

ЛЕКЦИЯ 9 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ПЕРЕКАЧКА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Цель занятия:

1. Обоснование последовательной перекачки.
2. Виды течения жидкости
3. Смесеобразование при перекачке

Лектор: PhD, ст. преп. каф. «ТиЛС»
Сулеев Б.Д.

Обоснование необходимости последовательной перекачки

Метод последовательной перекачки нефтей и нефтепродуктов заключается в том, что различные по качеству углеводородные жидкости отдельными партиями определенных объемов перекачиваются по одному трубопроводу.

При этом достигается максимально возможное использование пропускной способности трубопровода и освобождаются другие виды транспорта (железнодорожный, водный, автомобильный) от параллельных перевозок нефтей и нефтепродуктов.

Широкое внедрение последовательной перекачки вызвано особенностями работы трубопроводов.

Во-первых, нефти, добываемые в пределах даже одного месторождения, имеют различный химический состав. Из одних вырабатывают высококачественные масла, из других - высокооктановые бензины. Смешивать такие нефти перед перекачкой или в процессе их перекачки на НПЗ нецелесообразно, т.к. извлечение из смеси наиболее ценных для каждой нефти фракций значительно усложняется. Строить же для каждой нефти отдельный трубопровод экономически неоправданно. Более предпочтителен вариант их последовательной (друг за другом) перекачки по одному трубопроводу.

Во-вторых, продукты нефтепереработки (бензины, керосины, дизельные топлива) поставляются потребителям, как правило, по трубопроводам. Обычно объемы отдельно взятых нефтепродуктов недостаточны для строительства самостоятельных трубопроводов или требуют сооружения маломощных нефтепродуктопроводов для каждого нефтепродукта в отдельности. В таких случаях сооружают один трубопровод большого диаметра и по нему последовательно перекачивают различные нефтепродукты в выбранном направлении.

В третьих. В условиях нефтебаз последовательная перекачка неизбежна, так как практически невозможно построить отдельные трубопроводы для каждого нефтепродукта.

При последовательной перекачке различные нефтепродукты поступают с НПЗ в резервуары головной перекачивающей станции, а их перекачка производится последовательно - в виде отдельных следующих друг за другом партий.

Периодически повторяющаяся очередность следования нефтепродуктов в трубопроводе называется циклом последовательной перекачки.

Партии нефтепродуктов в цикле формируются с учетом их состава, свойств и качества. Рекомендуется следующая последовательность нефтепродуктов в цикле:

- дизельное топливо летнее с температурой вспышки 40 оС;
- дизельное топливо летнее с температурой вспышки 61 оС;
- дизельное топливо экспортное;
- дизельное топливо летнее с температурой вспышки 40 оС;
- топливо для реактивных двигателей;
- дизельное топливо зимнее;
- дизельное топливо летнее с температурой вспышки 40 оС;
- керосин или топливо печное бытовое;
- дизельное топливо летнее с температурой вспышки 40 оС;
- автомобильный бензин АИ-92 неэтилированный;
- автомобильный бензин А-95 неэтилированный.

Особенностью последовательной перекачки является образование некоторого количества смеси в зоне контакта двух следующих друг за другом нефтепродуктов. Причиной смесеобразования является неравномерность осредненных местных скоростей по сечению трубопровода. Кроме того, некоторое количество смеси образуется при переключении системы задвижек на начальном пункте нефтепродуктопровода в период смены нефтепродукта (такая смесь называется первичной).

Для уменьшения количества смеси иногда применяются специальные устройства - разделители, помещаемые в зону контакта разнотипных нефтепродуктов и движущихся с ними по нефтепродуктопроводам. Кроме того, на конечном пункте предусматриваются мероприятия по исправлению и реализации получаемой смеси нефтепродуктов.

При организации последовательной перекачки возникает ряд вопросов, основными из которых являются:

- 1) определение объема смеси, образующейся в трубопроводе;
- 2) разработка мероприятий для уменьшения объема смеси;
- 3) выбор методов контроля за движением смеси по трубопроводу;
- 4) организация приема смеси на конечном пункте и ее реализация;
- 5) особенности технологического расчета и эксплуатации трубопроводов для последовательной перекачки.

В зависимости от режима перекачки смесеобразование в трубопроводе протекает по-разному.

Ламинарный режим - слоистое течение жидкости без перемешивания частиц, без пульсации скоростей и давлений, без перемешивания слоев и вихрей. При ламинарном течении линии тока параллельны оси трубы, т.е. отсутствует поперечные потоку жидкости перемещения.

