

Специальные методы перекачки

МОДУЛЬ 1.
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ПЕРЕКАЧКА
НЕФТЕЙ
И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Идея последовательной перекачки продукта

- ❑ **различные по качеству углеводородные жидкости отдельными партиями определенных объемов перекачиваются по одному трубопроводу**
- ❑ **достигается максимально возможное использование пропускной способности трубопровода и освобождаются другие виды транспорта (железнодорожный, водный, автомобильный)**

Обоснование необходимости последовательной перекачки

- 1) **нефти**, добываемые в пределах даже одного месторождения, имеют **различный химический состав** $\Rightarrow$ смешивать такие нефти нецелесообразно; строить же для каждой нефти отдельный трубопровод экономически нецелесообразно
- 2) **объемы** отдельно взятых нефтепродуктов **недостаточны для строительства самостоятельных трубопроводов** или требуют сооружения **маломощных нефтепродуктопроводов** для каждого нефтепродукта в отдельности
- 3) в **условиях нефтебаз** последовательная перекачка неизбежна, так как практически **невозможно построить отдельные трубопроводы для каждого нефтепродукта**



Последовательная перекачка методом прямого контактирования - перекачка нефтепродуктов отдельными **партиями** (несколько тысяч – десятки тысяч тонн каждая)

Условия и требования при реализации технологии

- ❑ В зоне контакта последовательно движущихся нефтепродуктов **образуется смесь** $\Rightarrow$ **не может быть использована** ни как один из нефтепродуктов
- ❑ Высокие требования к **качеству моторных топлив**, используемых в двигателях внутреннего сгорания
- ❑ **Высокая стоимость** моторных топлив (относительно нефти или конденсата)
- ❑ Необходимость **соблюдения регламента перекачки**

Основы переработки нефти на НПЗ

- ❑ Актуальным является **вопрос экологичности топлива** и минимизации вредных выбросов.
- ❑ Нефть подвергается **многоуровневой системе очистки и переработки**.
- ❑ Большая часть нефти расходуется на **производство топлив**.

2023 г. ⇒ переработано 275 млн тонн нефти, глубина переработки составила 84% (величина, показывающая отношение объёма продуктов переработки нефти к общему объёму затраченной при переработке нефти)

⇒ экспорт нефтепродуктов в страны Ближнего Востока, Африки и Азии (в т.ч. для реэкспорта в Европу)

⇒ ограничение экспортных поставок (≈144 млн т)

2024 г. ⇒ продолжение днйствия ограничения на вывоз топлива

⇒ ряд НПЗ в европейской части РФ, подверглись атакам дронов ⇒ сокращение показателей производства и экспорта нефтепродуктов

Направления переработки нефти на НПЗ

Три основных направления переработки нефти

1. Топливное:

основная продукция - различные виды **топлива** и **углеродные материалы**: моторное топливо, мазуты, горючие газы, битумы, нефтяной кокс и т.д.
Установки производства: **обязательно** - перегонка нефти, риформинг, гидроочистка;
дополнительно вакуумная дистилляция, каталитический крекинг, изомеризация, гидрокрекинг, коксование и т.д. **Примеры НПЗ**: МНПЗ, Ачинский НПЗ и т.д.

2. Топливо-масляное:

продукция - **топлива** и **углеродные материалы**, **смазочные материалы**: нефтяные масла, смазки, твердые парафины и т.д.
Установки производства : установки для производства топлив и установки для производства масел и смазок (деасфальтизация гудрона, селективная очистка, депарафинизация).
Примеры: Омский нефтеперерабатывающий завод, Ярославнефтеоргсинтез и т.д.

3. Нефтехимическое или комплексное (топливнонефтехимическое или топливо-масляное - нефтехимическое):

различные виды топлива и углеродных материалов + нефтехимическая продукция: полимеры, ПАВ и т.д.
Установки производства : для производства топлив и для производства нефтехимической продукции (пиролиз, производство полиэтилена, полипропилена, полистирола и т.д.). **Примеры**: Салаватнефтеоргсинтез; Уфанефтехим.

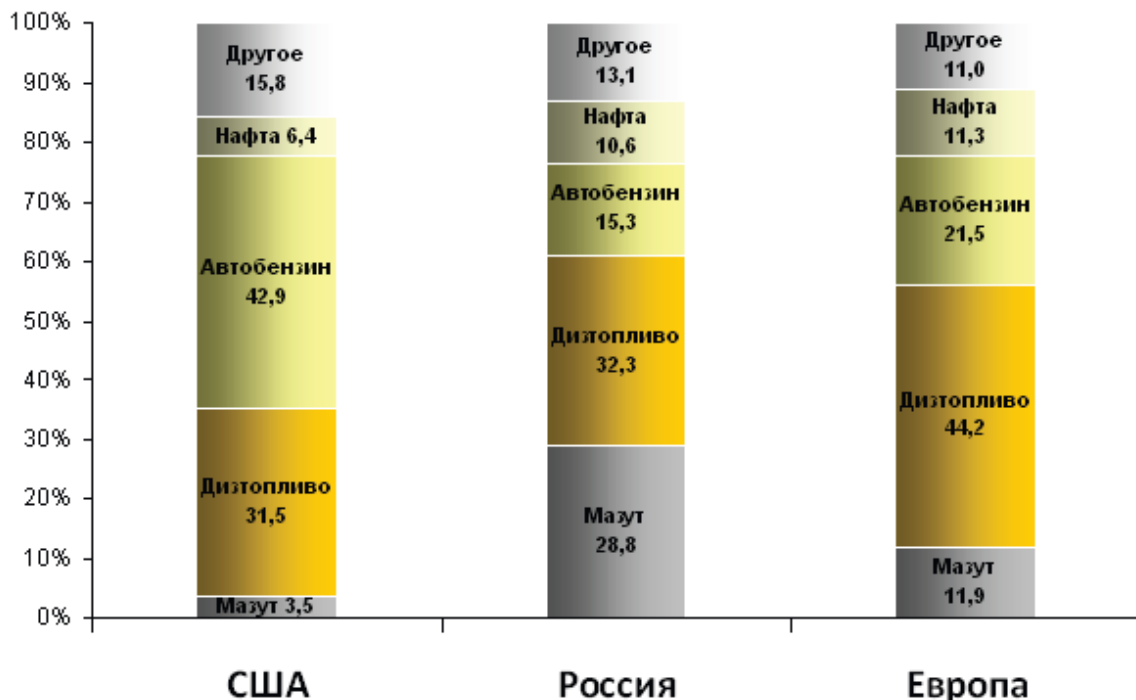
Основы переработки нефти на НПЗ

Нефтепереработка – крупнотоннажное производство, основанное на превращениях нефти, её фракций и нефтяных газов в товарные нефтепродукты и сырье для нефтехимии, основного органического синтеза и микробиологического синтеза – совокупность физических и химико-технологических процессов и операций на НПЗ, включающую подготовку сырья, его первичную и вторичную переработку.

Глубина переработки нефти $\text{ГПН} = (\text{Объем поступившей нефти} - \text{Объем производства мазута/топочного мазута/котельного топлива} - \text{Объем потерь и топлива на собственные нужды}) / \text{Объем поступившей нефти} \times 100 \%$

Глубокая переработка – если есть процессы каткрекинга или гидрокрекинга.

Неглубокая переработка – если отсутствуют процессы превращения темных дистиллятов в светлые.



Нефть и НП. Основные понятия

Нефть (из тур. *neft*) – природная маслянистая горючая жидкость со специфическим запахом, состоящая в основном из сложной смеси углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других химических соединений.

Бензин – фракция нефти плотностью 700-780 кг/м³. Смесь лёгких углеводородов с температурой кипения 30-160°C, получаемая перегонкой или крекингом.

Битумы – твёрдые или жидкие чёрного цвета водонерастворимые смеси углеводородов и их кислородных, сернистых и азотистых производных. Содержат масла, смолы и асфальтены. Битумы искусственные – продукты, получаемые из остатков перегонки нефти, крекинга и очистки масел. Битумы природные – продукты природного преобразования нефти, подвергшейся выветриванию. В зависимости от условий формирования различают мальты, асфальты, кериты и другие разновидности битумов.

Газойль – фракция нефти с пределами выкипания 230-400°C, сырьё для каталитического крекинга и получения дизельного топлива.

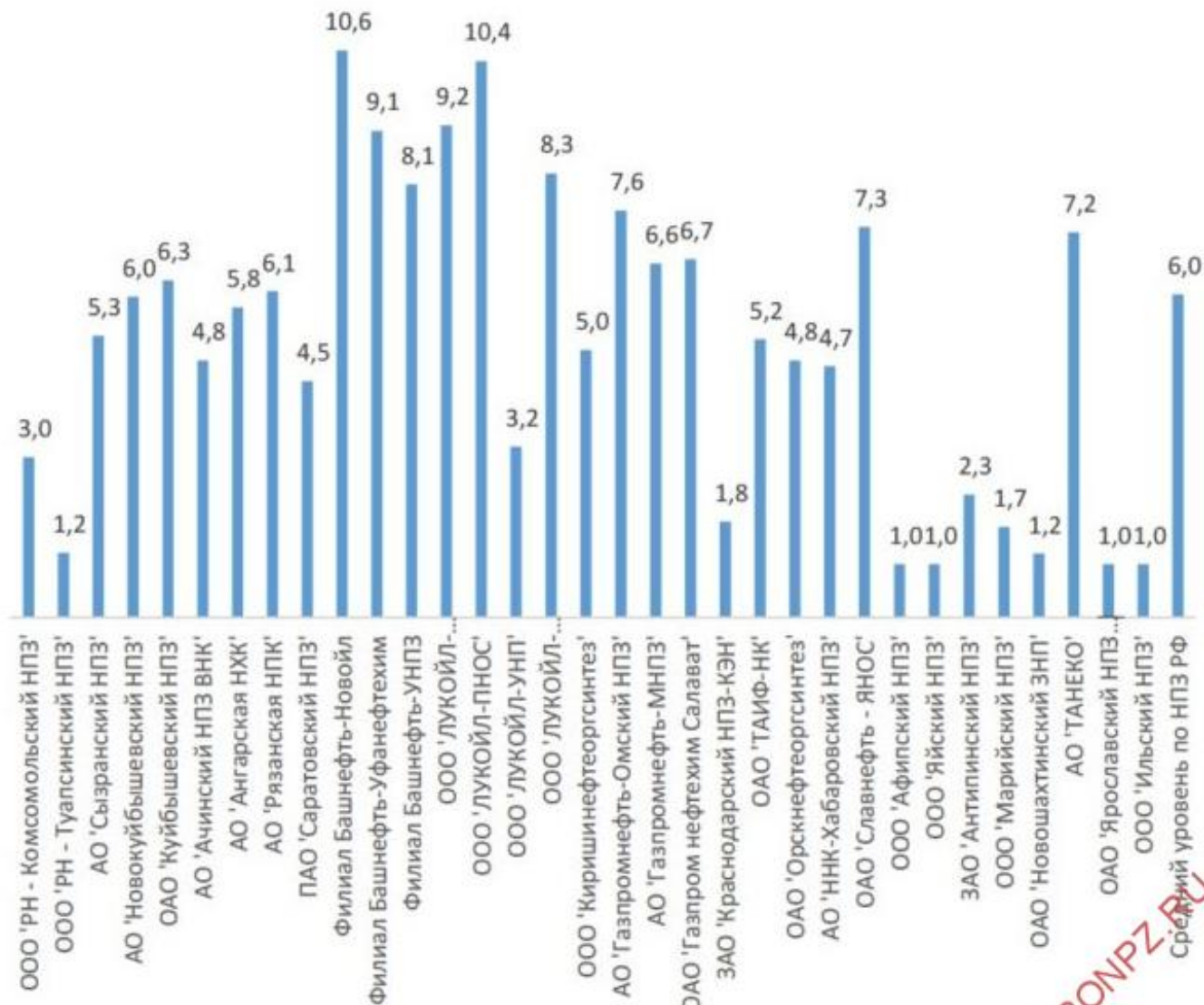
Нефть и НП. Основные понятия

Мазут – густая жидкость тёмно-коричневого цвета плотностью 890-1 000 кг/м³, остаток после отгона от нефти бензина, лигроина керосина и фракций дизельного топлива. Применяют как жидкое котельное топливо (удельная теплота сгорания 38 МДж/кг), а также как сырьё для производства моторных топлив, битума и кокса.

Нафта (лигроин) – фракция нефти, выкипающая в пределах 105-160°C. Плотность 780-790 кг/м³. Путём риформинга перерабатывается в высокооктановый бензин.

