ОЦЕНКА СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПЕРЕКАЧКЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДАХ

EVALUATION OF THE MIXTURE FORMATION OF PETROLEUM PRODUCTS AT BATCHING TRANSPORTATION IN TECHNOLOGICAL PIPELINES

Воронин Алексей Николаевич
магистр технических наук, старший преподаватель.
Полоцкий государственный университет
a.voronin@tut.by

Липский Владимир Константинович
доктор технических наук, профессор.
Полоцкий государственный университет
v.lipski@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности последовательной перекачки нефтепродуктов прямым контактированием. проведенные на находящемся в эксплуатации коротком технологическом нефтепродуктопроводе Установлена большая роль и механизм влияния местных сопротивлений на процесс смесеобразования при последовательной перекачке в коротких технологических нефтепродуктопроводах Получен расчетный способ определения объема смеси нефтепродуктов в коротком технологическом трубопроводе, согласующийся с фактическими значениями, которые были получены в ходе экспериментальных перекачек.

Ключевые слова: последовательная перекачка, нефтепродукты. смесеобразование, технологический трубопровод, местное сопротивление

Voronin Alexey Nikolaevich

Master of technical science. Senior teacher, Polotsk state university a voronm@tut by

Lipsky Vladimir Konstantinovich

Doctor ol technical science Prolossor, Pdotsk state universily v.kpski@mal.ru

Annotation. In the article the features ol batching of petroleum products through the short technological pipeline in operation is considered A significant role and mechanism oI the influence of local resistances on the process of mixture formation during batching m short technological pipelines is established A calculated method for determining the vo lume of a mixture of petroleum products in a short technological pipeline is obtained which is consistent with the actual values that were obtained during the expenmental pumping

Keywords: batching petroleum products, mixture formation, technological pipeline, local resistance

Последовательная перекачка нефтепродуктов прямым контактированием является широко используемой технологией, которая принята во всем мире для транспортирования светлых нефтепродуктов [1. 2. 3. 4). Эта технология получила широкое распространение по нескольким причинам:

• при этом способе транспортировки нефтепродуктов достигается максимально возможное использование пропускной способности трубопровода и освобождаются другие виды транспорта (железнодорожный. водный, автомобильный) от перевозок нефтепродуктов:

• сооружение отдельного трубопровода для каждого нефтепродукта является нерентабельным, поэтому большинство нефтепродуктов транспортируют по одному трубопроводу последовательно;

• такой способ транспортировки совокупности различных нефтепродуктов по одной и той же трубе гарантирует достаточно равномерное снабжение потребителей.

В то же время, при всех достоинствах технология последовательной перекачки нефтепродуктов прямым контактированием имеет характерный недостаток, состоящий в смесеобразовании контактирующих нефтепродуктов при их движении в трубопроводе Смесь, которая образуется в зоне контакта перекачиваемых нефтепродуктов при вытеснении одного из них другим, обусловлена объективными гидромеханическими процессами, присущими движению жидкости в трубопроводе [5].

Смесеобразование нефтепродуктов представляет весьма серьезную угрозу их качеству, поскольку в ряде случаев даже малая примесь одного нефтепродукта в другом делает его непригодным к использованию. Нефтепродукты, находящиеся в смеси, уже не обладают совокупностью свойств, способных удовлетворить установленные эксплуатационные потребности.

В практической деятельности последовательная перекачка нефтепродуктов прямым контактированием осуществляется на магистральных нефтепродуктопроводах. линейная часть которых имеет большую протяженность и на которой практически отсутствуют местные сопротивления. Эти два обстоятельства играют благоприятную роль в обеспечении минимизации объема смеси.

