

ТЕХНОЛОГИЯ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ
ПЕРЕКАЧКИ
НЕФТЕПРОДУКТОВ И НЕФТИ

Последовательной перекачкой нефтепродуктов называется специальная технология (метод) трубопроводного транспорта, при которой в каждый момент времени в **одном** трубопроводе находится **несколько** жидкостей, различающихся по своим физико-химическим свойствам (плотность, вязкость и др.).

Каждая из разнородных жидкостей закачивается в трубопровод вслед за предыдущей (по времени заправки), **последовательно**, без промежутков и разделителей. Поэтому такая технология ещё называется последовательная перекачка прямым контактированием.

Такая технология может применяться также и для трубопроводного транспорта различных сортов нефтей (без перемешивания).

Последовательная перекачка применяется для светлых нефтепродуктов, к которым относятся:

- автомобильные бензины (АБ);
- дизельные топлива (ДТ);
- авиационный керосин.

Марки **автомобильных бензинов** (по ГОСТ 32513-2013), классифицируемые по октановому числу:

- АИ-80;
- АИ-92;
- АИ-95;
- АИ-98.

Автобензины также классифицируются по содержанию серы по экологическим классам (К2 – 0,05 %, К3 – 0,015 %, К4 – 0,005 %, К5 – 0,001 %).

Пример маркировки: АИ-92-К2.

Дизельные топлива классифицируются по ГОСТ 32511-2013 по:

- сортам (от А до F) (по предельной температуре фильтруемости – от +5 до -20 °С) (сорта от А до D – летнее; E, F – межсезонное);
- классам (от 0 до 4) (по предельной температуре фильтруемости – от -20 до -44 °С и по температуре помутнения – от -10 до -34 °С) (классы от 0 до 3 – зимнее; 4 - арктическое);
- экологическим классам (по содержанию серы К2, К3, К4, К5).

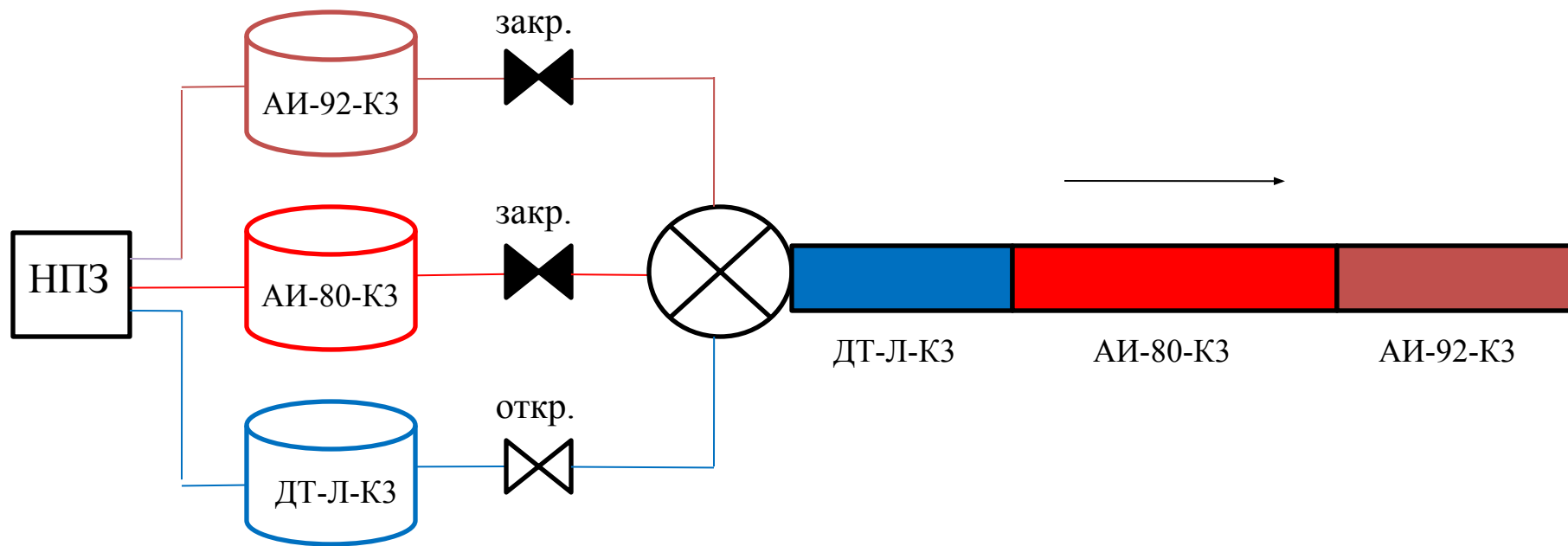
Пример маркировки: ДТ-Л-К3, ДТ-З-К3, ДТ-А-К3.

Топлива для реактивных двигателей (ТРД) (авиационные керосины) выпускаются марок: ТС-1, Т1-С, Т1, Т2, РТ (по ГОСТ 10227-2013).

Различные сорта нефти могут различаться по:

- содержанию серы;
- содержанию солей;
- коэффициенту обводнённости и пр. параметрам.