Турбулентный режим - течение, сопровождающееся интенсивным перемешиванием, смещением слоев друг относительно друга и пульсациями скоростей и давлений. При турбулентном течении векторы скоростей имеют не только осевые, но и нормальные к оси русла составляющие.



При ламинарном (струйном) течении механизм смесеобразования таков. В начальный момент времени ($\tau = 0$) граница раздела жидкостей плоская, смеси нет (рисунок 1а).

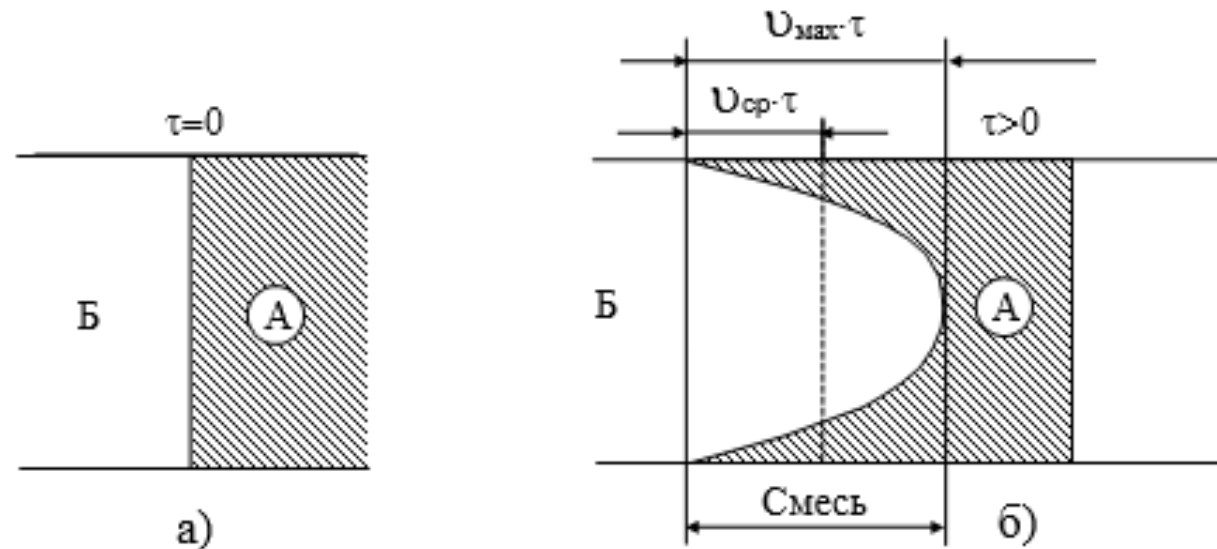


Рисунок 1 – Смесеобразование при ламинарном течении

После начала последовательной перекачки позади идущая жидкость Б вклинивается во впереди идущую жидкость А в соответствии с параболическим профилем распределения местных скоростей. Смесью в данном случае является участок трубы, заполненный сразу обеими контактирующими жидкостями. Динамика изменения объема смеси представлена на рисунке 1.1.