В то же время наряду с магистральными трубопроводами технология последовательной перекачки нефтепродуктов прямым контактированием в ряде случаев может использоваться на так называемых «технологических» трубопроводах, имеющих небольшую протяженность. По ним светлые нефтепродукты перекачивается из резервуаров готовой продукции нефтеперерабатывающих предприятий в резервуарные парки находящихся поблизости предприятий складов нефтепродуктов

Испопьзование технологии последовательной перекачки нефтепродуктов прямым контактированием в данном случае имеет те же преимущества, что и при использовании ее на магистральных нефтепроводах, но недостатки, присущие ей на коротких технологических трубопроводах, возрастают многократно, что и

ограничивает выгоду ее использования Невысокий практический интерес использования технологии последовательной перекачки нефтепродуктов прямым контактированием на технологических нефтепродуктопроводах обусловило ограниченный круг исследований, связанных с ними.

В связи с этим представила интерес возможность проведения конкретного исследования на коротком технологическом нефтепродуктопроводе протяженностью 3482 м. принадлежащем крупному нефтеперерабатывающему предприятию. Трубопровод имеет сложную геометрическую конструкцию с множеством переходов от одного диаметра к другому, с большим количеством отводов (поворотов) и наличием тупиковых участков.

По трубопроводу может осуществляться последовательная перекачка дизельных топлив различных сортов. Расход перекачки по этому нефтепродуктопроводу составлял 120 $м^3$/ч.

При последовательной перекачке дизельных топлив разных сортов (марок) контактирующие пары подбираются из условия минимальной разности температур вспышки, а при одинаковой разности температур вспышек - из условия минимальной разности содержания серы [6).

Температура нефтепродуктов, получаемых от предприятия-изготовителя, равнялась 5 “С. Плотность дизельных топлив при данной температуре составляет: для ДТ-3-К4, сорт F $р_{„4}$ - 824,6 кг/$м^3$, ДТ-3-К5, класс 2 $р_{„5}$ =815,9 кг/$м^3$.

После проведения предприятием одной экспериментальной и трех рабочих прокачек дизельных топлив марок ДТ-3-К4, сорт F и ДТ-3-К5, класс 2 по данному технологическому трубопроводу методом последовательной перекачки прямым контактированием объем смеси в каждом случае составлял приблизительно 16 т.

Величина смеси была определена косвенным путем в режиме безостановочного режима перекачки по содержания количества серы в нефтепродуктах. В то же время получение одного и того же значения объема смеси при каждой перекачке может говорить об определенной достоверности полученных данных.

Для того чтобы оценить особенности смесеобразования в данном технологическом нефтепродуктопроводе, рассмотрим, как эти процессы протекают в магистральных нефтепродуктопроводах.

Под областью смеси нефтепродуктов понимают область, расположенную между

последовательно движущимися нефтепродуктами, в которой концентрация (процентное содержание) каждого из них меняется от 0.01 (1 %) до 0,99 (99 %). Под объемом смеси понимают объем области смеси в указанных пределах концентраций.

Смесь, которая образуется в зоне контакта перекачиваемых нефтепродуктов при вытеснении одного из них другим, обусловлена объективными физическими процессами, присущими движению жидкости в трубопроводе.

Вытеснение одного нефтепродукта другим происходит неравномерно по сечению трубы. В соответствии с характером эпюры продольных скоростей перекачиваемой жидкости, скорости частиц жидкости в различных точках поперечного сечения трубопровода неодинаковы [1]. У стенок трубопровода они равны нулю, а на его оси достигают максимального значения. Поэтому вытеснение одного нефтепродукта другим происходит более интенсивно в центре трубы, в то время как у стенок трубопровода оно замедленно Каждое мгновение клин позади идущего нефтепродукта внедряется в нефтепродукт, идущий впереди, причем тем интенсивней, чем более вытянут вдоль оси профиль осредненных скоростей Происходит конвективная диффузия примеси одного нефтепродукта в другом вместе с перемещающимися друг относительно друга слоями жидкости

Неравномерность распределения в сечении трубопровода осредненных скоростей жидкости не является единственной причиной, ответственной за смесеобразование нефтепродуктов в зоне их контактирования. Другим не менее важным фактором смесеобразования является турбулентная диффузия

Как правило, светлые нефтепродукты перекачивают в турбулентном режиме, при котором частицы жидкости движутся в трубе не параллельно его стенкам, а совершают хаотические турбулентные движения В турбулентных потоках существует интенсивное перемешивание различных частиц по сечению трубы за счет пульсаций скорости и хаотических движений отдельных частиц. Поэтому турбулентная диффузия перемешивает клин вытесняющей и остатки вытесняемой жидкостей по сечению трубопровода, обеспечивая их более-менее однородное распределение в каждом сечении.