Принципиальная схема нефтепродуктопровода, ведущего последовательную перекачку



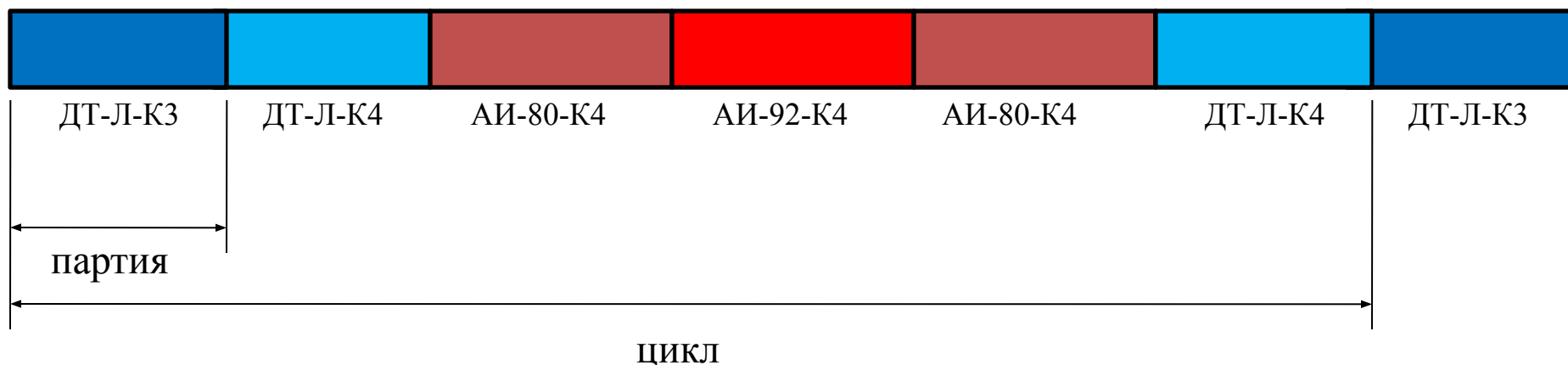
Головная перекачивающая станция

Каждый сорт жидкости, последовательно перекачиваемый по трубопроводу, называется **партией**.

Закачка партий нефтепродуктов в НПП идёт в строго определённом порядке. При этом непосредственно контактируют друг с другом жидкости, наименее различающиеся по своим физико-химическим свойствам.

Совокупность партий всех нефтепродуктов (перекачиваемых по данному НПП), выстроенных в описанном порядке, называется **циклом**.

Пример. Предположим, по данному НПП перекачиваются 2 сорта бензина – АИ-80-К4 и АИ-92-К4 и 2 сорта летнего дизельного топлива: ДТ-Л-К3 и ДТ-Л-К4. Тогда цикл:



Масса одной партии нефтепродукта – от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч тонн; **время** закачки – от нескольких часов до нескольких суток.

На **ГПС** каждый сорт нефтепродукта накапливается в своей группе резервуаров.

Иногда используют жидкостные разделительные пробки.

В подавляющем большинстве случаев нефтепродукты непосредственно контактируют друг с другом. При этом образуется смесь.

Основные преимущества технологии последовательной перекачки:

- использование одного трубопровода для транспортировки различных жидкостей;
- более полная загрузка трубопровода;
- снижение себестоимости перекачки.

Основные недостатки:

- образование смеси различных жидкостей;
- дополнительное увеличение количества смеси при остановках перекачки.

СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ
ПЕРЕКАЧКЕ

В процессе последовательной перекачки в зоне контакта разнородных жидкостей образуется их **смесь**.

Объём смеси возрастает в процессе её движения по трубопроводу, однако общее количество смеси невелико по сравнению с объёмами партий каждой из жидкостей.

Смесь делится на:

- первичную;
- технологическую.

Первичная смесь образуется в начале трубопровода во время переключения резервуаров на ГПС при переходе с одной жидкости на другую. В течение этого времени в трубопровод поступают обе жидкости.

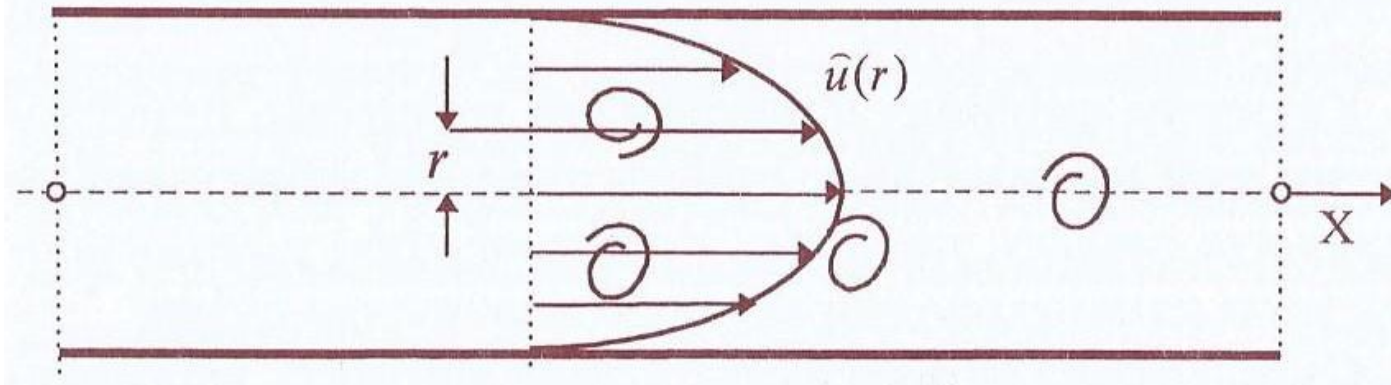
Объём первичной смеси невелик и составляет ~ 15% от общего объёма смеси.

