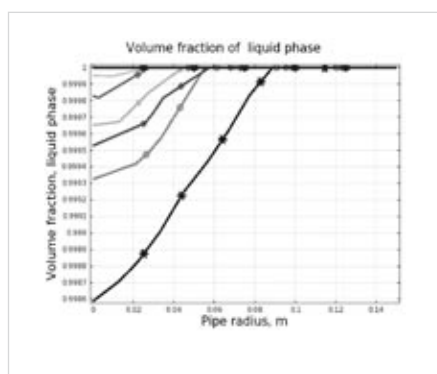


Рис. 5 — Распределения концентраций жидкой фазы в парожидкостном потоке на сечениях трубы. Расход нефти 140 т/ч, давление в смесителе 700 кПа. Протяженность зоны полного растворения $L=7+2$ м.

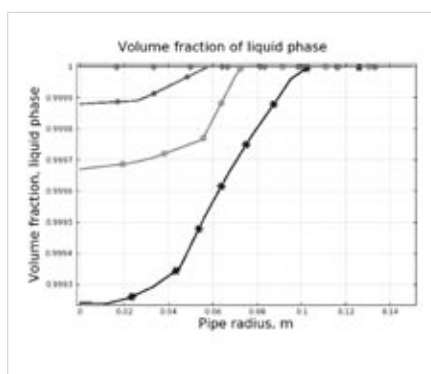


Рис. 6 — Распределения концентраций жидкой фазы в парожидкостном потоке на сечениях трубы. Расход нефти 160 т/ч, давление в смесителе 700 кПа. Протяженность зоны полного растворения $L=5+2$ м.

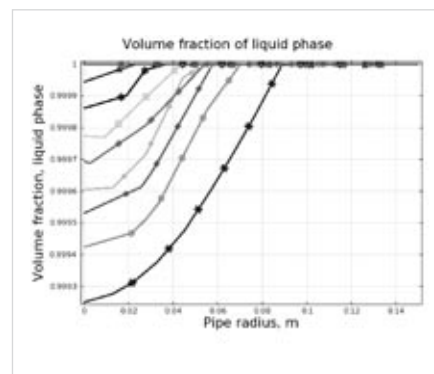


Рис. 7 — Распределения концентраций жидкой фазы в парожидкостном потоке на сечениях трубы. Расход нефти 175 т/ч, давление в смесителе 700 кПа. Протяженность зоны полного растворения $L=10+2$ м.

Список использованной литературы

1. Хасанов И.Ю., Шефер А.Г., Ильясов У.Р., Мугафаров М.Ф., Мухаметшин С.М. К вопросу смешения углеводородного конденсата с товарной нефтью (Постановка задачи) // Экспозиция Нефть Газ — Набережные Челны: Изд. ООО «Экспозиция Нефть Газ», № 3(21), 2012 — С.48-50.
2. Гуржий С.Л., Шефер А.Г., Рогозин В.И., Хасанов И.Ю. О рациональной технологии утилизации углеводородного конденсата на месторождении «Каракудук» //XIX международная специализированная выставка «Газ. Нефть. Технологии — 2011» Уфа 24–27 мая 2011 г. Материалы форума. Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. С. 139–142.
3. Никитин К.Д. Нелинейный метод конечных объемов для задач многофазной фильтрации // Математическое моделирование. 2010. Т.22, № 11. С. 131–147.
4. <http://www.openfcd.co.uk/openfoam/>



Научно-производственный центр «Шэрык»

453266, Башкортостан, г. Салават-16, а/я 328
тел. (3476) 36-22-63, факс (3476) 36-19-74, E-mail: npc-sherik@mail.ru

Сфера деятельности — от научно обоснованной идеи до поставки оборудования и технологий в производство
Генеральный директор — доктор технических наук, заслуженный деятель науки РБ Хасанов Ильмер Юсупович

Направления деятельности. Прикладные научные исследования и разработка техники и технологий для нефтегазового комплекса, передача технологий и поставка техники нефтегазовым промышленным компаниям применительно:

- охраны окружающей среды при сборе, подготовке и транспорте нефти и нефтепродуктов;
- строительства, реконструкции, эксплуатации и ремонта объектов нефтегазодобычи и трубопроводного транспорта;
- подготовки и хранения нефти и нефтепродуктов;

Деловые партнеры: ОАО «Газпром», ОАО «АК «Транснефть», ОАО «Салаватнефтемаш»; ЗАО «Белебеевский механический завод»; ЗАО «Уфагидромаш»; ОАО «МК «Витязь»; ТОО «Таза-Мунай «Актобе»; ТОО «Каракудукмунай» и др.

Потребители продукции: Российские и зарубежные нефтегазодобывающие и трубопроводные предприятия и организации.