Концентрация каждого нефтепродукта в сечении трубопровода, хотя и близка к постоянному значению, но все же не равна ему для вытесняющего нефтепродукта она всегда больше на оси трубы. чем у ее стенок, а для вытесняемого - она всегда меньше

на оси трубы, чем у ее стенок. Благодаря этому в сечения трубопровода происходит массообмен, обеспечивающий постоянный рост обьема шеей.

Таким образом, процесс смешения вытесняемого и вытесняющего нефтепродуктов происходит по следующей схеме: клин позади идущего нефтепродукта внедряется в нефтепродукт, идущий впереди, а процессы турбулентной диффузии размешивают внедрившуюся примесь по сечению трубы. При этом за счет того, что концентрация вытесняющего нефтепродукта на оси трубы больше, чем у его стенок, происходит постоянный перенос вытесняющего нефтепродукта вперед в область, занятую вытесняемым нефтепродуктом По той же причине происходит обратный перенос вытесняемого нефтепродукта назад в область вытесняющего

Эти два процесса неотделимы друг от друга Они действуют постоянно и одновременно на протяжении всего времени вытеснения, определяя интенсивность продольного перемешивания, объем и длину возникающей шеей [1].

В течение всего времени перекачки смесь нефтепродуктов в зоне контакта последовательно движущихся партий постоянно возрастает, образуя плавный переход от одного нефтепродукта к другому. Темпы этого возрастания не одинаковы. Сначала, когда протяженность зоны смеси мала и переход от одного нефтепродукта к другому происходит на небольшом расстоянии, смесь нарастает быстро, но по мере увеличения протяженности смеси, последняя играет роль буфера между нефте-продуктами, и темпы роста смеси замедляются.

Кроме того, вначале трубопровода образуется первичная технологическая смесь, которая образуется при подаче двух марок дизельных топлив в один трубопровод в то время, когда происходит одновременное закрытие задвижки с одной маркой нефтепродукта и открытие задвижки с другой маркой нефтепродукта Приблизительное время открытия и соответственно закрытия задвижки на данном трубопроводе составляла 60 секунд Учитывая, что подача нефтепродуктов в трубопровод составляет 120 м^3/ч, можно заключить, что за время 60 секунд в трубопровод успеет поступить 2 м^3 первичной смеси.

Влияние первичной технологической смеси на общее количество образующейся смеси особенно сильно сказывается в «коротких- трубопроводах (до 200 км) и в меньшей степени в «длинных» трубопроводах (свыше 200 км).

Опыт эксплуатации магистральных трубопроводов, по которым последовательно

перекачивают различные нефти или нефтепродукты показывает, что объем смеси при прямом контактировании равен 0,5-1 % объема трубопровода [2]. Помимо гидродинамических процессов, связанных с характером эпюры скоростей потока в районе контакта двух нефтепродуктов, на образование смеси оказывают влияние такие факторы, как скорость перекачки, остановки перекачки, конструктивные особенности обвязки перекачивающих станций и резервуарных парков, объем партий, соотношение вязкостей и плотностей перекачиваемых жидкостей [3].

Указанные факторы влияния действуют и при последовательной перекачке нефтепродуктов прямым контактированием по короткому технологическому трубопроводу, но изучение конструкции конкретного технологического нефтепродуктопровода позволило исключить влияния этих факторов на образование фактического объема смеси, превышающего расчетное значение в 4.4 раза.