Технологическая смесь образуется непосредственно в процессе движения разнородных жидкостей в трубопроводе.

Объём технологической смеси, как правило, не превышает 1% от объёма всего трубопровода.

Основная **причина** смесеобразования при последовательной перекачке - неравномерность распределения местных скоростей частиц жидкости по сечению трубопровода. У оси трубы местные скорости больше, чем возле стенки. Поэтому позади идущая жидкость вклинивается вопереди идущую.

Схема процесса смесеобразования при последовательной перекачке



В процессе смесеобразования имеют место 2 типа **диффузии** жидкости:

- конвективная;
- турбулентная.

Конвективная диффузия связана с неравномерностью местных скоростей частиц жидкости; **турбулентная** - с дополнительным вихревым движением этих частиц при турбулентном режиме течения жидкости.

Поскольку при турбулентном режиме течения профиль местных скоростей частиц более плоский, чем при ламинарном, то объём смеси в первом случае меньше, чем во втором.

Поэтому при последовательной перекачке обязательным условием является поддержание **турбулентного режима** течения.

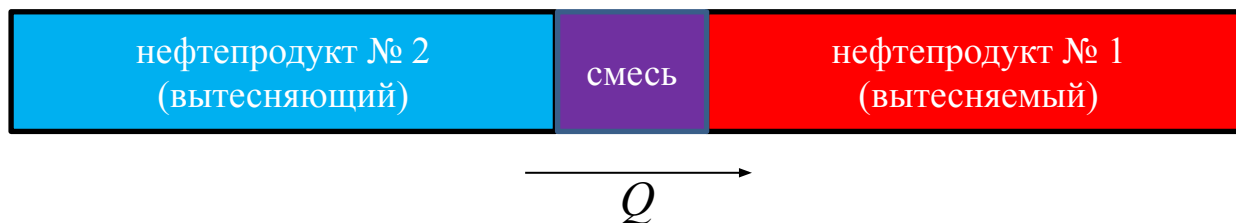
Если через $c = \frac{V_2}{V_c}$ обозначить объёмную концентрацию вытесняющего

нефтепродукта (идущего позади) в смеси, то она может быть определена через известные величины плотности смеси $\rho_{см}$ и плотностей каждого из компонентов, входящих в смесь (ρ_1 и ρ_2):

$$c = \frac{\rho_{см} - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1}$$

Тогда концентрация вытесняемого нефтепродукта (идущего впереди) в смеси может быть определена как $1 - c$.

С помощью приведённой формулы можно также определить плотность смеси при известной концентрации.



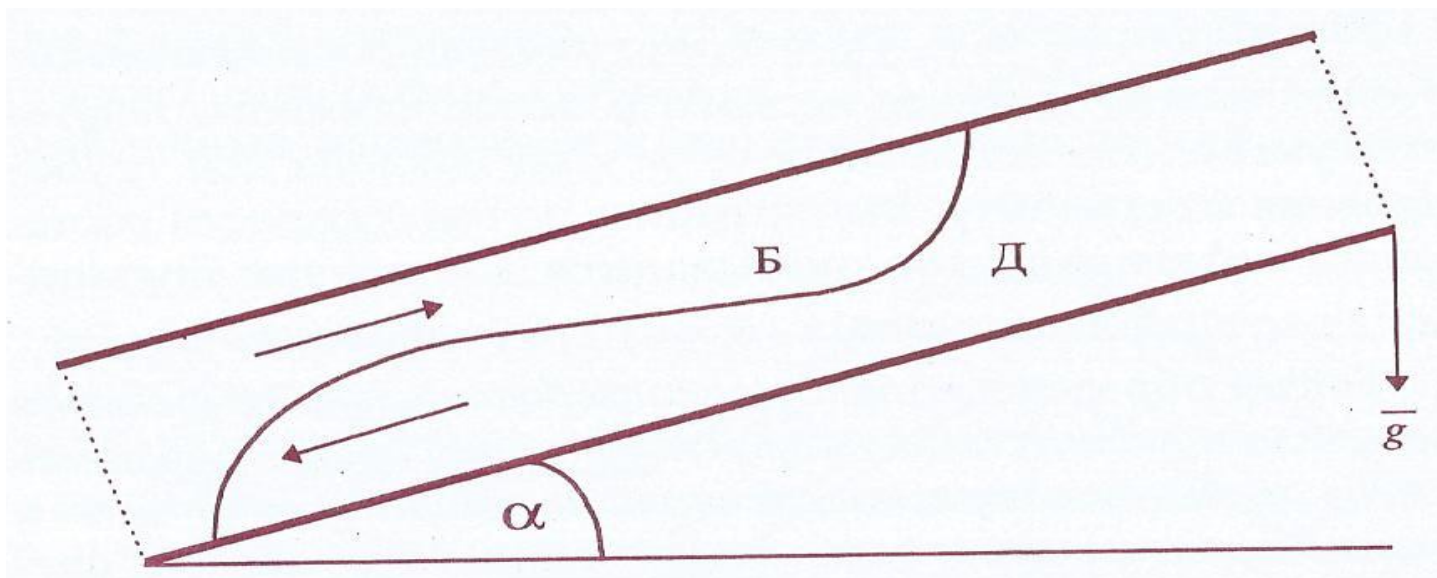
Объём смеси, образующейся в каждом контакте двух партий нефтепродуктов с различными вязкостями, определяется по формуле Съенитцера – Марона:

$$V_{см} = 1000(\lambda_1^{1,8} + \lambda_2^{1,8}) \left(\frac{d}{L}\right)^{0,43} V_{m/n}$$

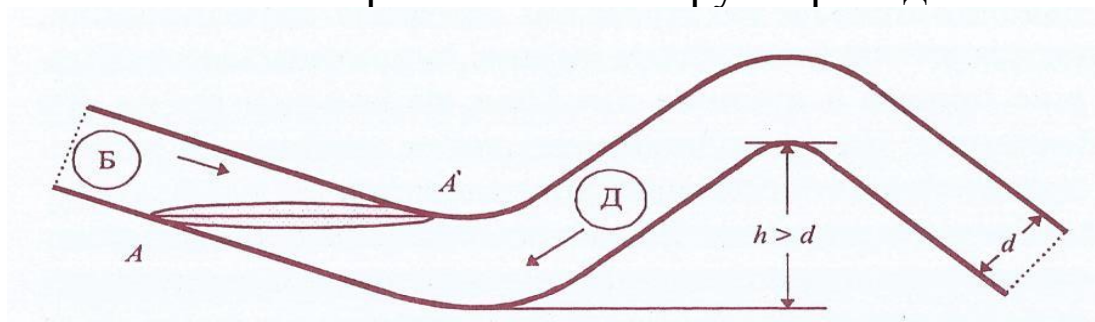
где λ_1, λ_2 – коэффициенты гидравлического сопротивления для каждого нефтепродукта; d – внутренний диаметр трубопровода (м); L – длина участка трубопровода (м); $V_{m/n}$ – объём участка (м³):

$$V_{m/n} = \frac{\pi d^2}{4} L$$

При **остановке** последовательной перекачки количество смеси дополнительно увеличивается за счёт различия в плотности контактирующих нефтепродуктов. Например, если вытесняемым нефтепродуктом является дизельное топливо, а вытесняющим – бензин, и остановка перекачки произошла на участке подъёма трубопровода, то более тяжёлое дизтопливо будет стекать по нижней образующей трубы под действием силы тяжести, а более лёгкий бензин, наоборот, подниматься вверх.



Однако растекание нефтепродуктов не будет продолжаться бесконечно, а остановиться в ближайшем U-образном изгибе трубопровода.



Скорость гравитационного растекания может достигать до 0,5 м/с, что приводит к значительному увеличению объёма смеси.

Отрицательное влияние остановок последовательной перекачки зависит не столько от продолжительности остановок, сколько от частоты чередования сегментов спуска и подъёма.

Если эти сегменты достаточно коротки, то растекание нефтепродуктов при остановках перекачки быстро прекращается, и дополнительное смесеобразование невелико. Если же трубопровод имеет затяжные спуски и подъёмы, то остановки зон смеси на таких сегментах могут представлять большую опасность в плане значительного увеличения количества смеси.