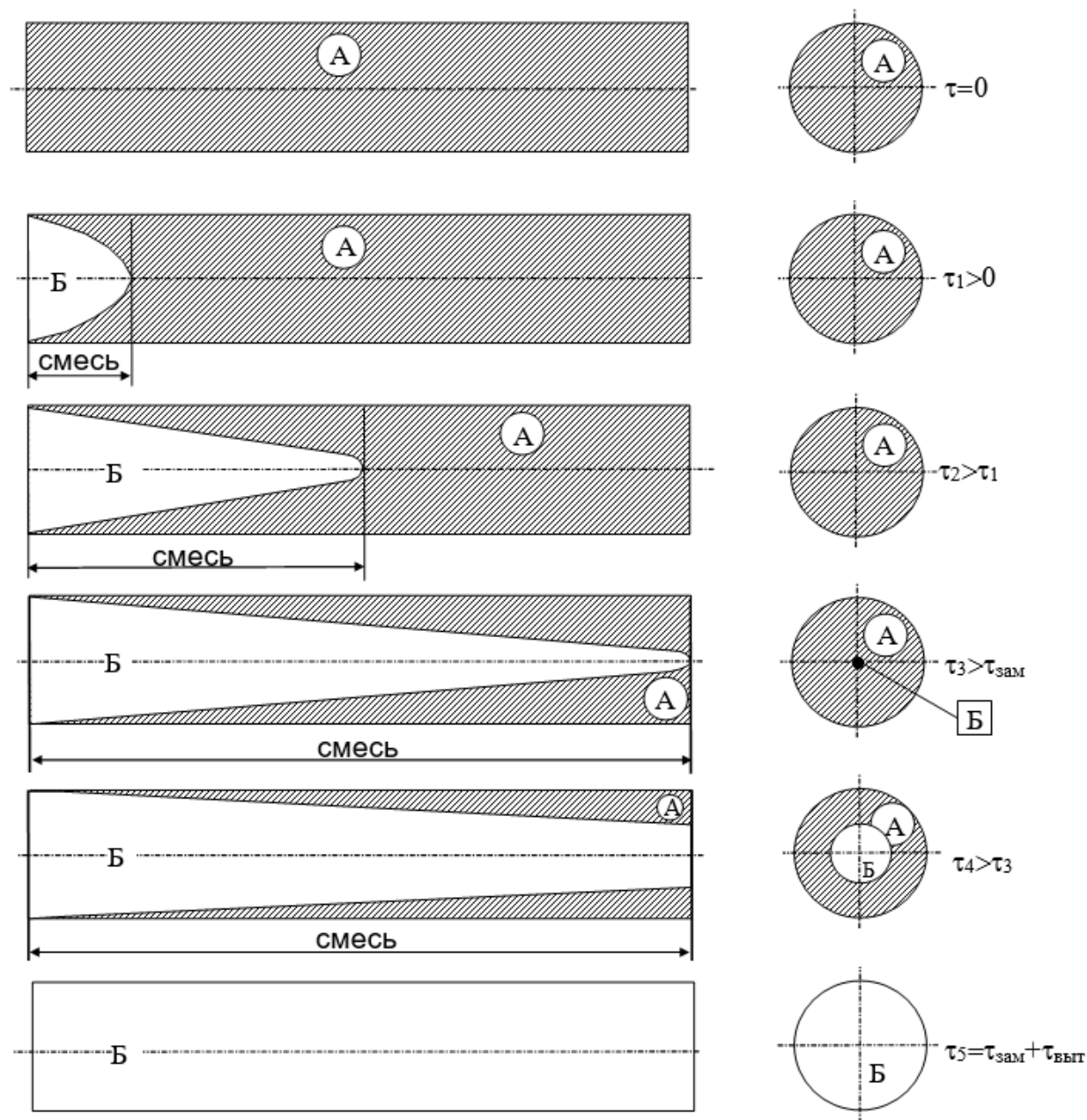


Рисунок 1.1 - Изменение объема смеси при ламинарном режиме последовательной перекачки

Так как при ламинарном режиме перекачки скорость струек на оси трубы в 2 раза выше средней скорости потока, а на стенке скорость жидкости (по условию “прилипания”) равна нулю, то с течением времени вытесняющая жидкость Б будет все больше вклиниваться в вытесняемую жидкость А, а на стенке перемещаться не будет. В момент, когда “голова” клина достигает конечного сечения трубопровода, заканчивается фаза замещения и весь трубопровод заполнен смесью последовательно перекачиваемых жидкостей.

Далее начинается фаза вымывания. Заключается она в том, что постепенно конечного сечения трубопровода достигают струйки, все более удаленные от оси трубы. Этот процесс протекает крайне медленно. Теоретически и экспериментально установлено, что для полного вымывания жидкости А необходимо прокачать вытесняющую жидкость Б в количестве 3...4 объемов трубопровода $V_{тр}$. Таким образом, объем образующейся смеси при ламинарном режиме перекачки составляет (4...5) $V_{тр}$

При турбулентном режиме перекачки механизм смесеобразования иной (рисунок 1.2). После начала последовательной перекачки позади идущая жидкость Б вклинивается вопереди идущую жидкость А в соответствии с логарифмическим профилем распределения местных скоростей.