Основы переработки нефти на НПЗ

Индекс Нельсона - шкала от 1 до 20 (**низкие цифры – простые НПЗ, производят низкокачественное топливо** (топливо для реактивных двигателей и мазут). **Высокие цифры – более сложные и дорогие НПЗ, производят высококачественные легкие топлива** (бензин и керосин).



Основы переработки нефти на НПЗ

Прямая перегонка нефти: из нагретой нефти нефтепродукты получают прямым испарением

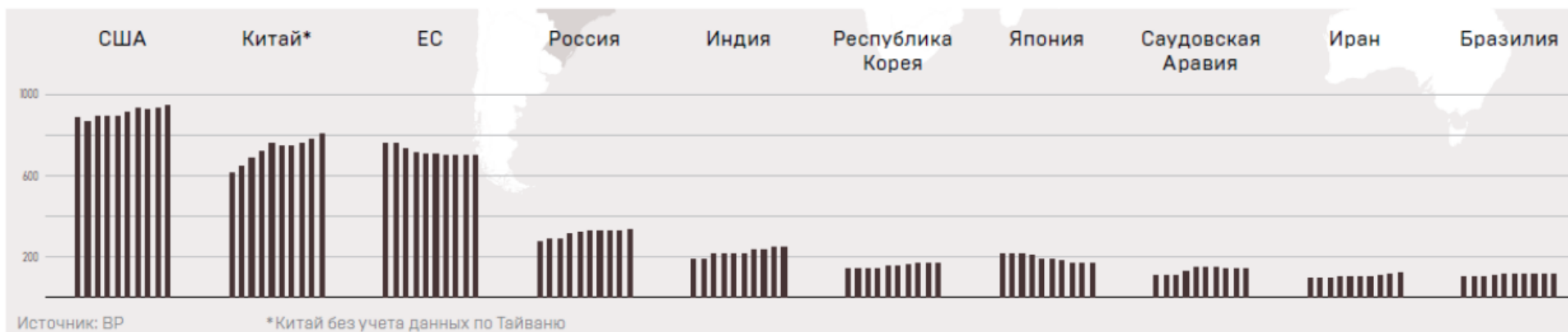
Крекинг: более сложный процесс – расщепление под действием высоких температур и давлений в присутствии катализаторов: **каталитический крекинг** / без катализаторов: **термический крекинг**

Алкирование: введение в молекулы органических веществ алкильной группы (метилирование, этилирование)

Гидрирование: внедрение водорода в молекулы органических соединений

Ароматизация: увеличение содержания ароматических фракций

Полимеризация, синтез и др.



Нефтеперерабатывающие мощности в странах-лидерах, млн. т

Показатели деятельности предприятий нефтепереработки РФ

Первичная переработка нефти и производство основных нефтепродуктов

Объемы производства	2022 год, млн. тонн	Темп роста, %
Первичная переработка нефти	271,74	96,8
Бензин автомобильный	42,58	104,4
Керосин авиационный	10,66	87,4
Дизельное топливо	85,14	106,0
Мазут топочный	40,40	93,1

Экспорт нефти и нефтепродуктов в 2022 г. (млн. тонн)

Нефть	246,1
Автомобильный бензин	4,8
Керосин авиационный	1,5
Дизельное топливо	35,0
Мазут	32,3

Глубина переработки нефти, %

2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
81,3	83,4	83,1	84,1	83,4	83,9

Производственные мощности по отдельным процессам в 2022 г.

Наименование	Производство, млн. т	Темп прироста, %
Первичная переработка нефти	271,74	– 3,2
Каталитический крекинг	21,9	4,9
Гидрокрекинг	22,1	15,5
Гидроочистка дизельного топлива	68,3	3,5
Каталитический риформинг	22,0	3,3
Алкилирование	1,6	– 9,6
Изомеризация	8,7	0,3

*Источник: Протокол № 167
заседания Правления
Ассоциации
нефтепереработчиков и
нефтехимиков, г. Москва,
февраль 2023 г.*

Процессы на НПЗ. Основные понятия

Крекинг (расщепление) – процессы термического разложения, протекающие при нагревании органических соединений без доступа воздуха и приводящие к образованию соединений с меньшей относительной молекулярной массой.

Кристаллизация – применяется для отделения веществ с высокими температурами плавления, т. е. твёрдых углеводородов, растворённых в нефти. Кристаллизацию проводят путём их вымораживания из растворов в подходящем растворителе. Растворитель по возможности должен являться одновременно и осадителем для отделяемых кристаллизацией веществ.

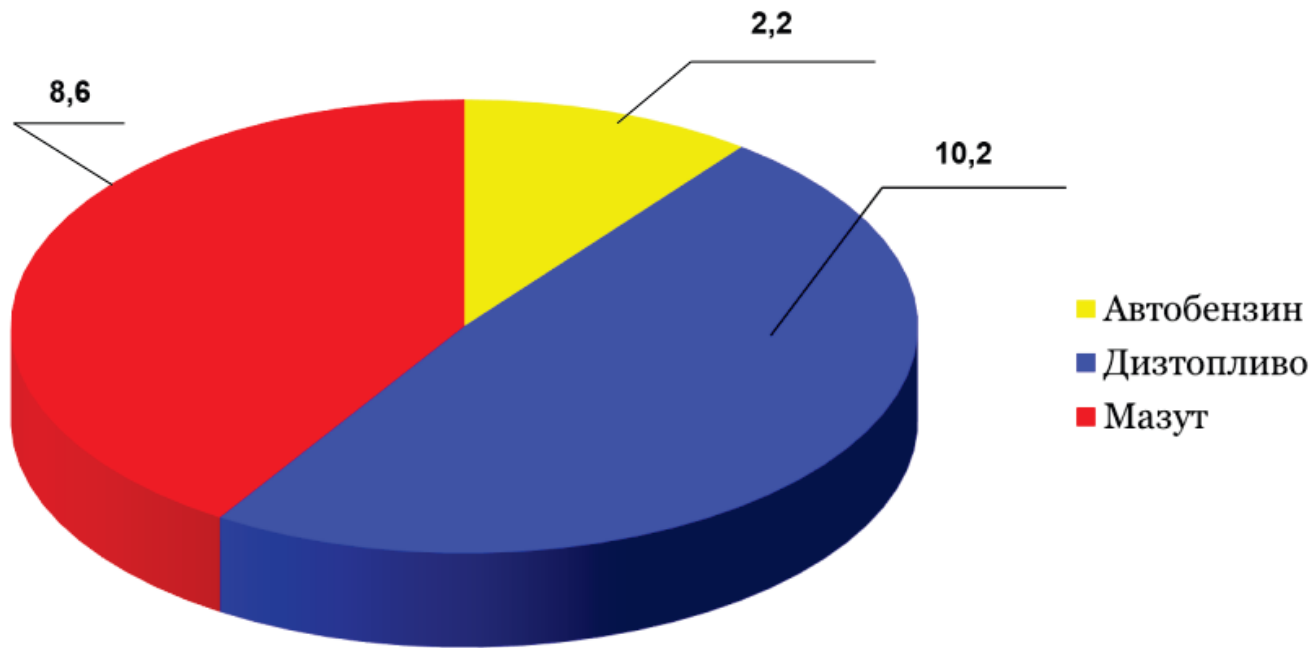
Перегонка нефти (дистилляция) – разделение нефти на составные части (фракции), выкипающие в определённом интервале температур, путём последовательного частичного испарения и конденсации образующихся паров.

Ректификация – диффузионный процесс разделения жидкостей, различающихся по температурам кипения, за счёт противоточного многократного контактирования паров и жидкости.

Риформинг (англ. *reforming*, от *reform* – «переделывать, улучшать») – промышленный процесс переработки бензиновых и лигроиновых фракций нефти с целью получения высокооктановых бензинов и ароматических углеводородов.

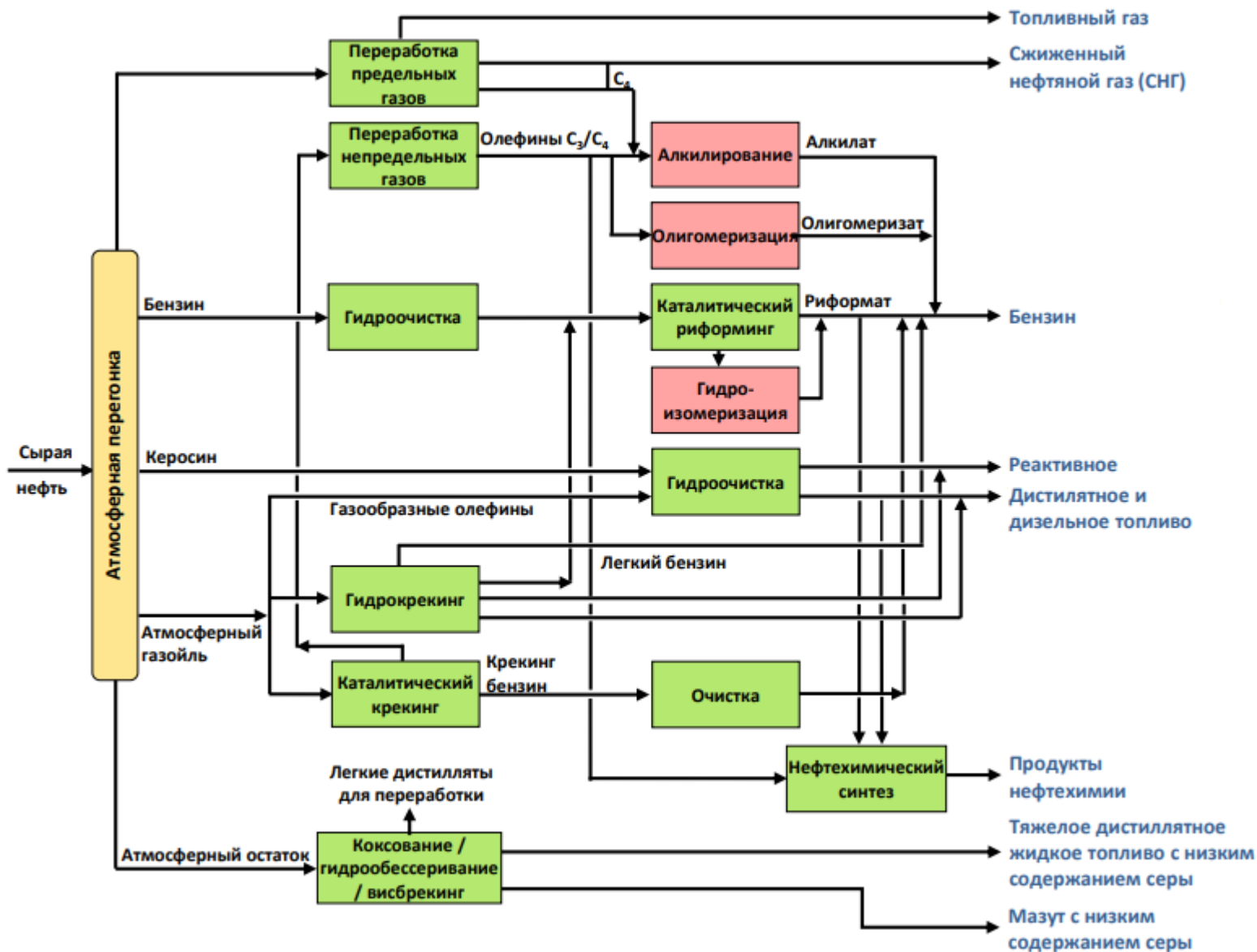
Состояние нефтепереработки в России (2023 г.)

Экспорт нефти и нефтепродуктов в 2023 г. январь-март (млн. тонн)



Источник: Иванов А.В. Нефтегазопереработка и нефтехимия. Технологический суверенитет России, Ассоциация нефтепереработчиков и нефтехимиков, Уфа, 23 мая 2023г. <http://inhp.ru/uploads/>

Схема современного НПЗ



Источник: презентация А.В. Лавренова и др., Центр новых химических технологий ИК СО РАН

Перечень получаемых фракций и направления их использования

Фракции	Возможные направления использования
Головка стабилизации	Сырье газофракционирования, бытовой сжиженный газ
Бензиновые фракции:	
н.к. 62-85 °С	Сырье установок изомеризации, компонент бензина
85-105 °С	Сырье установок риформинга (производство толуола и бензина)
105-140 °С	Сырье установок риформинга (производство ксилолов и бензина)
140-180 °С	Сырье установок риформинга (производство высокооктанового бензина), установок гидроочистки средних дистиллятов, компонент товарного керосина
Керосиновая фракция 180-350 °С	Сырье установок гидроочистки средних дистиллятов, компонент товарного керосина и дизельного топлива
Дизельная фракция, атмосферный газойль 230-350 °С	Сырье установок гидроочистки средних дистиллятов, компонент товарного дизельного топлива
Мазут (выше 350 °С)	Котельное топливо, сырье установок вакуумной перегонки

Товарные нефтепродукты и их свойства

Соотнесите нефтепродукты и их плотности...