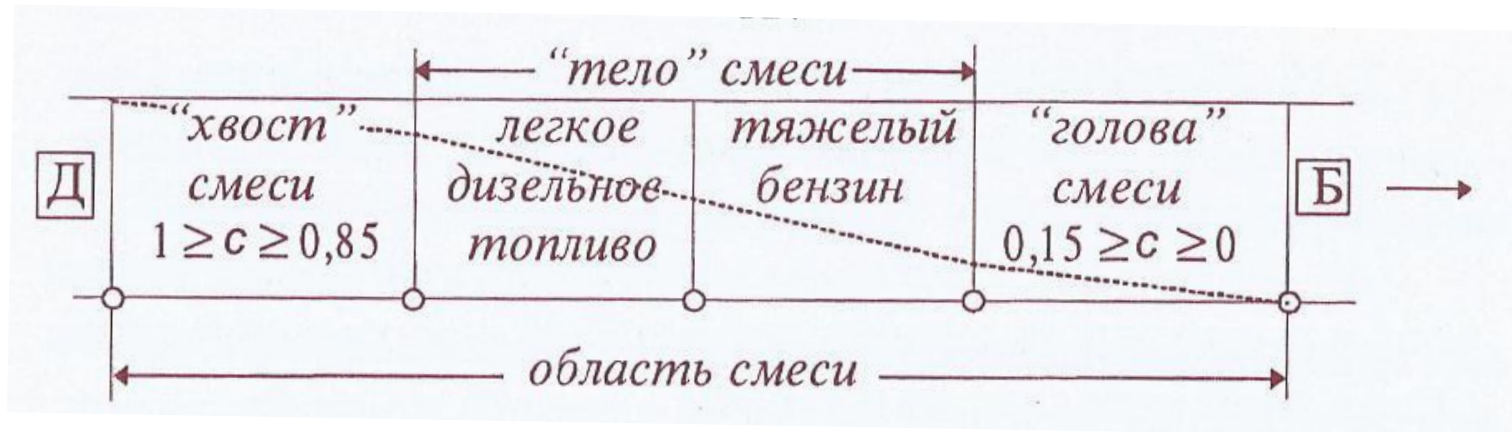
РАСКЛАДКА СМЕСИ

Смесь, образуемая в процессе последовательной перекачки, подлежит раскладке.

Раскладкой называется процесс добавления смеси к чистым нефтепродуктам при условии сохранения показателей качества последних.

Порядок раскладки смеси (на примере: вытесняющий нефтепродукт – дизельное топливо, вытесняемый продукт – автомобильный бензин):

- «голова» смеси, в которой концентрация дизтоплива не превышает 15%, прямо из трубопровода направляется в резервуары с чистым бензином;
- «хвост» смеси, в котором концентрация дизтоплива не менее 85%, направляется в резервуары с чистым дизтопливом;
- «тело» смеси делится пополам; при этом половина, в которой больше бензина (тяжёлый бензин), и половина, в которой больше дизтоплива (лёгкое дизтопливо), каждая направляется в свой смесевой резервуар.



По мере поступления чистых нефтепродуктов с запасами качества обе части нетоварной смеси (тяжёлый бензин и лёгкое дизтопливо) понемногу добавляют в резервуары с чистыми нефтепродуктами.

Контроль прихода смеси на конечный пункт нефтепродуктопровода осуществляется путём отбора проб и измерения основных показателей качества нефтепродуктов (плотность, вязкость и др.).

С помощью такого контроля отсекаются «голова», «хвост» и «тело» смеси.

Для раскладки смеси по чистым нефтепродуктам рассчитывается **предельно допустимая концентрация** одного нефтепродукта в другом, показывающая какое количество другого нефтепродукта из смеси может попасть в данный нефтепродукт без ущерба для показателей качества последнего.

Показатель качества нефтепродукта – это нормируемая ГОСТом величина, связанная с важными физико-химическими характеристиками данного продукта.

Набор показателей качества зависит от типа контакта нефтепродуктов.

Примеры некоторых показателей качества нефтепродуктов:

- 1) при контакте автобензина с дизтопливом:
 - для автобензина – температура конца кипения;
 - для дизтоплива – температура вспышки;
- 2) при контакте 2 сортов автобензина – октановое число или содержание серы;
- 3) при контакте 2 сортов дизтоплива – содержание серы или температура помутнения.

Кроме указанных, могут использоваться и другие показатели качества.

Запас показателя качества – это разница между нормируемой ГОСТом и фактической (заводской) величинами данного показателя качества.

При добавлении смеси в чистый нефтепродукт наличие запаса позволяет избежать выход данного показателя качества за нормируемую ГОСТом величину. Наличие запаса качества при последовательной перекачке является обязательным условием работы НПЗ. В противном случае раскладка смеси будет невозможна.

Пример.

При добавлении смеси бензина и дизтоплива к чистому бензину его температура конца кипения повышается за счёт попадания в него более тяжёлых углеводородных фракций из дизтоплива.

Поэтому бензин должен иметь запас по температуре конца кипения (она должна быть ниже ГОСТовской) с тем, чтобы после добавления смеси температура конца кипения, повысившись, тем не менее соответствовала бы величине, установленной ГОСТом.

Примеры некоторых показателей качества нефтепродуктов:

- 1) при контакте автобензина с дизтопливом:
 - для автобензина – температура конца кипения;
 - для дизтоплива – температура вспышки;
- 2) при контакте 2 сортов автобензина – октановое число или содержание серы;
- 3) при контакте 2 сортов дизтоплива – содержание серы или температура помутнения.

Кроме указанных, могут использоваться и другие показатели качества.

Запас показателя качества – это разница между нормируемой ГОСТом и фактической (заводской) величинами данного показателя качества.

При добавлении смеси в чистый нефтепродукт наличие запаса позволяет избежать выход данного показателя качества за нормируемую ГОСТом величину. Наличие запаса качества при последовательной перекачке является обязательным условием работы НПЗ. В противном случае раскладка смеси будет невозможна.

Пример.

При добавлении смеси бензина и дизтоплива к чистому бензину его температура конца кипения повышается за счёт попадания в него более тяжёлых углеводородных фракций из дизтоплива.

Поэтому бензин должен иметь запас по температуре конца кипения (она должна быть ниже ГОСТовской) с тем, чтобы после добавления смеси температура конца кипения, повысившись, тем не менее соответствовала бы величине, установленной ГОСТом.