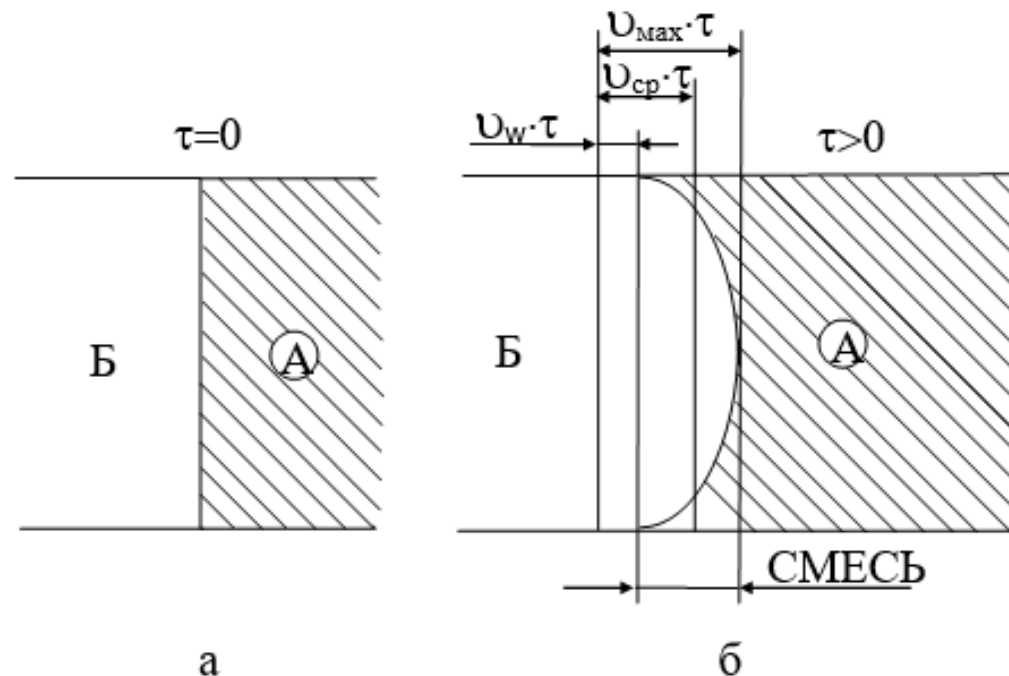


Рисунок 1.2- Механизм смесеобразования при турбулентном режиме

Однако уже в следующий момент времени за счет поперечных пульсаций скорости, характерных для турбулентного режима вклинивающаяся жидкость Б полностью перемешивается с впереди идущей жидкостью А, находящейся у стенки. Далее во впереди идущую жидкость А вклинивается образовавшаяся смесь, а в смесь вклинивается позади идущая жидкость Б (рисунок 1.3).

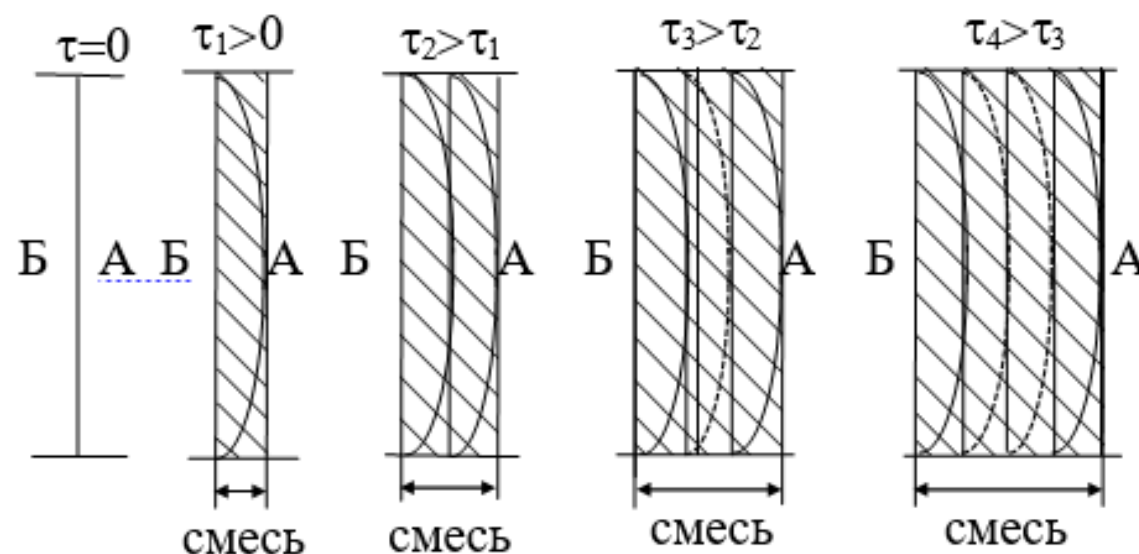


Рисунок 1.3 - Изменение объема смеси и концентрации жидкости Б по ее длине во времени

И опять за счет поперечных пульсаций скорости в зоне обоих контактов происходит полное перемешивание жидкостей. Этот процесс протекает и в дальнейшем. В результате длина образовавшейся смеси постепенно увеличивается в обоих направлениях. При этом кривая распределения концентрации жидкости Б по длине смеси занимает все более пологое положение.