Наиболее вероятной причиной расхождения расчетного значения объема смеси и практического результата является игнорирование при расчете наличия местных сопротивлений в конструкции конкретного внешнего технологического трубопровода Использованные для нахождения объема смеси при перекачке нефтепродуктов последовательно прямым контактированием формулы применимы только для магистральных нефтепродуктопроводов, в которых местные сопротивления немногочисленны.

Между магистральным трубопроводом и данным внешним технологическим трубопроводом имеются существенные отличия, играющие важную роль в интенсивном смесеобразовании нефтепродуктов.

Магистральные трубопроводы имеют большую протяженность, составляющую сотни километров и характеризуются небольшим количеством местных сопротивлений Потери напора от местных сопротивлений в магистральном трубопроводе составляют в среднем 2 % от их потерь по длине на трение [2].

Исследуемый конкретный технологический трубопровод является «коротким» и местные сопротивления. имеющиеся в данном трубопроводе, формируют заметную долю потери напора в общем значении его величины.

Наличие в конструкции трубопровода местных сопротивлений служит сильно действующим фактором, усугубляющим увеличение смесеобразования Так как технологический трубопровод пролегает по территории нефтеперерабатывающего

завода с множеством дорог, эстакад, производственных установок и зданий, то в его конструкции присутствует большое количество местных сопротивлений: отводов - 202. задвижек - 20. переходов с одного диаметра на другой - 15. тупиковых участков - 6, кранов - 4.

Необходимо отметить, что геометрическая конструкция данного внешнего технологического трубопровода, имеющая множество местных сопротивлений, не приспособлена для последовательной перекачки.

Отводы являются местными сопротивлениями, изменяющими направление потока нефтепродуктов. В данном технологическом трубопроводе, судя по количеству отводов, они вносят самый большой вклад как в формирование потери напора, так и в процесс смесеобразования Другими местными сопротивлениями в данном случае в целях упрощения расчетов, лаконичности и простоты восприятия материала можно пренебречь, исключив их из рассмотрения, так как в количественном выражении их существенно меньше, чем отводов Аналогичной позиции стоит придерживаться и при

рассмотрении влияния местных сопротивлений, образуемых соединениями труб различных диаметров, так как сопрягаемые диаметры в исследуемом технологическом трубопроводе имеют бпизкие значения.

В то же время, изменяя направление потока, отвод является активным участником потерь напора в трубопроводе. Процессы формирования потери напора в местных сопротивлениях и процессы смесеобразования в местных сопротивления происходят под действием одного и того же физического механизма - возникновения в местных сопротивлениях вихревых течений Поэтому степень возрастания потери напора в трубопроводе за счет увеличения числа местных сопротивлений косвенно характеризует степень возрастания объема смеси.

В магистральных трубопроводах потери напора от местных сопротивлений составляют в среднем 2 % от потерь на трение по его длине. В данном технологическом трубопроводе даже без учета всех других местных сопротивлений потери напора в отводах составляют 8,5 % от потерь на трение по его длине, что отличается от соответствующих потерь в магистральных трубопроводах в 8,5/2 = 4,25 раза

Объем смеси во внешнем технологическом трубопроводе, рассчитанном без учета

местных сопротивлений (результаты расчета по зависимостям, используемых для магистральных трубопроводов), составляет 3,63 т, а значение объема смеси, полученной при транспортировании нефтепродуктов на практике, составляют 16 т, т е. разница составляет 16 / 3,63 = 4,4.

Как видно, отличие в значениях потери напора и объема образуемой смеси характеризуются близкими значениями - 4,25 и 4,4 соответственно. Разница в значениях может косвенно указывать на то, что значение фактического объема смеси могло быть получено с небольшой погрешностью и составляло близкую величину. Данное обстоятельство является еще одним аргументом в пользу того, что приблизительные значения объемов смеси, полученные на практике при работе данного технологического трубопровода, то есть 16 т, являются близкими к фактическим значениям.