А. Сырая нефть

В. Дизельные
топлива

С. Бензины

Д. Керосины



1. 730-760 кг /м³

2. 780 – 830 кг /м³

3. 840 – 850 кг /м³

4. 840 – 960 кг /м³

Товарные нефтепродукты и их свойства

Классификация НП по интервалам выкипания

Автомобильные бензины: наиболее легкие фракции нефти, выкипающие в пределах 40 – 215 °С; плотность 730 – 760 кг/м³



Летние: применение во всех районах, кроме северных и северо-восточных, **с 1 апреля по 1 октября**; в южных районах – в течение всех сезонов



Зимние: применение в течение всех сезонов в северных и северо-восточных районах, и **с 1 октября по 1 апреля** – в остальных районах

ТУ 38.001165-97: Аи-80, Аи-92, Аи-96

ТУ 38.401-58-171-96 (с улучшенными экологическими свойствами): АИ-80(К5), АИ-92, АИ-95 (К5)

ГОСТ Р 51105-97 и др. стандарты: Нормаль-80, Регуляр-92, Премиум-98

ГОСТ Р 51866 (ЕН 228-98)

ТУ 38.401-58-350-05: автомобильные бензины класса К5 (Евро-5)

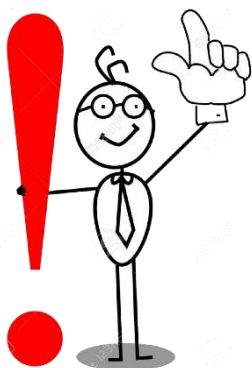
Бензины автомобильные. Нормы и требования

Наименование показателя	Значение для марки		
	Аи-80 (АИ-80-К5)	Аи-92 (АИ-92-К5)	Аи-95/96 (АИ-95-К5)
Экологический стандарт	Евро-5	Евро-5	Евро-5
Детонационная стойкость (октановое число), не менее:			
по моторному методу	76	83	85
по исследовательскому методу	80	92	95
Фракционный состав:			
температура начала перегонки бензина, °С, не ниже	35	35	35
Температура перегонки 10 % бензина, °С, не выше	75	70	50
Температура перегонки 50 % бензина, °С, не выше	120	120	110
Температура перегонки 90 % бензина, °С, не выше	205	190	190
Температура конца кипения бензина, °С, не выше	215	215	210
Давление насыщенных паров, кПа	80	80	45–60
Массовая доля серы, %, не более	0,001	0,001	0,001

Эксплуатационные свойства автомобильных бензинов

Детонационная стойкость: выражается в октановых числах; определяется в одноцилиндровых установках **моторным** или **исследовательским** методом, а также методом детонационных испытаний на автомобильных двигателях

Октановое число – условная количественная характеристика детонационных свойств паров бензина, численно равная процентному (по объему) содержанию стойкого к детонации **изооктана** – углеводородной жидкости, октановое число которой принимается за 100, в смеси с другой углеводородной жидкостью **н-гептаном**, не обладающим достаточной стойкостью к детонации (ее **октановое число принимается за ноль**), **эквивалентной по детонационной стойкости испытываемому бензину** при стандартных условиях испытания.



Применение в двигателях:

- бензина с **октановым числом ниже требуемого недопустимо**
⇒ риск преждевременной детонации в цилиндрах
- бензина с **октановым числом выше требуемого нежелательно** ⇒ вызывает увеличение теплонапряженности двигателя
- применение **высокооктанового бензина в непредназначенных для него двигателях убыточно**

Эксплуатационные свойства автомобильных бензинов

Фракционный состав: характеризуется температурами перегонки 10, 50, 90 % бензина и температурой конца кипения.

Температура конца кипения бензина – температура, при которой стандартная порция (100 мл) испытуемого бензина полностью перегоняется (выкипает) из стеклянной колбы, в которой она находилась, в приемник – холодильник.

Летние бензины:

- более тяжелый фракционный состав
- температура выкипания 50% бензина *(скорость прогрева двигателя и динамика разгона автомобиля)* **не > 110° С**

Зимние бензины:

- температура выкипания 50% бензина *(скорость прогрева двигателя и динамика разгона автомобиля)* **не > 100° С**

Полнота испарения бензина в двигателе зависит от **температур перегонки 90% бензина и конца его кипения**



Чрезмерно большие температуры ⇒ бензин не успевает полностью испариться, поступает в цилиндры в жидком виде ⇒ смыв смазки ⇒ износ деталей

Не полностью испарившийся бензин сгорает медленно, недостаточно полно ⇒ повышение нагарообразования в камере сгорания двигателя

Эксплуатационные свойства автомобильных бензинов

Содержание серы (экологический показатель бензина, класс К):

Массовая доля серы для бензина:

класса 2 (Евро-2) < 500 мг / кг (0,05%)

класса 3 (Евро-3) не более 150 мг / кг (0,015%)

класса 4 (Евро-4) не более 50 мг / кг (0,005%)

класса 5 (Евро-5) не более 10 мг / кг (0,001%)

С 1 января 2016 г. переход на бензин экологического класса 5
(**экологический стандарт Евро-5**) .

Маркировка бензина: например, **АИ-92-К5**

А – автомобильный бензин

И – октановое число **92** определено исследовательским методом (при моторном методе дополнительное обозначение отсутствует)

К5 – класс бензина 5 (содержание серы не более 10 мг / кг (0,001%), стандарт Евро-5

Керосины

- **Следующие за бензином** фракции нефти, выкипающие при температуре 150 – 315 °С
- **Типы керосинов** зависят от назначения ⇒ **условия горения различные**
- Керосин **может использоваться** как топливо для **дизельных двигателей**



Осветительный (КО):

- Плотность 840-860 кг/м³
- Вязкость 1,25 – 2 сСт при 20 °С (**вязкость воды при 20 °С ≈ 1 сСт**)
- Источник света и тепла (**керосиновые лампы/прожекторы маяков** (горящий керосин раскаляет калильные сетки, дающие свет))



Тракторный (КТ):

- Топливо для тракторных карбюраторных двигателей (с запуском и прогреве на бензине)



Авиационный (Т, ТС, РТ):

- Плотность не менее 775 кг/м³
- Вязкость 1,25 при 20 °С
- В РФ выпускают 6 видов керосина для заправки самолетов:
- ТС-1 – дозвуковая авиация
- ТС-2 – маловысотные самолеты
- ТС-6 и ТС-8 – сверхзвуковые самолеты

Топливо самолетное ТС-1

Наименование параметра	Значение
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не менее	775
Фракционный состав:	
температура начала перегонки, °С, не выше	150
10 %	165
50 %	195
90 %	230
98 %	250
остаток и потери в сумме, %, не более	2
Вязкость кинематическая, сСт:	
при 20 °С, не менее	1,25
при 0 °С, не более	2,5
при -40 °С, не более	8
Температура вспышки (в закрытом тигле), °С, не ниже	28
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	-60
Йодное число в г йода на 100 г топлива, не более	3,5
Содержание ароматических углеводородов, %, не более	22
Содержание смол в мг на 100 мл топлива, не более:	
на месте производства	7
на месте потребления	10
Общее содержание серы, %, не более	0,25
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	–
Теплота сгорания (низшая) в ккал/кг, не менее	10 250
Зольность, %, не более	0,005
Содержание механических примесей и воды	–
Проба на медную пластинку	Выдерживает

- **Авиационный керосин:**
фракционный состав строго регламентируется ⇒
зависят
низкотемпературные
свойства топлива ⇒
исключить нарушение
подачи топлива к
двигателям при низких
температурах (ниже – 55°С)
- Вид авиационного топлива
⇒ свои нормативные
технические характеристики
- В общем случае:
межгосударственный
стандарт ГОСТ 10227-86
“Топлива для реактивных
двигателей. Технические
условия”

Дизельные топлива

- Фракция нефти, выкипающая при **230-360 °C**
- **Плотность** 840-860 кг/м³
- В основе классификации: **фильтруемость** и **содержание серы**

Предельная температура фильтруемости – температура потери текучести, при которой топливо после охлаждения в определенных условиях перестает проходить через фильтр или продолжительность фильтрации 20 см³ топлива превышает 60 с.

Маркировка дизельного топлива: например, **ДТ-З-К5**

ДТ – дизельное топливо для автомобильных дизельных двигателей

З – климатические условия применения топлива (З – зимнее, менее вязкое, температура окр.среды до -20 °C, предельная температура фильтруемости -25 °C; **Л** – летнее, более вязкое, используется при положительной температуре, температура фильтруемости не определяется; **Е** – межсезонное, температура фильтруемости -15 °C; **А** – арктическое, температура окр.воздуха до -35 °C, предельная температура фильтруемости -38 °C.

К5 – экологический класс дизельного топлива 5 (стандарт Евро-5)

класс **К2** – содержание серы не более 500 мг/кг (0,05 %)

класс **К3** – содержание серы не более 350 мг/кг (0,035 %)

класс **К4** – содержание серы не более 50 мг/кг (0,005 %)

класс **К5** – содержание серы не более 10 мг/кг (0,001 %)

Паспорт дизельного топлива зимнего

Наименование параметра	Значение
Откуда поступило топливо	Наименование производителя
Наименование продукта	ДТ-З-К5
Цетановое число	45
Фракционный состав:	
10 % перегоняются при температуре, °C	205
50 % перегоняются при температуре, °C	270
90 % перегоняются при температуре, °C	330
Кинематическая вязкость при 20 °C, сСт	3,5
Коксуемость 10%-го остатка, %	0,3
Кислотность в мг КОН на 100 мл	3
Зольность, %	0,01
Сера, %, не более	0,001
Проба на медную пластинку	Выдерживает
Температура вспышки в закрытом тигле, °C	40
Температура застывания, °C	-35
Температура помутнения, °C	-20
Водорастворимые кислоты и щелочи	—
Механические примеси	—
Вода	—

Свойства дизельного топлива

➤ **С 2016 г.** переход на дизельное топливо экологического класса не ниже 4 (экологический стандарт Евро-4 и выше)

➤ Важнейшие **потребительские свойства дизельного топлива:**

Температура вспышки – температура, до которой нужно нагреть ДТ в закрытом тигле, чтобы его пары образовали с воздухом взрывчатую смесь, воспламеняющуюся при поднесении открытого огня.

Цетановое число – условная количественная характеристика воспламенительных свойств ДТ, численно равная %-му содержанию хорошо воспламеняющегося **цетана** (углеводородная жидкость, цетановое число которой принимается за 100) в его смеси с плохо воспламеняемым **α-метилнафталином** (углеводородная жидкость, цетановое число которой принимается за 0), эквивалентной по воспламенительным свойствам испытываемому топливу при стандартных условиях испытания.

Для всех марок ДТ **цетановое число > 45; цетановое число > 60 – нецелесообразно** (процесс сгорания практически не улучшается).

Фракционный состав: наличие спектра углеводородов. Зимние сорта ДТ по сравнению с летними имеют облегченный фракционный состав (96% топлива выкипает при температуре < 340 °С, летние при < 360 °С) и меньшую вязкость (1,8 – 5,0 сСт).

Свойства дизельного топлива

Проба на медную пластинку – испытание (выдержка медной пластинки 3 ч в ДТ при 50 °С) для определения на содержание в ДТ активных сернистых соединений или свободной серы (появление на пластинке черных / темно-коричневых пятен).

Водорастворимые кислоты (серная, соляная, азотная) и **щелочи** (едкое кали, едкий натр) определяются с помощью лакмусовых и фенолфталеиновых индикаторов (топлива с ничтожными следами водорастворимых кислот и щелочей – **не пригодны**).

Кислотность топлива: содержание нафтеновых и асфальтогеновых кислот, фенолов и т.п. $\Rightarrow$ увеличивают износ дизельных двигателей.

Зольность (загрязненность топлива): выпаривают 1 л топлива в колбе до получения 30-40 мл остатка $\Rightarrow$ прокаливают в тигле при темно-красном калении до полного озоления $\Rightarrow$ золу выражают в % к литру топлива $\Rightarrow$ **не более 0,01%**.

Коксуемость 10%-го остатка: определяют по остатку (коксу) от испарения 10%-го остатка топлива при его нагревании до высокой температуры в закрытом тигле без доступа воздуха $\Rightarrow$ **не более 0,3%**.

