

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПЕРЕКАЧКИ

Гаар П.А.

Научный руководитель – доцент Н.В.Чухарева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Актуальность. Современный трубопроводный транспорт при последовательной перекачке разнородных нефтепродуктов предполагает бесперебойную поставку потребителю, в зависимости от указанных объемов в соответствии между договорами грузоотправителей и грузополучателей, то все вопросы о технологии проведения данной перекачки являются актуальными. Отличительной особенностью последовательной перекачки является образование некондиционного продукта в зоне контакта двух смесей, поэтому гидравлические расчеты имеют некоторые особенности.

Цель. Определение изменения напоров в трубопроводе при последовательной перекачке разнородных нефтепродуктов.

Для реализации данной цели был выполнен ряд задач;

- изучен процесс смесеобразования в зоне контакта нефтепродуктов;
- определены основные технологические требования к процессу перекачки;
- выявлены особенности применения уравнения Бернулли к данной технологии;
- произведен расчет скачкообразного изменения напора.

Теория.

Как свидетельствуют [2-3], последовательная перекачка представляет собой процесс, в котором по одному трубопроводу перекачиваются различные нефтепродукты. В ходе процесса в зоне контакта двух жидкостей образуется смесь, которая является некондиционным продуктом. Причиной смесеобразования является конвективная диффузия (когда скорость течения нефтепродукта у стенок трубопровода меньше, чем на его оси, из-за гидравлического сопротивления) и турбулентная диффузия (когда происходит интенсивное перемешивание разных слоев жидкости по сечению трубопровода за счет пульсаций скорости отдельных частиц, рис. 1). Согласно РД-03.220.99-КТН-187-14 [1], для уменьшения объема некондиционного продукта последовательную перекачку необходимо производить:

- при развитом турбулентном режиме (с максимально высокими скоростями перекачки);
- в безостановочном режиме;
- большими партиями нефтепродуктов;
- циклами, каждый из которых имеет определенную последовательность партий НП (рис. 2);
- в режиме «из насоса в насос».

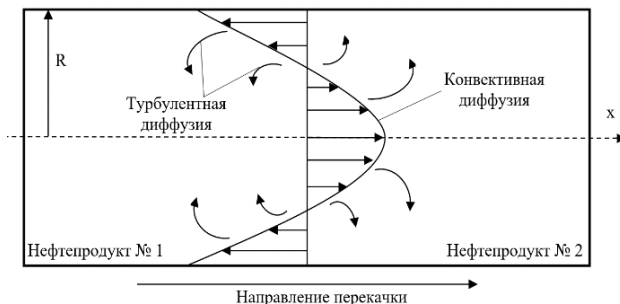


Рис. 1. Схема процесса смесеобразования в зоне контакта партий последовательно движущихся жидкостей

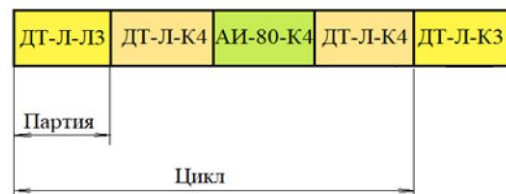


Рис. 2. Пример формирования циклов

Из-за того, что в трубопроводе происходит смена жидкостей, то рассматриваемый процесс, грубо говоря, не рассматривается стационарным, а, следовательно, уравнение Бернулли не имеет место быть. Но за счет того, что смена нефтепродуктов происходит значительно медленно, взаимное замещение жидкостей рассматривают как последовательную систему стационарных состояний. Такие процессы называют квазистационарными, для которых уравнение Бернулли будет выглядеть, согласно [3], следующим образом:

$$\underbrace{\left(\frac{p_1}{\rho_2 g} + z_1\right)}_{H_1} - \underbrace{\left(\frac{p_2}{\rho_1 g} + z_2\right)}_{H_2} = p_c \underbrace{\left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 \rho_2 g}\right)}_{[H]} + \underbrace{(h_{1-c} + h_{c-2})}_{h_{1-2}} \quad (1)$$

Согласно данному уравнению, разность напоров между началом и концом участка ($H_1 - H_1$) не равна потерям напора h_{1-2} на этом участке, так как содержит еще одно слагаемое – скачок напора $[H]$ в месте контакта жидкостей с разной плотностью.

Чтобы понять, как будет вести себя среда в зоне контакта нефтепродуктов при перекачке разных сортов, для наглядного примера такого скачкообразного поведения был рассмотрен участок трубопровода, по которому планируется перекачиваться дизельное топливо и автомобильные бензины разных марок. Данные трубопровода и нефтепродуктов представлены в таблице 1.

В ходе расчетов было рассмотрено два случая: дизельное топливо вытесняет автомобильный бензин АИ-92-К5 и автомобильный бензин АИ-80-К5 вытесняет автомобильный бензин АИ-92-К5.