Примеры некоторых показателей качества нефтепродуктов:

- 1) при контакте автобензина с дизтопливом:
 - для автобензина – температура конца кипения;
 - для дизтоплива – температура вспышки;
- 2) при контакте 2 сортов автобензина – октановое число или содержание серы;
- 3) при контакте 2 сортов дизтоплива – содержание серы или температура помутнения.

Кроме указанных, могут использоваться и другие показатели качества.

Запас показателя качества – это разница между нормируемой ГОСТом и фактической (заводской) величинами данного показателя качества.

При добавлении смеси в чистый нефтепродукт наличие запаса позволяет избежать выход данного показателя качества за нормируемую ГОСТом величину. Наличие запаса качества при последовательной перекачке является обязательным условием работы НПЗ. В противном случае раскладка смеси будет невозможна.

Пример.

При добавлении смеси бензина и дизтоплива к чистому бензину его температура конца кипения повышается за счёт попадания в него более тяжёлых углеводородных фракций из дизтоплива.

Поэтому бензин должен иметь запас по температуре конца кипения (она должна быть ниже ГОСТовской) с тем, чтобы после добавления смеси температура конца кипения, повысившись, тем не менее соответствовала бы величине, установленной ГОСТом.

Предельно допустимая концентрация дизтоплива в бензине $\theta_{ДТ/АБ}$ может быть определена по эмпирической формуле:

$$\theta_{ДТ/Б} = \frac{(T_{кк}^{ГОСТ} - T_{кк})(T_{кк}^{ГОСТ} + T_{кк} - 248)}{2800 \cdot (\rho_{ДТ} - 753)} \quad (1)$$

где $T_{кк}^{ГОСТ}$ – температура конца кипения бензина по ГОСТ (°C); $T_{кк}$ – фактическая (заводская) температура конца кипения (°C); $\rho_{ДТ}$ – плотность дизтоплива при стандартных условиях (кг/м³).

Предельно допустимая концентрация бензина в дизтопливе:

$$\theta_{Б/ДТ} = \frac{11,35}{T_{в} + 55} \lg \frac{T_{в}}{T_{в}^{ГОСТ}} \quad (2)$$

где $T_{в}^{ГОСТ}$ – температура вспышки дизтоплива по ГОСТ (°C); $T_{в}$ – фактическая температура вспышки (°C).

Предельно допустимая концентрация автобензина с меньшим октановым числом (индекс 1) в автобензине с бОльшим октановым числом (индекс 2):

$$\theta_{1/2} = \frac{\Delta O}{O_2 - O_1} \quad (3)$$

где ΔO – предельно допустимое отклонение октанового числа бензина с бОльшим октановым числом; O_1 – октановое число бензина с меньшим октановым числом; O_2 - октановое число бензина с бОльшим октановым числом.

Аналогично вычисляется предельно допустимая концентрация 2 сортов нефтепродуктов с различным содержанием серы (как автобензина, так и дизтоплива):

$$\theta_{1/2} = \frac{\Delta s}{s_1 - s_2} \quad (4)$$

где Δs – запас качества по содержанию серы нефтепродукта с меньшим содержанием серы; s_1 – содержание серы в нефтепродукте с бОльшим содержанием серы; s_2 – содержание серы в нефтепродукте с меньшим содержанием серы.

Зная объём смеси и предельно допустимые концентрации одного нефтепродукта в другом, можно определить **минимально допустимые объёмы партий**, которые обеспечат полную раскладку смеси.

Так, минимально допустимый объём партии автобензина (м^3), допустимой к перекачке в контакте с дизтопливом, определяется выражением:

$$V_{n,\min,B} = \frac{0,172}{\theta_{ДТ/Б}} V_{см} \quad (5)$$

где $\theta_{ДТ/Б}$ – предельно допустимая концентрация дизельного топлива в автобензине;
 $V_{см}$ – объём смеси (м^3).

Аналогично, минимально допустимый объём партии дизтоплива (м^3), допустимой к перекачке в контакте с автобензином:

$$V_{n,\min,ДТ} = \frac{0,172}{\theta_{Б/ДТ}} V_{см} \quad (6)$$

где $\theta_{Б/ДТ}$ – предельно допустимая концентрация автобензина в дизтопливе; $V_{см}$ – объём смеси (м^3).

Если речь идёт о контакте 2 сортов одноимённых нефтепродуктов, то минимально допустимый объём партии 2-го продукта может быть определён:

$$V_{n,2,\min} = \frac{0,172}{\theta_{1/2}} V_{cm} \quad (7)$$

Для 1-го продукта формула выглядит аналогично.

Фактические объёмы партий нефтепродуктов, участвующих в последовательной перекачке, не должны быть меньше минимально допустимых.

Как было сказано выше, при последовательной перекачке трубопровод работает циклически.

Продолжительностью цикла T называется интервал времени между началом данного цикла перекачки и началом следующего за ним цикла.

Годовое число циклов (цикличность) N (1/год) определяется:

$$N = \frac{8400}{T} \quad (8)$$

где 8400 – число часов работы трубопровода в году (350 сут) (без учёта плановых остановок); T – продолжительность цикла (час).