Благодаря существованию поперечных пульсаций скорости вытесняющая жидкость Б не может сколь угодно долго вклиниваться в вытесняемую жидкость А. Кроме того, при турбулентном режиме за счет поперечных турбулентных пульсаций жидкость А вымывается из пристенной области и смесь движется как своеобразный поршень. Поэтому объем образующейся смеси относительно невелик. Согласно приближенной теории смесеобразования, разработанной В.С. Яблонским и В.А. Юфиным, этот объем при турбулентном режиме перекачки не превышает 1 % от объема трубопровода, пройденного серединой смеси.

Так как при ламинарном режиме перекачки скорость струек на оси трубы в 2 раза выше средней скорости потока, а на стенке скорость жидкости (по условию “прилипания”) равна нулю, то с течением времени вытесняющая жидкость Б будет все больше вклиниваться в вытесняемую жидкость А, а на стенке перемещаться не будет. В момент, когда “голова” клина достигает конечного сечения трубопровода, заканчивается фаза замещения и весь трубопровод заполнен смесью последовательно перекачиваемых жидкостей.

Далее начинается фаза вымывания. Заключается она в том, что постепенно конечного сечения трубопровода достигают струйки, все более удаленные от оси трубы. Этот процесс протекает крайне медленно. Теоретически и экспериментально установлено, что для полного вымывания жидкости А необходимо прокачать вытесняющую жидкость Б в количестве 3...4 объемов трубопровода $V_{тр}$. Таким образом, объем образующейся смеси при ламинарном режиме перекачки составляет (4...5) $V_{тр}$

Приближенная теория смесеобразования при последовательной перекачке

Распределение концентрации одного продукта в другом описывается линейным уравнением второго порядка в частных производных

$$\frac{\partial K_B}{\partial \tau} = D_{\Theta} \cdot \frac{\partial^2 K_B}{\partial x^2}$$

где K_B - концентрация вытесняющей жидкости Б;

D_{Θ} - эффективный коэффициент продольного перемешивания.

$$K_B = 0,5 \cdot [1 - \Phi(Z)]$$

где $\Phi(Z)$ - интеграл вероятности,

$$\Phi(Z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^Z e^{-Z^2} \cdot dZ$$

Z - аргумент интеграла вероятности,

$$Z = \frac{x}{2\sqrt{D_{\Xi}}\tau}$$

τ - время образования смеси (время перекачки).