Таблица 1

Характеристика модельного участка трубопровода и нефтепродуктов

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Единица величины	Значение параметра
1	Давление в начале участка	P_1	МПа	4,5
2	Внутренний диаметр трубопровода	d	м	0,363
3	Протяженность участка МНПП	L	км	100
4	Абсолютная эквивалентная шероховатость	Δ	мм	0,25
5	Кинематическая вязкость дизельного топлива	ν_1	м ² /с	$9,0 \cdot 10^{-6}$
6	Кинематическая вязкость автомобильного бензина АИ-80-К5	ν_2	м ² /с	$0,6 \cdot 10^{-6}$
7	Кинематическая вязкость автомобильного бензина АИ-92-К5	ν_3	м ² /с	$0,7 \cdot 10^{-6}$
8	Плотность дизельного топлива	ρ_1	кг/м ³	845
9	Плотность автомобильного бензина АИ-80-К5	ρ_2	кг/м ³	730
10	Плотность автомобильного бензина АИ-92-К5	ρ_3	кг/м ³	741
11	Расход перекачки	Q	м ³ /ч	500
12	Расстояние от начала участка, на котором находится середина зоны смеси	l	км	30

В первом случае выяснилось, что скачок напора составляет 53,92 м (рис. 3, а). Заметим, что в зоне контакта жидкостей напор бензина больше напора дизельного топлива. Это объясняется тем, что плотность вытесняющего нефтепродукта больше плотности вытесняемого, а значит напор будет испытывать скачкообразное увеличение.

Во втором случае скачок напора равен 7,62 м. Н напор в зоне контакта нефтепродуктов имеет скачкообразное уменьшение, так как плотность впереди идущего автомобильного бензина больше, чем последующего (рис. 3, б).

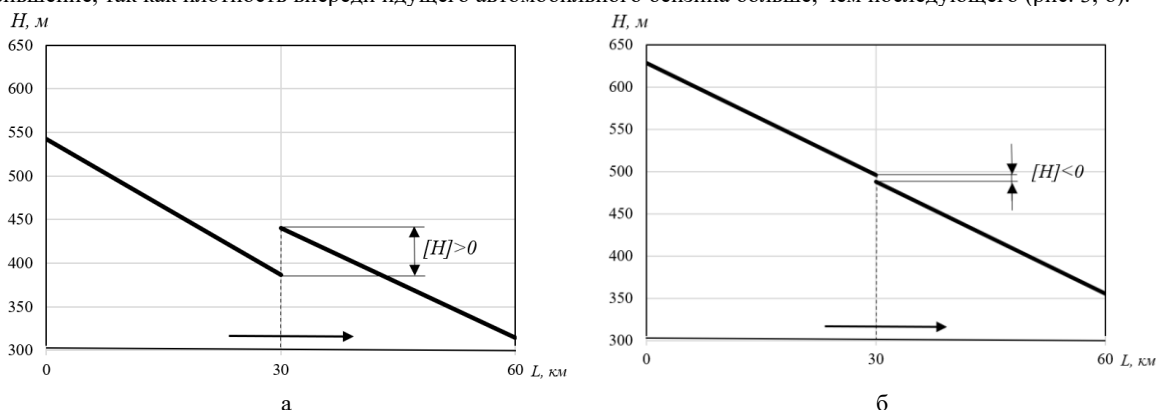


Рис. 3 Скачки напора в зоне контакта нефтепродуктов (а – дизельное топливо вытесняет автомобильный бензин, б – автомобильный бензин вытесняет дизельное топливо)

Тем самым, можно сделать вывод, что правильный подбор последовательности партий нефтепродуктов является важным критерием в последовательной перекачке. Перекачивая совершенно разные по свойствам жидкости (рис. 3, а) скачок напора больше, чем при перекачке более схожих нефтепродуктов (рис. 3, б). Поэтому, правильно подобрав партии, можно минимизировать скачок напора.

Также следует отметить, что в зависимости от порядка следования нефтепродуктов в зоне контакта существует либо положительный, либо отрицательный скачок напора. Если плотность вытесняемого меньше, чем плотность вытесняющего, то скачок напора положительный, $[H]>0$ (рис. 3, а). Если же плотность вытесняемого нефтепродукта больше, чем плотность вытесняющего, то скачок напора отрицательный, $[H]<0$ (рис. 3, б).

Литература

1. РД-03.220.99-КТН-187-14. Транспортировка нефтепродуктов по магистральным трубопроводам методом последовательной перекачки.
2. Лурье М.В., Марон В.И., Мацкин Л.А., Шварц М.Э, Юфин В.А. Оптимизация последовательной перекачки нефтепродуктов. – М.: Недра, 1979, 256 с.
3. Лурье М.В, Б.Н. Мастобаев, П.А. Ревель-Муроз, А.Е. Сощенко. Проектирование и эксплуатация нефтепроводов. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2019. – 69 с.