Обозначим:

- G_i – массовый грузопоток i -го нефтепродукта в цикле (кг/год);
- ξ_i – доля i -го нефтепродукта, приходящая в конечный пункт МНПП, где производится раскладка смеси;
- β_i – коэффициент, показывающий, какую долю i -го нефтепродукта можно использовать для раскладки в нём смеси;
- ρ_i – плотность i -го нефтепродукта (кг/м³);
- $V_{n,min,i}$ – минимально допустимый объём партии i -го нефтепродукта, определённый по его показателям качества в соответствии с формулами (5), (6), (7) (м³) ($i = 1, 2, \dots, n$; n – число сортов нефтепродуктов, перекачиваемых по данному МНПП).

Тогда *максимально возможное* годовое число циклов определяется:

$$N = \min \left\{ \frac{\beta_1 \xi_1 G_1}{\rho_1 V_{n,min,1}}, \frac{\beta_2 \xi_2 G_2}{\rho_2 V_{n,min,2}}, \dots, \frac{\beta_n \xi_n G_n}{\rho_n V_{n,min,n}} \right\} \quad (9)$$

При последовательной перекачке на этапе проектирования МНПП производится также расчёт необходимой вместимости резервуарного парка (РП) на ГПС и в конечном пункте, в котором осуществляется раскладка смеси.

Величина вместимости зависит от следующих факторов:

- 1) производительность МНПП;
- 2) ассортимент перекачиваемых нефтепродуктов;
- 3) годовое число циклов перекачки.

РП на МНПП должен обеспечивать накопление одних нефтепродуктов, когда другие закачиваются в трубопровод.

Чем больше годовое число циклов перекачки, тем меньше требуется резервуарной ёмкости, но при этом больше суммарный объём образующейся смеси и, соответственно, больше должны быть объёмы партий для раскладки этой смеси.

Обозначим:

- Ω_j – объём поступления j -го нефтепродукта в резервуары ГПС ($\text{м}^3/\text{час}$);
- Q – производительность трубопровода ($\text{м}^3/\text{час}$);
- $V_{РП,j}$ – вместимость РП на ГПС для j -го продукта (м^3).

Тогда время, за которое опорожнятся резервуары с j -м нефтепродуктом (час):

$$\frac{V_{РП,j}}{Q - \Omega_j}$$

Остальную часть времени цикла

$$T - \frac{V_{РП,j}}{Q - \Omega_j}$$

будет происходить накопление j -го продукта в резервуарах ГПС (T – продолжительность цикла (8)).

Тогда необходимый объём резервуарной ёмкости на ГПС для j -го продукта:

$$V_{РП,j} = \Omega_j \left(T - \frac{V_{РП,j}}{Q - \Omega_j} \right)$$

или

$$V_{РП,j} = \Omega_j T \left(1 - \frac{\Omega_j}{Q} \right) \quad (10)$$

Величина, стоящая перед скобкой в (10) определяет суммарный объём j -го нефтепродукта, поступивший в РП ГПС за время цикла. Её можно выразить через массовый грузопоток G_j и число циклов N :

$$\Omega_j T = \frac{G_j}{\rho_j N}$$

С другой стороны, объём поступления j -го нефтепродукта в РП ГПС:

$$\Omega_j = \frac{G_j}{8400 \rho_j}$$

Тогда имеем:

$$V_{РП,j} = \frac{G_j}{\rho_j N} \left(1 - \frac{G_j}{8400 \rho_j Q} \right) \quad (11)$$

В формулу (11) вводятся также поправочные коэффициенты:

- $k = 1,1 \div 1,2$ – учитывает неравномерность работы МНПП;
- $\eta = 0,80 \div 0,85$ – учитывает неполноту использования резервуарной ёмкости.

$$V_{РП,j} = \frac{k}{\eta_j N} \frac{G_j}{\rho_j} \left(1 - \frac{G_j}{8400 \rho_j Q} \right) \quad (12)$$

Общая вместимость всего РП ГПС находится суммированием по числу сортов нефтепродуктов n :

$$V_{РП,ГПС} = \frac{k}{N} \sum_{j=1}^n \frac{G_j}{\eta_j \rho_j} \left(1 - \frac{G_j}{8400 \rho_j Q} \right) \quad (13)$$

Аналогично рассчитывается общая вместимость РП конечного пункта:

$$V_{РП,КП} = \frac{k}{N} \sum_{j=1}^n \frac{\xi_j G_j}{\eta_j \rho_j} \left(1 - \frac{\xi_j G_j}{8400 \rho_j Q} \right) \quad (14)$$