График функции $0,5 \cdot [1 - \Phi(Z)]$ приведен на рисунке 1.4

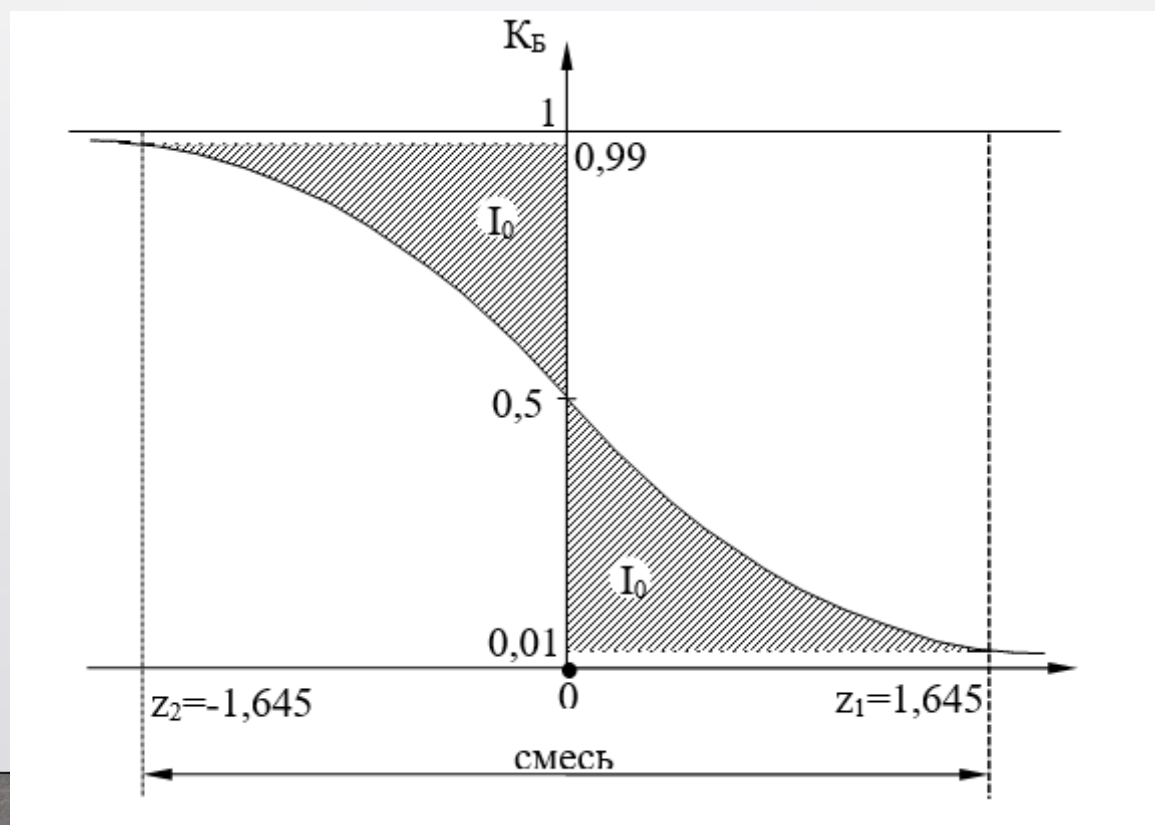


Рисунок 1.4 – График функции K_B

В соответствии с ним концентрация $K_B = 1$ имеет место при $Z \rightarrow -\infty$, а $K_B = 0$ при $Z \rightarrow +\infty$, то есть смесь занимает как бы весь трубопровод. Это дефект используемой математической модели.

Для инженерных целей под областью смеси понимают зону, где концентрация продукта Б в продукте А изменяется от 99 до 1 %. Значение аргумента интеграла вероятности Z при $K_B = 0,01$ равно 1,645, а при $K_B = 0,99$ равно - 1,645.

Пусть x_1 и x_2 - координаты сечений, ограничивающих область смеси. Тогда можем записать:

$$\frac{x_2}{2\sqrt{D_{\text{э}} \cdot \tau}} = 1,645; \quad \frac{x_1}{2\sqrt{D_{\text{э}} \cdot \tau}} = -1,645$$

Длину области смеси найдем как разность x_2 и x_1

$$l_{\text{с м}} = x_2 - x_1 = 1,645 \cdot 2\sqrt{D_{\text{э}} \cdot \tau} - (-1,645 \cdot 2\sqrt{D_{\text{э}} \cdot \tau}) = 6,58\sqrt{D_{\text{э}} \cdot \tau} \quad (1.5)$$

Если учесть, что время образования смеси $\tau = L / v_{\text{с м}}$, то можем переписать

$$l_{\text{с м}} = 6,58 \sqrt{\frac{D_{\text{э}} L}{v_{\text{с м}}}} \quad (1.6)$$

где L - пройденный смесью путь;

$v_{\text{с м}}$ - скорость смеси.

Соответственно объем смеси будет равен

$$V_{с\ м} = l_{с\ м} \cdot F = 6,58 \cdot F \sqrt{\frac{D_{э} \cdot L}{\upsilon_{с\ м}}} \quad (1.7)$$

где F - площадь сечения трубопровода.

Из полученных формул видно, что длина и объем смеси меняются пропорционально корню квадратному из пройденного смесью расстояния и зависят также от площади сечения трубопровода и коэффициента продольного перемешивания (диффузии)

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Нечваль М.В., Новоселов В.Ф., Тугунов П.И. Последовательная перекачка нефтей и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам.- М: Недра, 1976.- 221 с.
2. Оптимизация последовательной перекачки нефтепродуктов / Лурье М.В., Марон В.И., Мацкин Л.А. и др. - М: Недра, 1979.- 256 с.
3. Последовательная перекачка нефтепродуктов по разветвленным трубопроводам / Новоселов В.Ф., Ярыгин Е.Н., Козачук Б.А. и др.- М: Недра, 1994.- 112 с.
4. Трубопроводный транспорт нефтепродуктов / Ишмухаметов И.Т., Исаев С.Л., Лурье М.В. и др. – М.: Нефть и газ, 1999. – 300 с.
5. Трубопроводный транспорт нефти и газа / Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др.- М: Недра, 1988.- 368 с.
6. Коршак А.А.Специальные методы перекачки: Конспект лекций. – Уфа: Фонд содействия развитию научных исследований, 2000. – 211 с.