Механические примеси определяется как %-ное содержание по массе твердых частиц примеси путем фильтрования 100 г топлива через бумажный фильтр $\Rightarrow$ норма – **отсутствие примесей**.

Свойства дизельного топлива

Температура помутнения – температура, при которой топливо теряет фазовую однородность $\Rightarrow$ **температура помутнения** должна быть на 6-8 °С, а **температура застывания** на 10-15 °С **ниже температуры окружающего воздуха**. Для летних сортов температура помутнения: < -5 °С (температура застывания - 10 °С); для зимних: на 10 °С выше температуры застывания (- 25 и -35 °С).

Вязкость определяет свойство текучести:

- **динамическая вязкость** $1 \text{ сП} = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} = 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$ – коэффициент пропорциональности касательного напряжения сдвига между слоями топлива перепаду скоростей движения этих слоев, рассчитанному на единицу расстояния между ними,
- **кинематическая вязкость** $1 \text{ сСт} = 10^{-2} \text{ Ст} = 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$ – отношение динамической вязкости к плотности.
- Характер изменения вязкости для НП одинаков.
- Наиболее заметно изменение температуры влияет на вязкость летних сортов ДТ $\Rightarrow$ загустение уже при температуре от -5 до -10 °С $\Rightarrow$ возрастает сопротивление движению топлива по трубопроводам.
- Чем выше значение вязкости при температуре 20 °С, тем сильнее изменения, происходящие при понижении температуры.
- Зимние сорта ДТ сохраняют подвижность до более низкой температуры (от - 25 до -35 °С).

Марки ДТ, последовательно перекачиваемых в России

- ☐ **летнее топливо** различных сортов с температурами вспышки – не ниже 40 °С и не ниже 60 °С с содержанием серы не более 0,035%
- ☐ **зимнее топливо** разных сортов по **ГОСТ 305-82**
- ☐ экологически чистое разных марок – **летнее – ДТ-Л-К4** разных сортов двух классов – класс К4 и класс 5; **зимнее** разных сортов – ТУ 38.1011348-99;
- ☐ **дизельное топливо экспортное** разных марок – летнее двух видов ТУ 38.401-58-110-94
- ☐ с **улучшенными экологическими свойствами** разных классов (летнее и летнее с присадкой, зимнее двух классов К4 и К5 по ТУ 38.1011348-03), класс К5
- ☐ топливо **дизельное Лукойл-590** (ЕН 590) по ТУ 0251018-00044434- 2002 разных видов
- ☐ топливо **дизельное стандартов от Евро-4 и Евро-5** по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590-2005)
- ☐ топливо **дизельное автомобильное** (ЕН 590) по ТУ 38.401-58-296-05

Результаты физико-химического анализа ТС-1 и А-76

Показатели	А-76		ТС-1		Методы проведения анализа
	Стандартные	Фактические	Стандартные	Фактические	
Температура кипения, °С:					
начальная	35	37	150	148	ГОСТ 2177-99
при перегонке 10%	70	67	165	161	
при перегонке 50%	115	109	195	183	
при перегонке 90%	180	172	230	223	
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	—	—	28	35	ГОСТ 6356-75
Плотность при 20°С, кг/м³	Ненормировано	754,2	775,0	789,6	ГОСТ 3900-85
Кинематическая вязкость при 20°С, сСт	То же	0,5432	1,25	1,51	ГОСТ 33-2000
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива	3,0	0,9856	0,7	0,42	ГОСТ 5985-79
Концентрация фактических смол, мг/100 см³ топлива	5	0,2351	5	0,3843	ГОСТ 1567-97
Испытание на медной пластинке при 100°С	Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает	ГОСТ 6321-92
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С	—	—	28	34	ГОСТ 6356-75
Температура начала кристаллизации °С	—	—	-60	-68	ГОСТ 5066-11
Содержание, % мас.:					
общей серы	0,10	0,032	0,25	0,068	ГОСТ 19121-73
меркаптановой серы	—	—	0,005	0,002	ГОСТ 5066-11
сероводорода	—	—	Отс.	Отс.	ГОСТ 17323-71
ароматических углеводородов	—	—	22	16	ГОСТ 6994-74
Давление насыщенных паров, кПа (мм рт.ст.)	66,7 (500)	43,6 (327,04)	—	—	ГОСТ 1756-2000
Наличие водорастворимых кислот и щелочей	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	ГОСТ 6307
Высота некоптящего пламени, мм	—	—	25	25	ГОСТ 4338-91

Структура современного нефтепродуктопровода

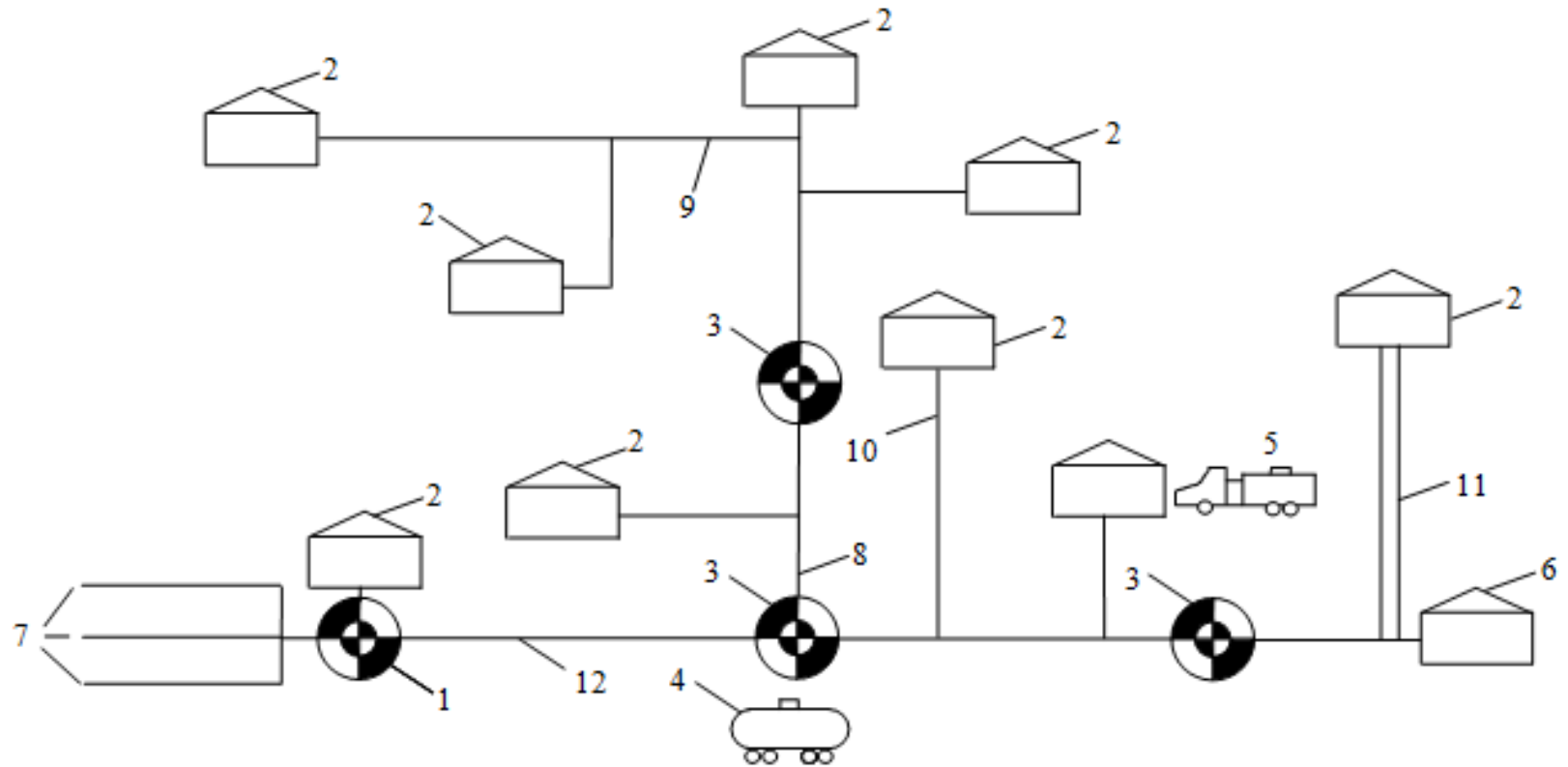
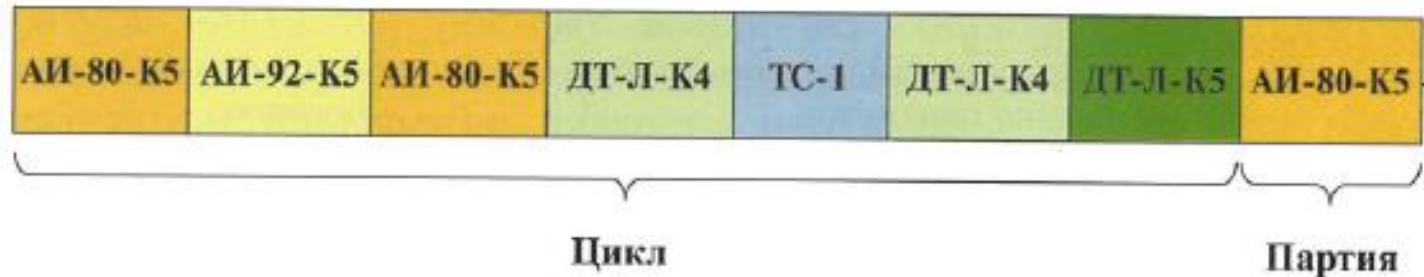


Схема разветвленного нефтепродуктопровода

1 – головная перекачивающая станция; 2 – нефтебаза; 3 – промежуточная перекачивающая станция; 4 – промежуточный железнодорожный наливной пункт; 5 – автоналивной пункт; 6 – конечный пункт; 7 – подводящие трубопроводы; 8 – распределительный нефтепродуктопровод; 9 – сложный отвод; 10 – отвод однотрубный; 11 – отвод двухтрубный; 12 – магистральная часть

Последовательность расположения партий нефтепродуктов в цикле



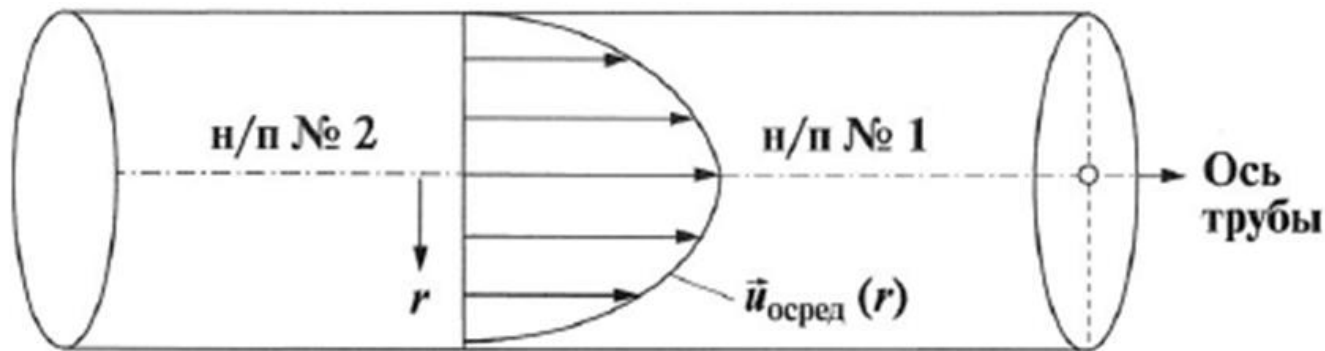
- ❑ Основной **метод мониторинга** продвижения партий – **контроль плотности** транспортируемой жидкости:
 - в километре от НПС устанавливают **выносные ультразвуковые плотномеры** $\Rightarrow$ скорость прохождения ультразвуковых волн через среду зависит от плотности этой среды $\Rightarrow$ определение скорости $\Rightarrow$ преобразование сигнала в плотность текущей жидкости
 - **Ручной метод измерения плотности** $\Rightarrow$ осуществляется систематически (в периоды прохождения смеси через ЛПДС) $\Rightarrow$ пятитрубный отборочный кран обеспечивает равномерный отбор жидкости по площади поперечного сечения трубопровода.
 - Пробы отбирают из трубы на линии всасывания НППС.
 - На конечном (приемном) пункте НПП определяется момент отсечки одного НП от другого и приема в резервуары.