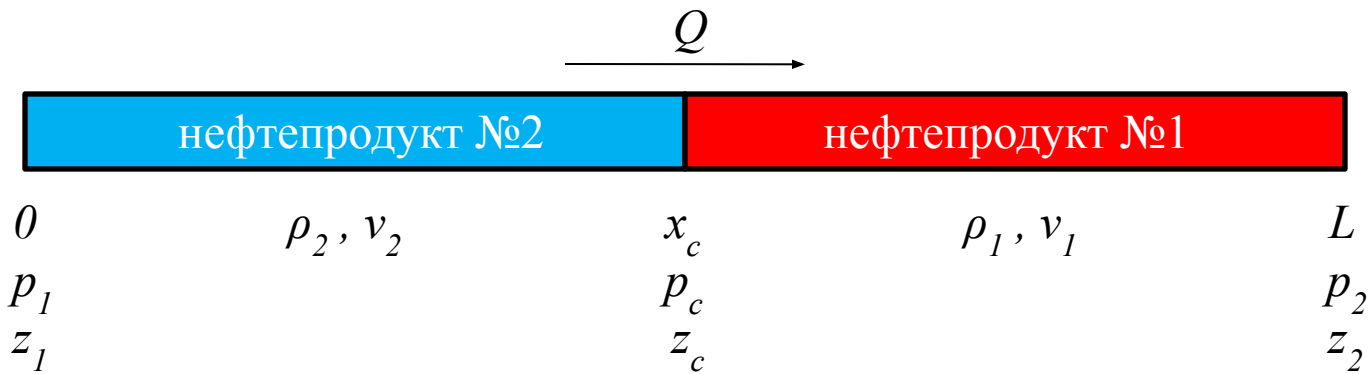
где $\xi_j G_j$ – массовый расход j -го нефтепродукта, поступающего на конечный пункт МНПП после путевых отборов в отводы.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПЕРЕКАЧКЕ

Гидравлические расчёты при последовательной перекачке разнородных жидкостей по трубопроводу связаны с 2 основными особенностями этой технологии:

- 1) различие значений плотности и вязкости жидкостей;
- 2) наличие отводов на трассе трубопровода.

Рассмотрим участок МНПП с 2 нефтепродуктами, различающимися по плотности и вязкости: продукт №1 (вытесняемый) с плотностью ρ_1 и вязкостью ν_1 и продукт №2 (вытесняющий) с плотностью ρ_2 и вязкостью ν_2 .



На рисунке: x_c – координата положения точки контакта; p – давления в соответствующих сечениях; z – высоты сечений.

Будем считать, что область смеси имеет пренебрежимо малую длину.

Запишем два уравнения Бернулли для каждой зоны («начало участка – точка контакта» и «точка контакта – конец участка»):

$$\begin{cases} \left(\frac{p_1}{\rho_2 g} + z_1 \right) - \left(\frac{p_c}{\rho_2 g} + z_c \right) = h_{1-c} \\ \left(\frac{p_c}{\rho_1 g} + z_c \right) - \left(\frac{p_2}{\rho_1 g} + z_2 \right) = h_{c-2} \end{cases}$$

где p_1, p_2 – давления в начале и в конце участка, соответственно (Па); z_1, z_2 – высотные отметки начала и конца участка (м); p_c – давление в точке контакта (Па); z_c – высотная отметка точки контакта (м); ρ_1, ρ_2 – плотности 1-го и 2-го нефтепродуктов (кг/м³); g – ускорение свободного падения (м/с²); h_{1-c} – потери напора в зоне «начало участка – точка контакта» (м); h_{c-2} – потери напора в зоне «точка контакта – конец участка» (м).

Почленно сложим уравнения системы:

$$\left(\frac{p_1}{\rho_2 g} + z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\rho_1 g} + z_2 \right) - p_c \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1 \rho_2 g} = h_{1-c} + h_{c-2}$$

где
$$h_{1-c} = \lambda_2 \frac{x_c}{d} \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{c-2} = \lambda_1 \frac{L - x_c}{d} \frac{v^2}{2g}$$

где x_c – координата точки контакта нефтепродуктов (м); L – общая протяжённость участка (м).

Из последнего уравнения видно, что при последовательной перекачке разность напоров в начале и в конце участка трубопровода не равна сумме потерь напора в обеих зонах.

Добавочное слагаемое в левой части получившегося уравнения Бернулли называется **скачком напора**:

$$\Delta H = -\rho_c \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 \rho_2 g}$$

Таким образом, в точке контакта 2 разнородных жидкостей величина напора скачкообразно изменяется.

В реальности скачок размыт, поскольку в месте контакта имеется область смеси конечной длины.

Из уравнения (2) можно найти давление в точке контакта партий p_c .

Теперь домножим первое уравнение системы (1) на ρ_2 , а второе уравнение – на ρ_1 и почленно сложим их:

$$\rho_2 \left(\frac{p_1}{\rho_2 g} + z_1 \right) - \rho_1 \left(\frac{p_2}{\rho_1 g} + z_2 \right) = (\rho_2 - \rho_1) + \rho_2 h_{1-c} + \rho_1 h_{c-2} \quad (4)$$

Из уравнения (4) можно найти расход перекачки Q (из потерь напора h_{1-c} и h_{c-2}).

Из выражения (3) следует:

- 1) скачок напора $\Delta H = 0$, если $\rho_1 = \rho_2$, т.е. плотности нефтепродуктов равны;
- 2) скачок напора $\Delta H < 0$ (напор в точке контакта скачком уменьшается), если $\rho_1 > \rho_2$, т.е. менее плотный нефтепродукт (бензин) вытесняет более плотный (дизтопливо);
- 3) скачок напора $\Delta H > 0$ (напор в точке контакта скачком увеличивается), если $\rho_1 < \rho_2$, т.е. более плотный нефтепродукт (дизтопливо) вытесняет менее плотный (бензин).