Потери напора в местных сопротивлениях, в частности в отводах, связаны с нарушением установившегося режима течения жидкости. В изогнутых трубах, вследствие искривления потока, появляются центробежные силы, направленные от центра кривизны к внешней стенке трубы. Это приводит к повышению давления у внешней стенки и понижению давления у внутренней и обуславливает неравномерность скоростей по сечению изогнутого участка.

У внешней стенки, вследствие повышения давления, появляется диффузорный эффект. При этом отрыв потока происходит от обеих стенок, Отрыв от внешней стенки является следствием диффузорного эффекта Отрыв от внутренней стенки обуславливается стремлением потока двигаться в изогнутом участке по инерции к внешней стенке.

Поскольку при движении жидкости по криволинейному каналу на все ее частицы в направлении радиуса кривизны действуют центробежные силы, пропорциональные квадрату окружной скорости в сечении, образуется парный вихрь В результате сложения вращательного и поступательного движений жидкость по изогнутому участку движется двумя винтовыми потоками [7|.

При образовании в отводе винтовых потоков нефтепродуктов происходит их интенсивное смесеобразование, повторяющееся при прохождении каждого отвода Влияние местного сопротивления, приводящее к интенсивному смесеобразованию, распространяется на некоторую длину в трубопроводе. То расстояние после местного

сопротивления, в пределах которого устанавливается выровненная эпюра скоростей и прекращается влияние местного сопротивления на лоток, называется длиной влияния местного сопротивления [8].

Длина влияния местного сопротивления зависит как от геометрии местного сопротивления, так и от числа Рейнольдса (возрастая с его увеличением) и относительной шероховатостью трубопровода. При больших числах Рейнольдса длину влияния местного сопротивления часто принимают, равную 30-40 диаметрам трубопровода [9]. В случае режима работы данного технологического трубопровода числа Рейнольдса являются большими, так как режим течения нефтепродуктов - турбулентный в зоне смешанного трения. Небольшие числа Рейнольдса были бы характерны для турбулентного режима течения нефтепродуктов в зоне гидравлически гладких труб, в переходной зоне и ламинарном режиме течения при значениях фактического Рейнольдса В то же время высокие значения чисел Рейнольдса наблюдались бы при турбулентном режиме течения нефтепродуктов в зоне квадратичного трения выше значения переходного Рейнольдса. Поэтому, учитывая нахождение фактического режима течения нефтепродуктов в зоне смешанного трения между зоной гидравлически гладких труб и зоной квадратичного трения, пригнем длину влияния местных сопротивлений, как 35 диаметров трубопровода,

Длина зоны влияния местного сопротивления для нефтепродукта марки ДТ-3-К4, сорт F на участке трубопровода наружным диаметром 159,2 мм составила 5,35 м. Следовательно, умножив длину влияния местного сопротивления /„ на количество местных сопротивлений *п* на участке, можно получить длину смеси 41,7 м Объем смеси от влияний местных сопротивлений составит 18.7 м^3.

С учетом этого объем смеси от местных сопротивлений для всех участков трубопровода при последовательной перекачке разных марок дизельных топлив составляет 18.7 м^3. а общий объем смеси при последовательной перекачке дизельных топлив прямым контактированием с учетом объема смеси от естественного процесса смесеобразования по длине, объема первичной смеси и объема смеси в местных сопротивлениях составляет 19,4 м^3, а ее масса -15,9 т.

Полученный в ходе теоретического расчета результат общей массы смеси 15,9 т близко совпадает со значением 16 т. приблизительно полученным в безостановочном режиме по показаниям содержания серы в нефтепродуктах в ходе экспериментальной

и рабочих прокачек дизельных топлив по внешнему технологическому трубопроводу последовательно прямым контактированием.

При условии принятия длины влияния местного сопротивления, равной 30 и 40 диаметрам трубопровода. расчетные значения общей массы смеси были бы соответственно равны 14,1 т и 18,8 т.