Особенности технологии последовательной перекачки

- ❑ **образование** некоторого количества **смеси** в зоне контакта двух следующих друг за другом нефтепродуктов
- ❑ **причина смесеобразования** – неравномерность осредненных местных скоростей по сечению трубопровода
- ❑ некоторое количество смеси образуется **при переключении системы задвижек** на начальном пункте нефтепродуктопровода в период смены нефтепродукта (**первичная смесь**)
- ❑ для уменьшения количества смеси иногда применяются специальные устройства – **разделители**
- ❑ **количество** смеси в зонах контакта **относительно невелико** $\Rightarrow$ при наличии больших партий топлив **вся смесь может быть разложена** по исходным нефтепродуктам с сохранением их качества

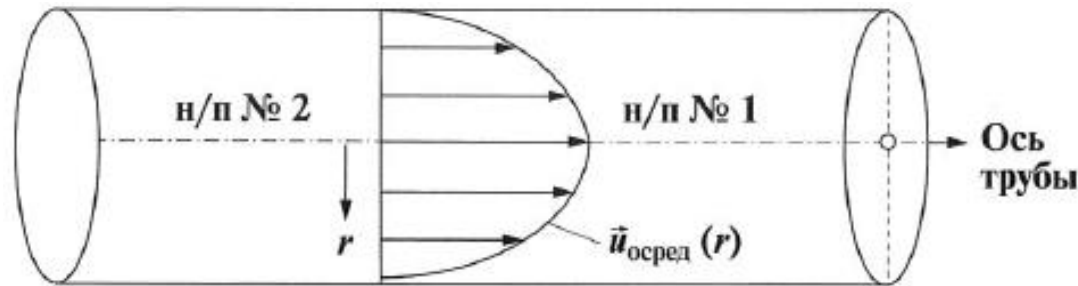
Интенсивность массового обмена в смеси

- ❑ **Область смеси** – область контакта транспортируемых н/п, где **показатели** плавно **изменяются** от одного значения до другого при переходе от партии вытесняемого н/п к партии вытесняющего.
- ❑ Процесс описания смесеобразования в области контакта $\Rightarrow$ **одномерная диффузионная модель продольного перемешивания**
- ❑ При смешивании двух н/п $V_c = V_1 + V_2 \Rightarrow$ **средняя скорость** v движения н/п по трубе $= \text{const} = Q/S$ (в т.ч. вдоль области смеси) $\Rightarrow$ процесс смесеобразования удобно рассматривать в **подвижной системе отсчета**, перемещающейся вдоль оси трубопровода **со средней скоростью v** .



Механизм смесеобразования

- ❑ Вытесняемый н/п А и вытесняющий н/п 2 – **не твердые тела** $\Rightarrow$ вытеснение неравномерное.
- ❑ **Скорости слоев жидкости**, находящихся на разном расстоянии r от оси трубы, **различны**.



- ❑ Вытеснение одного н/п другим происходит **неравномерно**: более интенсивно в центре трубы, у стенок – замедленно.
- ❑ **Конвекция** и **турбулентное перемешивание** действуют постоянно и одновременно на протяжении всего времени вытеснения $\Rightarrow$ интенсивность продольного перемешивания, объем и длина возникающей смеси.

Механизм смесеобразования

Конвекция (конвективная диффузия)

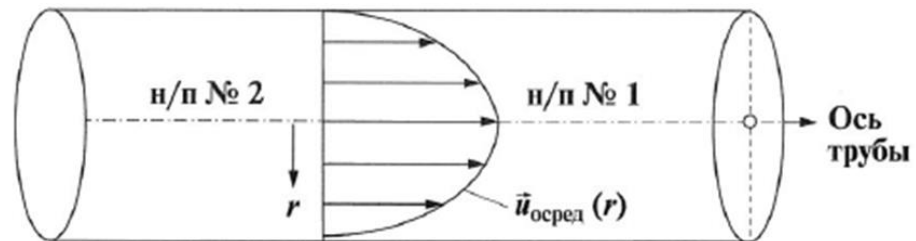


Клин н/п № 2 внедряется в н/п № 1 тем интенсивней, чем более вытянут вдоль оси профиль $u_{\text{осред}}(r)$ осредненных скоростей: перенос н/п № 2 в область, занятую н/п № 1, вместе со слоями жидкости, перемещающимися друг относительно друга.

Турбулентное перемешивание



Процесс перемешивания клина вытесняющей и вытесняемой жидкостей по сечению трубопровода $\Rightarrow \approx$ однородное распределение в каждом сечении.



Из гидравлики: профиль скоростей жидкости в сечении трубопровода тем более плоский (равномерный), чем более развита турбулентность (интенсивней перекачка)



скорость перекачки $\Rightarrow$ интенсивность смесеобразования $\Rightarrow$ преимущество турбулентного режима перекачки по сравнению с ламинарным

Объем образующейся смеси

❑ **объем смеси V_c в области контакта каждой пары $\approx 0,3-0,4$ % объема внутренней полости трубопровода**

❑ **пример:**

Длина трубопровода
 $L = 700$ км
Диаметр $D = 530$ мм
Расход перекачки
 $Q = 1000$ м³/ч



$$V_c \approx 500 \text{ м}^3$$



Смесь неоднородна $\Rightarrow$
нетоварной смеси $\approx$ в 5 раз меньше

❑ **объем смеси зависит от факторов:**

- Диаметр трубопровода
- Скорость перекачки
- Плотность и вязкость контактирующих н/п
- **Расстояние транспортировки:** V_c увеличивается **не пропорционально расстоянию:**

0-100 км: $V_{c \text{ } 100 \text{ км}}$

100-200 км: $V_c \uparrow$ не в 2 раза, а в $\sqrt{2} \approx 1,41$ раз $\Rightarrow 1,41 \cdot V_{c \text{ } 100 \text{ км}}$

200-300 км: $V_c \uparrow$ не в 3 раза, а в $\sqrt{3} \approx 1,73$ раз $\Rightarrow 1,73 \cdot V_{c \text{ } 100 \text{ км}}$

и т.д.



Ранее
образовавшаяся
смесь –
“буферная
жидкость”

Объем образующейся смеси

- ❑ Остро стоит вопрос о смеси н/п – разных типов моторных топлив, – бензин и дизельное топливо.
- ❑ Смесь в пунктах приема (в конце нефтепровода) в небольшом количестве добавляют в исходные н/п – **раскладка смеси** $\Rightarrow$ необходимо иметь достаточный ресурс “чистых” нефтепродуктов – **запас качества** (без нарушения товарных свойств топлив).

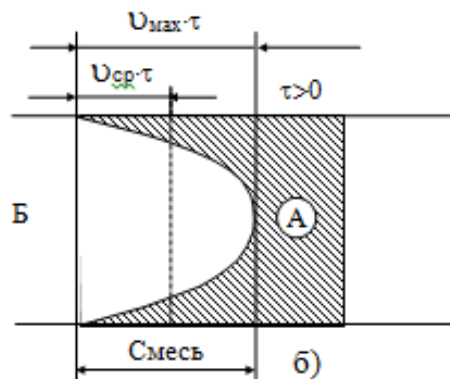
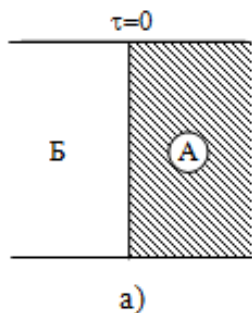


- “голова” смеси (концентрация Б не $< 85\%$) $\Rightarrow$ в резервуары с бензином
- “хвост” смеси (концентрация Д не $< 85\%$) $\Rightarrow$ в резервуары с ДТ
- оставшуюся **нетоварную смесь** делят на 2 части:
 - легкое дизельное топливо $\Rightarrow$ в отдельный резервуар
 - тяжелый бензин $\Rightarrow$ в отдельный резервуар

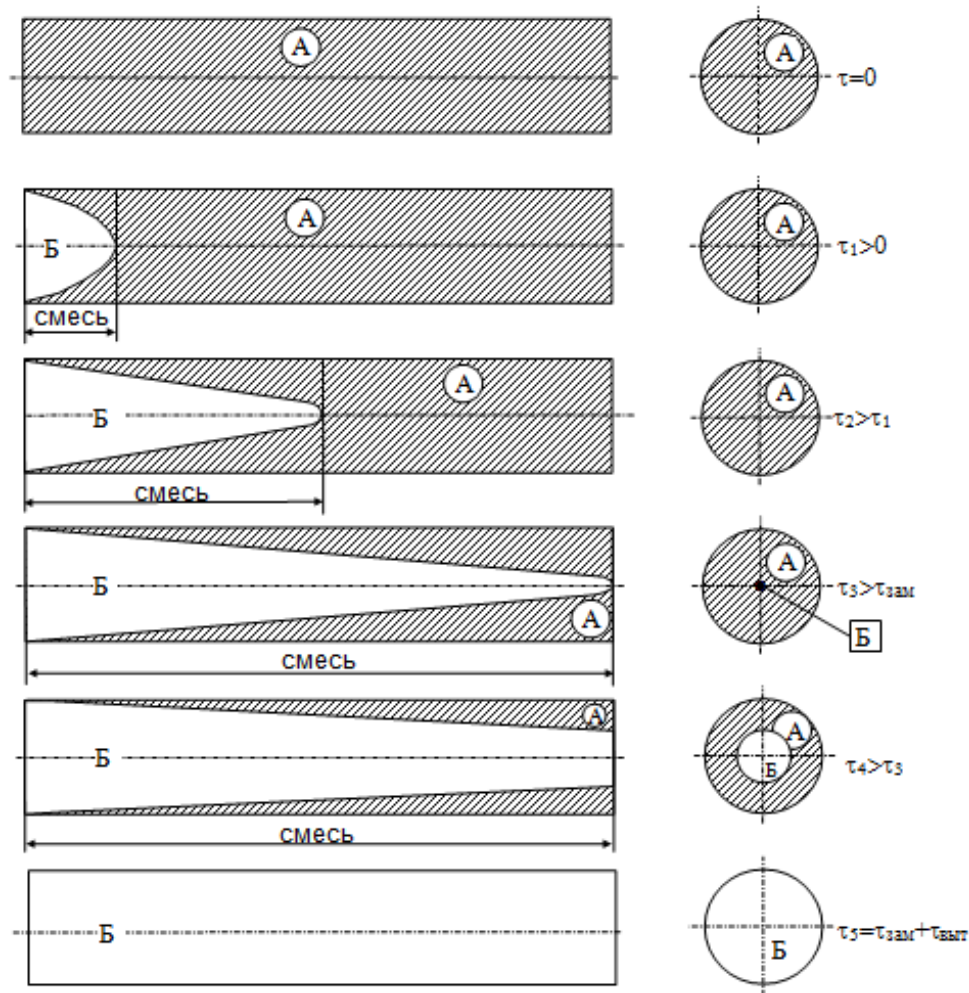
Смесевые
резервуары

Механизм смесеобразования

- ❑ Вытесняемый НП А и вытесняющий нефтепродукт Б – **не твердые тела** $\Rightarrow$ вытеснение неравномерное