Исследования последовательной перекачки нефтепродуктов прямым контактированием, проведенные на находящемся в эксплуатации коротком технологическом нефтепродуктопроводе. позволили получить экспериментальные данные о количестве образующейся при перекачке смеси нефтепродуктов. Анализ этих данных, проведенный с учетом влияния местных сопротивлений на процесс смесеобразования, дал возможность оценить путем сравнения их с результатами проведенных расчетов. расчетные значения объемов образующейся смеси. Это позволило установить большую роль и механизм влияния местных сопротивлений на процесс смесеобразования при последовательной перекачке в коротких технологических нефтепродуктопроводах

Литература:

1. Трубопроводный транспорт нефтепродуктов *!* И.Т. Ишмухаметов, С.Л. Исаев. М.В. Лурье. С.П. Макаров. - М.: Нефть и газ. 1999
2. Яблонский ас.. Юфии В.А. Бударов И.П. Последовательная перекачка нефтепродуктов и нефтей по магистральным трубопроводам. - М.: Гостоптехиздат. 1959.
3. Коршак АА Проектирование и эксплуатация гаэонефтепроводов / АА Коршак. АМ. Нечваль / под ред. А.А. Коршака. - СПб.: Недра. 2008.
4. Лурье М.В.. Марон В.И.. Мацкин Л.А и др. Оптимизация последовательной перекачки нефтепродуктов. - М.: Недра. 1979.
5. Техника и технология транспорта и хранения нефти и газа : учеб, пособ. для вузов / Ф Ф. Абузова, Р.А. Алиев. В.Ф. Новоселов и др. / под ред. В.Ф. Новоселова. - М.: Недра. 1992.
6. Инструкция по транспортированию нефтепродуктов по магистральным нефтелродуктопроводам системы ОАО АК «Транснефтепродукт- методом последовательной перекачки : Стандарт организации АК «Транснефтепродукт- С006-16-АКТНП-003-2004.

7. Идельчик И.Е Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение. 1975. - 559 с.

8. Альтшуль АД. Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости). - М.: Издательство литературы по строительству. 1965.

9. Примеры расчетов по гидравлике / А.Д. Альтшуль, В.И. Калицун, Ф.Г. Майрановский, П.П. Пальгунов. / под ред. А Д. Альтшуль. - М.: Стройиздат. 1977.

References:

1. Pipeline transport ot oil products / I.T. Ishmukhametov. S.L. Isaev, M.V. Lurye. S.P. Makarov. - M. : Oil and gas, 1999.

2. Yablonsky V.S., Yufin V.A. Budarov I.P. Sequential downloading of oil products and oils on trunk pipelines. - M,: Gostoptekhizdal. 1959.

3. Korshak AA Design and operation of gas and oil pipelines / A A. Korshak. AM. Nechval / under the editorship ol A. A. Korshak. - SPb : Nedra. 2008.

4. Lurye M.V.. Maron V.I.. Matskin l A. etc. Optimization of sequential downloading of oil products. - M.: Nedra,
1979.

5. Technique and technology ol transport and storage ol oil and gas : studies, manual lor higher education institutions / F.F. Atxizova. R.A Aliyev. V.F. Novoselov, etc. / under the editorship ol V.F. Novoselov. - M.: Nedra, 1992.

6. The instruction lor transportation ol oil products on trunk oil pipelines ol system of JSC Transnelteproduct by method ol sequential downloattng Standard ol the S0 06-16-AKTNP-003-2004 JSC Transnetteproduct organization.

7. Idelchik I E The reference manual on hydraulic resistances. - M.: Mechanical engineering. 1975. - 559 p.

8 Altshul A D., Kiselyov P.G. Gidraulik and aerodynamics (fundamentals ot mechanics of liquid). - M.: Publishing house ol literature on construction. 1965.

9. Examples ol calculations lor hydraulics / A.D. Altshul. V.l. Kalitsun, F.G. Mayranovsky. P.P. Palgunov / under the editorship ol AO. Altshul. - M.: Stroyizdat. 1977.