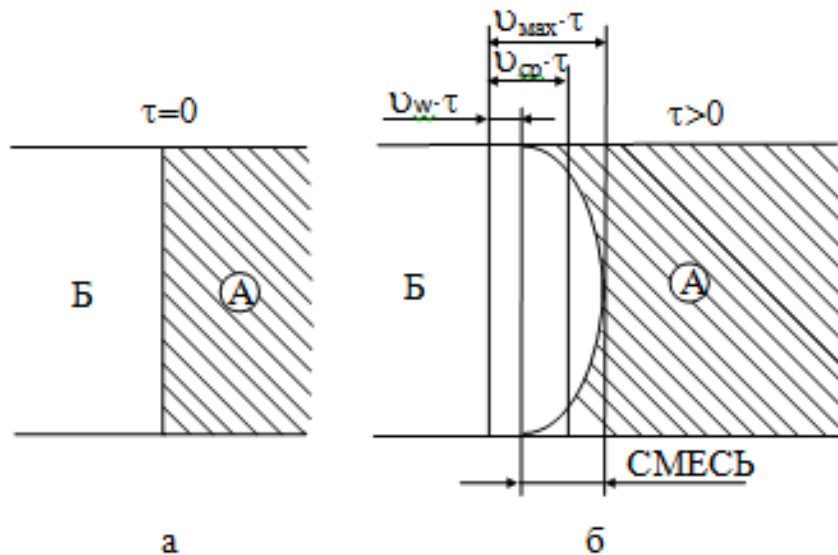


Механизм смесеобразования
при ламинарном режиме

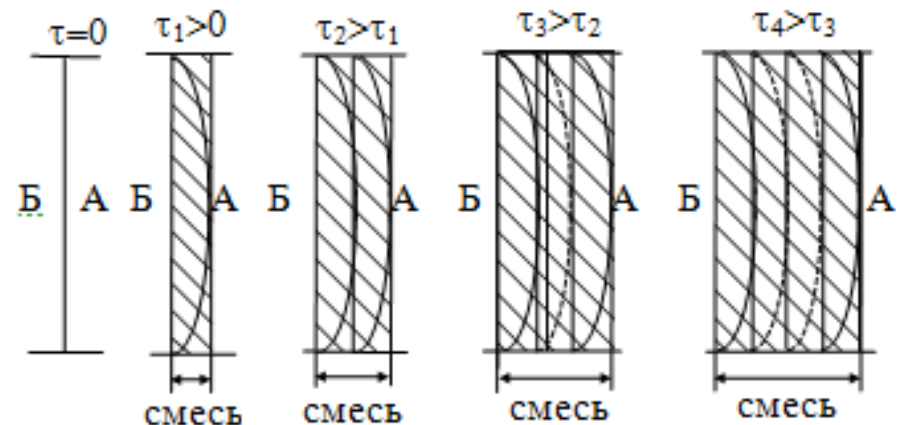


Изменение объема смеси при
ламинарном режиме последовательной
перекачки

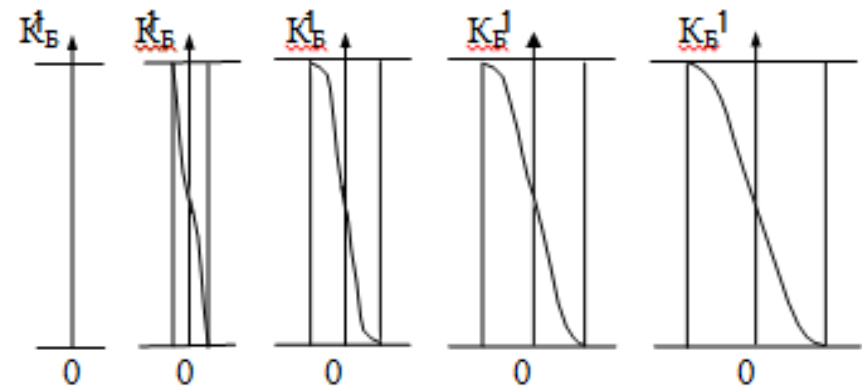
Механизм смесеобразования



Механизм смесеобразования
при турбулентном режиме



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



Приближенная теория смесеобразования при последовательной перекачке

□ Постоянный перенос вытесняющего НП вперед и наоборот – перенос вытесняемого НП в область вытесняющего НП. Обменные перетоки жидкости переносят **через сечение x** подвижной системы отсчета (НП 1 и НП 2).

□ Связь обменных перетоков **w** с расходом **$Q = v \cdot S$** перекачки:

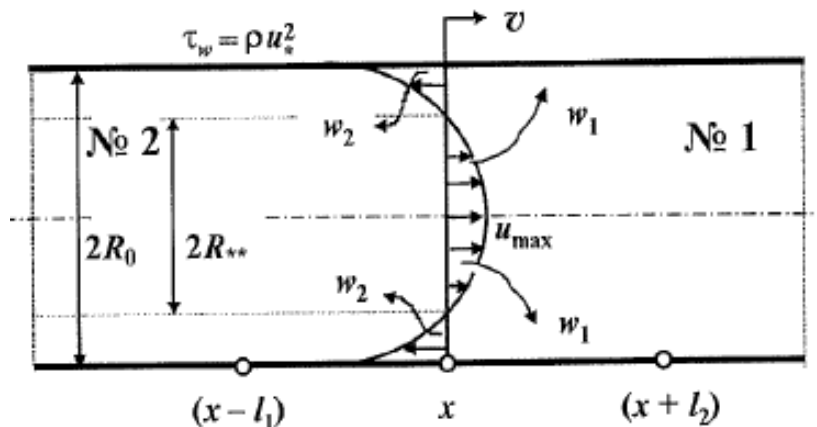
$$w = 1,053 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{8}} \cdot v \cdot S \approx 0,372 \cdot \sqrt{\lambda} \cdot Q \Rightarrow$$

□ Расходы обменных перетоков **сравнительно невелики**:

например: при $\lambda = 0,02$ **$w \approx 0,053 \cdot v \cdot S \Rightarrow 5,3 \%$** расхода Q перекачки.

□ Средние концентрации C_1 и C_2 в перетоках н/п – **разные** $\Rightarrow$

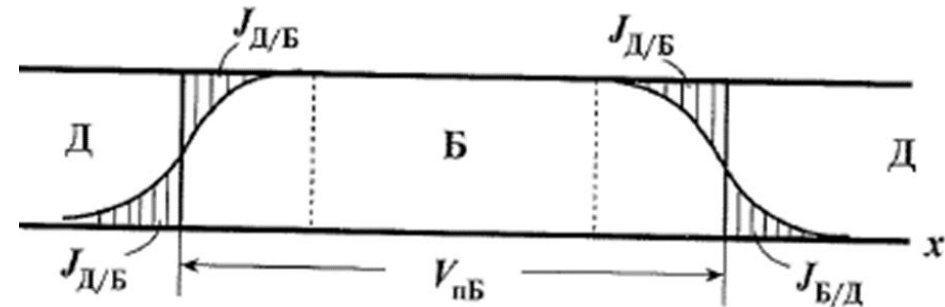
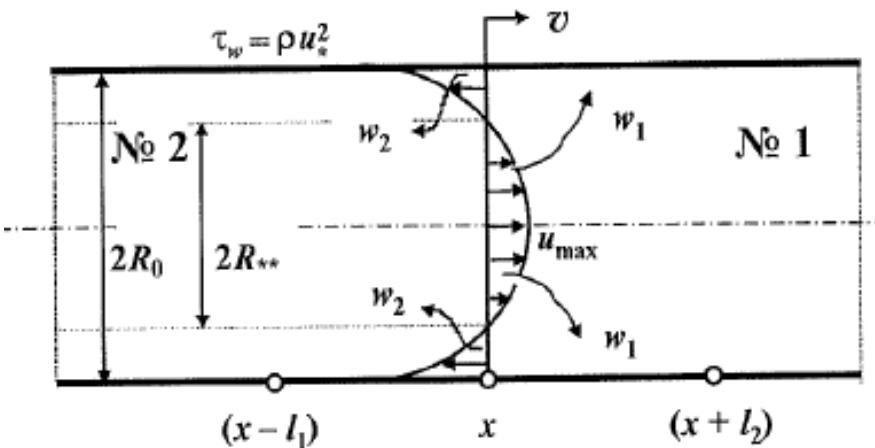
□ **Расход $q(x, t)$ вытесняющего н/п через сечение x :**



$$q(x, t) = w \cdot C_1 - w \cdot C_2 = w \cdot (C_1 - C_2).$$

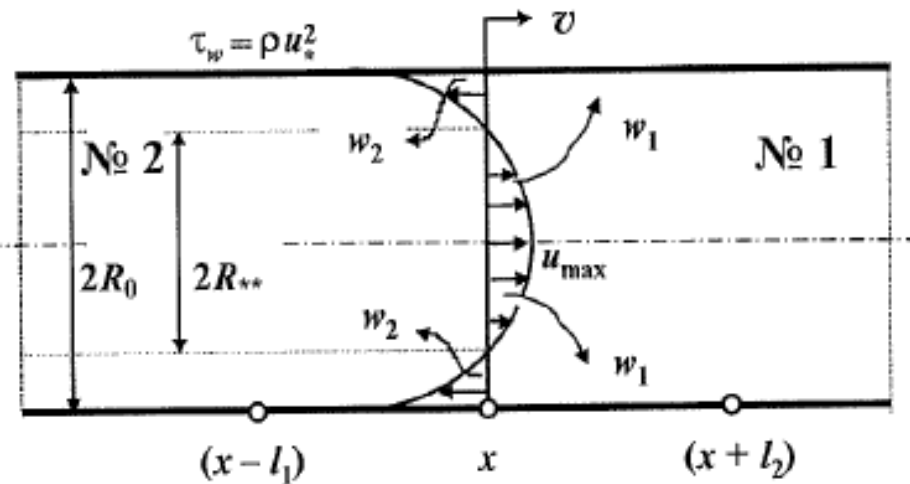
Интенсивность массового обмена в смеси

- ❑ **Закономерность обмена нефтепродуктов в области смеси** $\Rightarrow$ связь объемного расхода **$q(x, t)$** вытесняющего нефтепродукта с распределением $C(x, t)$ концентрации в потоке.
- ❑ Суммарный расход н/п, перетекающих через сечение x , равен 0.
- ❑ Объемы н/п, перетекающих через сечение слева направо и справа налево **равны по величине друг другу, но противоположны по знаку.**
- ❑ Расход перетекания **$w = w_1 = -w_2$** .
- ❑ Перетекание н/п № 2 через сечение x **слева направо** с расходом **w_1** (главным образом, в центральной части трубы).
- ❑ Перетекание н/п № 1 через сечение x **справа налево** с расходом **w_2** (главным образом, преимущественно вблизи внутренней поверхности трубы).



Приближенная теория смесеобразования при последовательной перекачке

- ✓ переток **слева направо** →: концентрация C_1 равна средней по сечению концентрации вытесняющего нефтепродукта на некотором расстоянии l_1 позади сечения x
- ✓ переток **справа налево** →: концентрация C_2 равна средней по сечению концентрации вытесняющего нефтепродукта на некотором расстоянии l_2 впереди сечения x
- ✓ l_1 и l_2 – длины путей перемешивания – расстояния, на котором турбулентная диффузия перемешивает вторгающуюся примесь по сечению трубопровода.



$$\begin{cases} c_1 = c(x - l_1, t) \cong c(x, t) - l_1 \cdot \frac{\partial c}{\partial x}, \\ c_2 = c(x + l_2, t) \cong c(x, t) + l_2 \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \end{cases}$$

$$q(x, t) = -w \cdot (l_1 + l_2) \cdot \frac{\partial c}{\partial x}$$

$$q(x, t) = \underbrace{-0,372 \cdot \sqrt{\lambda}}_{K_C} \cdot (l_1 + l_2) \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \cdot S$$

Приближенная теория смесеобразования при последовательной перекачке

$$q(x, t) = -K_c \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \cdot S$$

- Связь, выражающая пропорциональность объемного расхода **$q(x, t)$** вытесняющего н/п градиенту **$\frac{\partial c}{\partial x}$** его концентраций – закон продольного перемешивания.
- Знак “минус” показывает, что поток каждого н/п направлен **от большей концентрации к меньшей** – в сторону, противоположную градиенту его концентрации.

Приближенная теория смесеобразования при последовательной перекачке

$$K_c = 0,372 \cdot \sqrt{\lambda} \cdot (l_1 + l_2) \cdot v$$

l_1 - расстояние позади сечения x

l_2 - расстояние впереди сечения x

K_c - коэффициент продольного перемешивания, $\text{м}^2/\text{с}$

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

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

где C - концентрация вытесняющей жидкости Б (№ 2), $K_c = \text{const}$.

- ❑ Это уравнение типа **уравнения теплопроводности** $\Rightarrow$ в данном случае **“уравнение продольной диффузии”** (с подвижной системой отсчета) $\Rightarrow$ **основное уравнение для нахождения распределения концентрации $C(x, t)$ вытесняющего н/п в смеси** $\Rightarrow$ уравнение позволяет вычислить **длину $l_{\text{см}}$, объем смеси $V_{\text{см}}$** .

Коэффициент продольного перемешивания

- ❑ K_c - коэффициент продольного перемешивания, $\text{м}^2/\text{с} \Rightarrow$ основной параметр, определяющий процесс перемешивания в области их контакта НП.
- ❑ Исследование K_c – выявление зависимости длин l_1 и l_2 перемешивания.

$$K_c = 0,372 \cdot \sqrt{\lambda} \cdot (l_1 + l_2) \cdot v$$

Коэффициент продольного перемешивания:

$K_c = 1,785 \cdot \sqrt{\lambda} \cdot v \cdot d$ [Дж. Тейлор] $\Rightarrow$
для $Re > 30000$ (заниженные объемы смеси)

$K_c = 3,211 \cdot \sqrt{\lambda} \cdot v \cdot d$ [М.В. Лурье]

$K_c = 17,4 \cdot Re^{-0,33} \cdot v \cdot d$

[А.Ш. Асатурян]

$K_c = 1,32 \cdot 10^7 \cdot \left(\frac{\lambda}{4}\right)^{3,6} \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^{0,141} v \cdot d$

[Ф. Съенитцер]

$\left(\frac{L}{d}\right)^{0,141}$ - эмпирический коэффициент
(учет поправки на расстояние L
перекачки; хорошая сходимость)

Объем примеси J одного продукта в другом:

$$J_{1/2} = J_{2/1} = \frac{1}{6,58 \cdot \sqrt{\pi}} \cdot V_c \approx 0,0856 \cdot V_c = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot Pe^{-0,5} \cdot V_{тр}$$

$Pe = v \cdot L / K_c$ - число Пекле,
диффузионный параметр

v - скорость перекачки

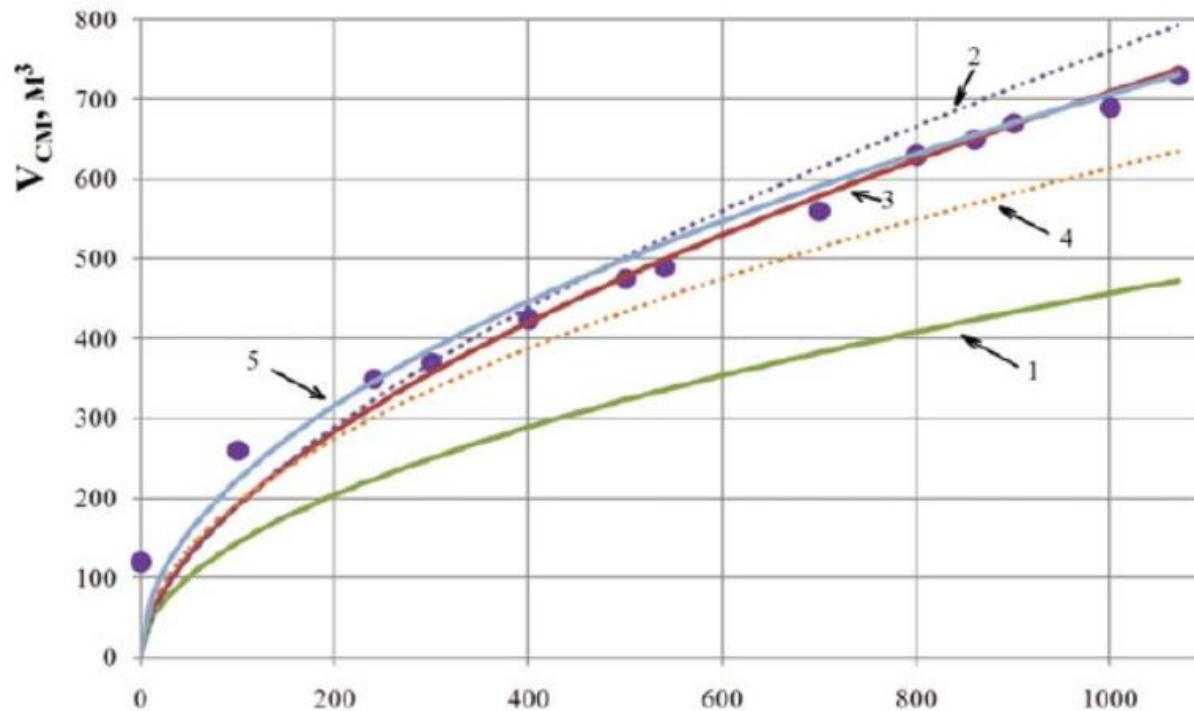
L - длина трубопровода

Отметим также формулу, предложенную Яблонским В.С. [6]:

$$V_{cm} = \left(\frac{26340}{Re_{cp}} + 1,97 \right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt[8]{C_1}} + \frac{1}{\sqrt[8]{C_2}} \right) \cdot \left(\frac{d}{L} \right)^{0,4} \cdot \frac{\rho_T}{\rho_L} \cdot V_{TP}, \quad (12)$$

где C – концентрация нефтепродуктов в %; ρ_T и ρ_L – плотности соответственно тяжелого и легкого нефтепродуктов, Re_{cp} – среднее значение числа Рейнольдса.

Объем смеси на трубопроводе “Самара - Брянск”: сравнение результатов расчетов объемов смеси по разным формулам



**Расчеты по 1 и 5
отличаются в 2,4 раза.**

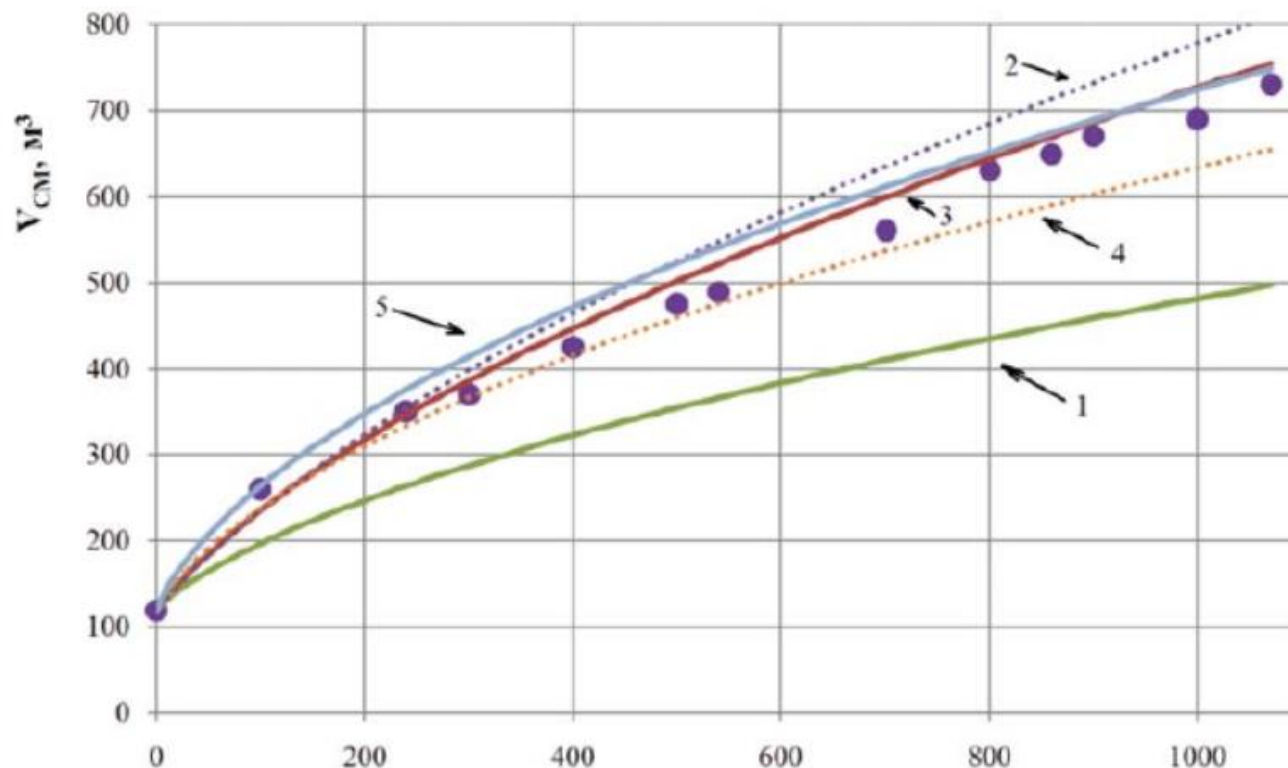
Исходные данные следующие: $\nu_{дт}=6$ сСт;
 $\nu_{б}=0,53$ сСт; $d=0,5$ м; производитель-
ность $Q=1000$ м³/ч; $\rho_{б}=738$ кг/м³; $\rho_{дт}=840$
кг/м³; эквивалентная абсолютная шеро-
ховатость $k_3=0,47$ мм

- 1 – расчеты по формуле **Дж. Тейлора**
- 2 – расчеты по формуле **Яблонского В.С.**
- 3 – расчеты по формуле для НП **разной вязкости** (применяется в **НТД**)
- 4 – расчеты по формуле **Яблонского В.С., Асатуряна А.Ш. и др.**
- 5 – расчеты по формуле **Дж. Тейлора** (при $G = 4,284$)

Источник: Думболов Д.У., Дроздов Д.А. Основные подходы к определению объема смеси и новый метод ее идентификации при последовательной перекачке нефтепродуктов // Территория НЕФТЕГАЗ.- № 8, 2012

Объем смеси на трубопроводе “Самара - Брянск” с учетом влияния первичной смеси

М.В. Лурье



Наилучшую сходимость показывает формула (10), а также (11) с коэффициентом $G = 4,284$, формула (12) хорошо совпадает на расстоянии до 400 км, затем она дает несколько завышенные результаты, а (13), наоборот, заниженные.

(10) – по формула для НП **разной вязкости** (применяется в **НТД**)

(11) – расчеты по формуле **Дж. Тейлора** (при $G = 4,284$)

(12) – формула **Яблонского В.С.**

(13) – расчеты по формуле **Яблонского В.С., Асатуряна А.Ш. и др.**

Источник: Думболов Д.У., Дроздов Д.А. Основные подходы к определению объема смеси и новый метод ее идентификации при последовательной перекачке нефтепродуктов // Территория НЕФТЕГАЗ.- № 8, 2012

Сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов

Яблонский В.С.

L, км	89	89	275	184,7	275	182,4	357
d, мм	203	203	203	203	203	264	260
перекачиваемые нефтепродукты	бензин – бензин			керосин – ДТ		керосин – лигроин	
v_{cr} , сСт	0,6	0,59	0,57	4,5	3,5	2	1,8
отношение ρ_v/ρ_n	1,03	1,03	1,075	1,075	1,075	1,05	1,05
U, м/с	1,58	1,4	1,42	1,21	1,19	0,9	0,86
V_{cn} , м ³ (замеренный)	21	21,6	53,6	37	47,7	67,6	104
V_{cn} , расчетный по формуле (10)	23,2	23,2	44,1	44,9	54,1	69	97,4
относительное отклонение, %	10,4	7,3	17,7	21,4	13,3	2,1	6,3
V_{cn} , расчетный (11)	14,8	14,8	26	22	26,7	41,1	55,3
относительное отклонение, %	29,6	31,5	51,5	40,4	43,9	39,2	46,8
V_{cn} , расчетный (12)	18,7	18,7	38,4	36,7	44,7	59,7	85,7
относительное отклонение, %	11,1	13,4	28,4	0,9	6,4	11,7	17,6
V_{cn} , расчетный (13)	11,3	11,3	20,1	28,5	32,8	44,9	59,8
относительное отклонение, %	46,2	46,4	62,5	22,9	31,3	33,6	42,5

наиболее близкими к экспериментальным данным являются расчеты, выполненные по формулам (10) и (12). Однако в некоторых случаях они показывают довольно значительное отклонение.

(10) – по формула для НП разной вязкости (применяется в НТД)
(12) – формула Яблонского В.С.

Сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов

Хизгилов И.Х.

Трубопровод “Уфа-Челябинск”, D 500 мм

L, км	128	128	128	218	218	218	375
перекачиваемые нефтепродукты	ДТЛ – керосин	ДТЛ – ДТЗ	керосин – ДТЗ	ДТЛ – ДТЗ	керосин – ДТЗ	ДТЗ – керосин	ДТЗ – керосин
$v_{ср}$, c/cт	4,23	4,785	1,99	4,8	2,03	2,03	2,11
отношение ρ_v/ρ_n	1,04	1,05	1,03	1,04	1,03	1,03	1,03
U, м/с	1,42	1,34	1,08	1,29	1,07	1,08	1,07
$V_{см}$, м ³ (замеренный)	235	233	202	239	258	250	360
$V_{см}$, расчетный по формуле (10)	208,7	215,4	195,1	294,2	265,1	264,8	362,8
относительное отклонение, %	11,2	7,5	3,4	23,1	2,74	5,9	0,8
$V_{см}$, расчетный (11)	164,2	165	162,7	215,5	212,4	212,4	278,8
относительное отклонение, %	30,1	29,2	19,5	9,8	17,7	15,03	22,6
$V_{см}$, расчетный (12)	215,3	219	205,9	301,4	283,7	283,6	393,5
относительное отклонение, %	8,4	6	1,9	26,1	10	13,4	9,3
$V_{см}$, расчетный (13)	170,5	178,3	151,8	235,2	199,3	198,9	263,9
относительное отклонение, %	27,5	23,5	24,9	1,6	22,8	20,4	26,7

При расчетах по нормативным документам предполагается, что количество образовавшейся смеси будет одинаковым независимо от порядка следования нефтепродуктов. Однако это не так. На-

пример, количество образующейся смеси больше в том случае, если впереди движется партия дизельного топлива, а следующая партия за ней – бензин. Меньше, соответственно, при обратном порядке следования партий [5].

Определение объема области смеси

□ $V_c = V_1 + V_2$: при слиянии любых объемов V_1 и V_2 н/п объем V_c равен сумме объемов (**сохранение объемов**).

□ $C_1 = V_1/V_c$; $C_2 = V_2/V_{cm}$: вводят объемные концентрации каждого н/п.

Объемная концентрация – безразмерные числа $0 \leq C_1 \leq 1$ и $0 \leq C_2 \leq 1$.

Концентрация н/п в смеси равна 1 $\Rightarrow C_1 + C_2 = 1$.

Процентное содержание – концентрация нефтепродукта, выраженная в процентах $Q = C \cdot 100 \%$.

Примеры: концентрации 0,2 соответствует процентное содержание 20%;
концентрации 0,453 соответствует процентное содержание 45,3%.

□ Выражение концентрации C через плотность ρ_c и плотности ρ_1 и ρ_2 н/п (**закон сохранения массы**):

$$M_c = M_1 + M_2 \quad \Rightarrow \quad \rho_c \cdot V_c = \rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2$$

$$\rho_c = \rho_1 \cdot V_1/V_c + \rho_2 \cdot V_2/V_{cm}$$

или
$$\rho_c = \rho_1 \cdot (1 - C) + \rho_2 \cdot C = \rho_1 + (\rho_2 - \rho_1) \cdot C \Rightarrow C = (\rho_c - \rho_1) / (\rho_2 - \rho_1)$$

□ Контроль перемещения нефтепродуктов **путевым мониторингом плотности** ρ_c и определением **концентрации вытесняющего нефтепродукта**.

Динамика возникновения и роста смеси

➤ Начало отсчета подвижной системы координат – граница первоначального контакта н/п.

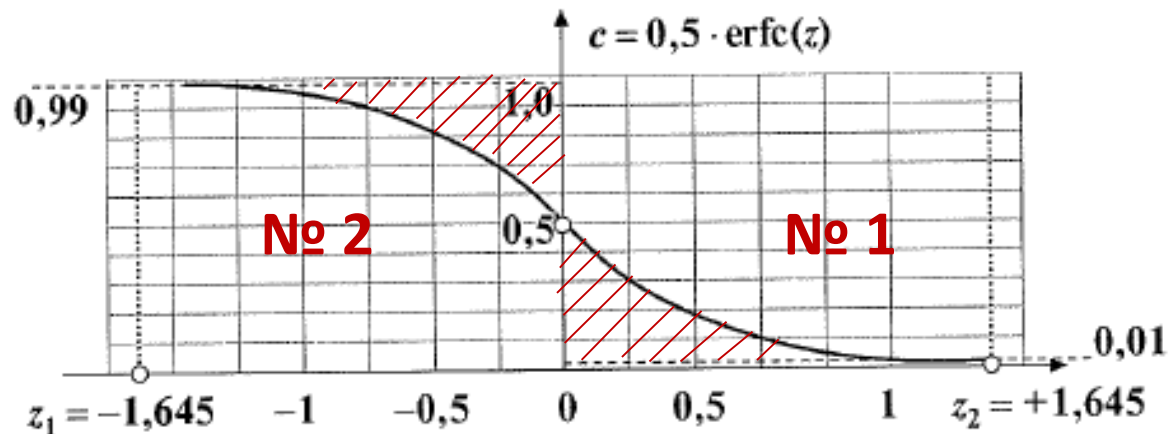
➤ **Начальные условия** для решения дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \Rightarrow \quad C(x, 0) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq 0, \\ 0 & \text{при } x > 0 \end{cases}$$

➤ **Краевые условия:**

$$\begin{cases} C \rightarrow 0 & \text{при } x \rightarrow +\infty \\ C \rightarrow 1 & \text{при } x \rightarrow -\infty \end{cases} \Rightarrow$$

на большом удалении от границы контакта транспортируемых партий (“на бесконечности”) концентрации н/п остаются неизменными $\Rightarrow$
 $C(-\infty, t) = 1$ (слева), $C(+\infty, t) = 0$ (справа)



Динамика возникновения и роста смеси

➤ Решая уравнение $\frac{\partial C}{\partial t} = K_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \Rightarrow$

$$c(x, t) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x/\sqrt{4K_c t}} e^{-\beta^2} d\beta \right)$$

Функция $\text{erfc}(z)$ – эрфик от z (встречается в задачах статистики).

z_1 и z_2 - координаты сечений, ограничивающих область смеси.

$$\text{erfc}(z) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\beta^2} d\beta$$

Для вычисления **$\text{erfc}(z)$**
существуют подробные **таблицы**.

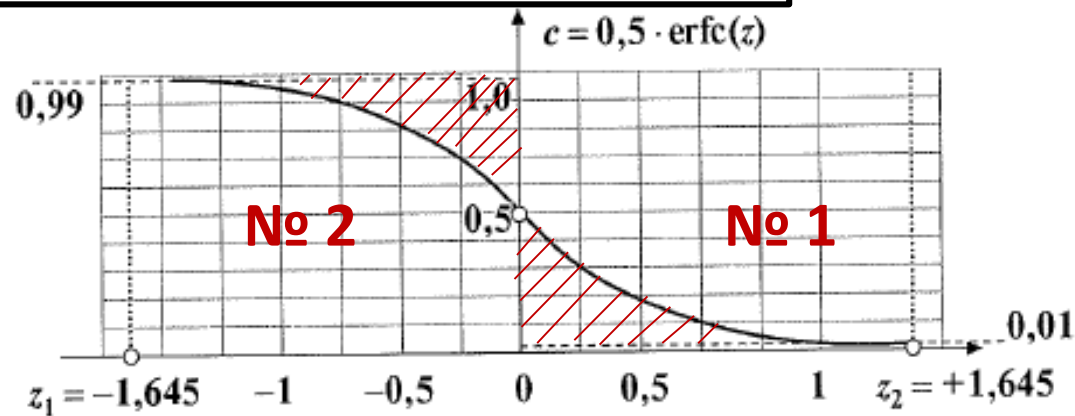
$$c(x, t) = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{4K_c t}} \right) - \text{краткое решение задачи}$$

График функции **$c(z) = 0,5 \text{erfc}(z)$** :

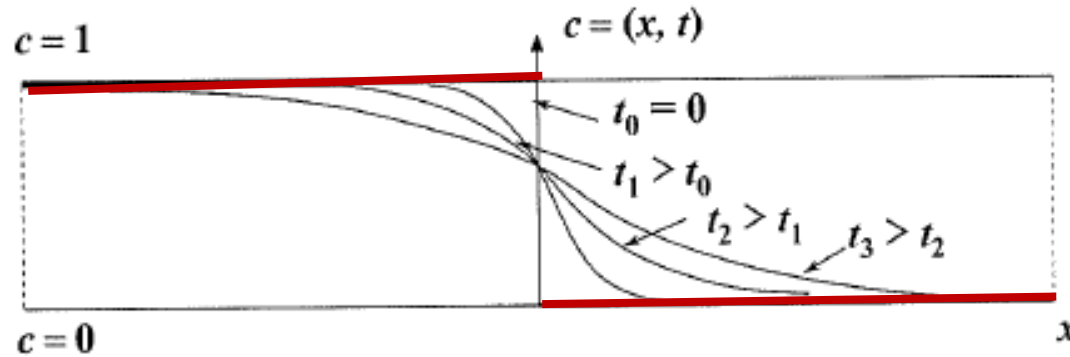
$$\text{erfc}(z_1) = 0,99$$

$$\text{erfc}(0) = 0,5$$

$$\text{erfc}(z_2) = 0,01$$



Кривая распределение концентрации $C(x, t)$ вытесняющего н/п в смеси в различные моменты времени



- ❑ $t_0 = 0 \Rightarrow$ концентрация в виде “ступеньки”: слева $C = 1$, справа $C = 0$;
- ❑ $t > 0 \Rightarrow$ область плавного **перехода от концентрации 1 к концентрации 0**, с ростом t – расширяется



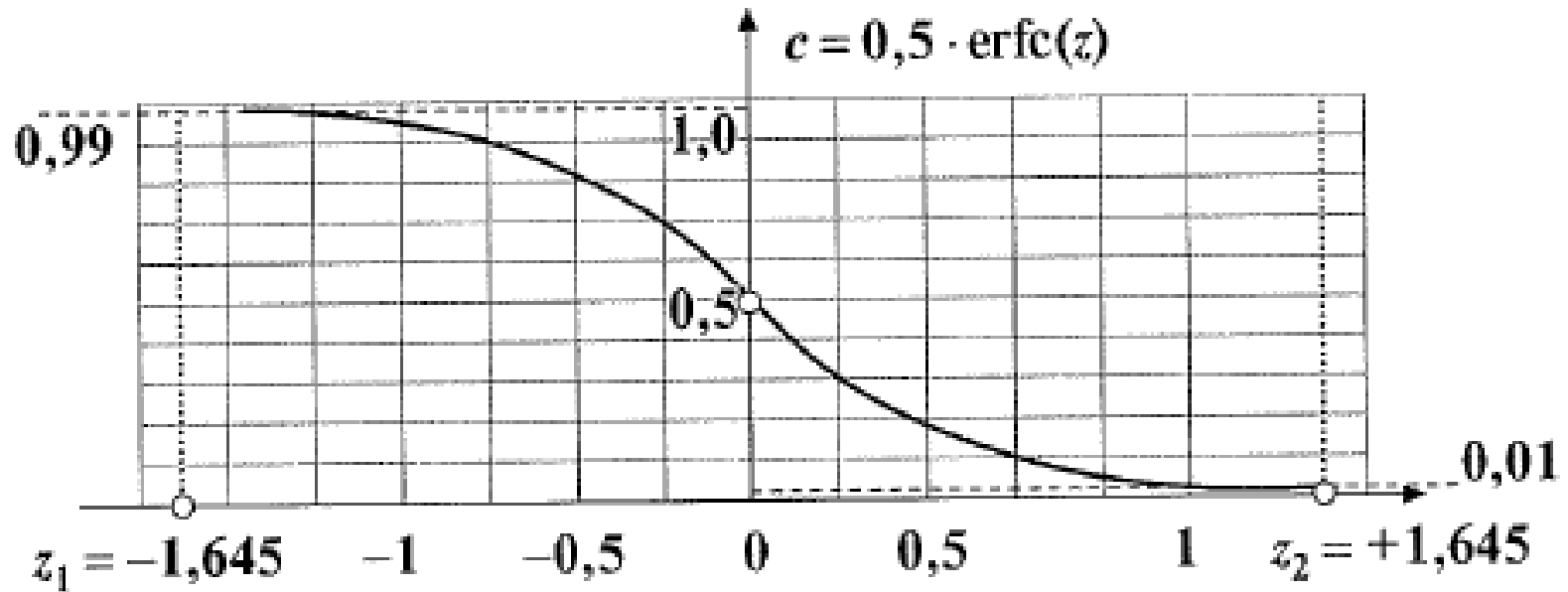
2 недостатка теории:

- 1) В рамках модели смесь н/п как бы мгновенно **распространяется на всю область трубопровода** от $-\infty$ до $+\infty \Rightarrow$ область, в которой происходит существенное **изменение концентрации имеет ограниченные размеры**.
- 2) Кривая распределения концентрации вытесняющего н/п оказывается симметричной; из практики кривая имеет **небольшую асимметрию** и зависит от **порядка следования нефтепродуктов**.

Длина и объем области смеси нефтепродуктов

□ Область смеси определяется как область, в которой концентрации н/п отличны от 0 и 1 $\Rightarrow 0 < C(x, t) < 1 \Rightarrow C_2(C_{**}) < C(x, t) < C_1(C_*)$

, где C_1 и C_2 - верхний и нижний пределы концентрации, соотн



□ $C_2 = 1 - C_1 \Rightarrow$ говорят: смесь н/п в симметричных пределах концентрации, например, от 0,01 до 0,99 (от 1 до 99 %) или от 0,02 до 0,98 (от 2 до 98 %) и т.д.

Разрешив $0,5 \operatorname{erfc}(z) = c_{**}$

относительно z , найдем

$$z = \operatorname{erfc}^{(-1)}(2c_{**}),$$

где символ (-1) означает, что берется функция, обратная функции $\operatorname{erfc}(z)$. Для некоторых пределов концентрации c_{**} значения z приведены в табл.

Учитывая, что $z = x/\sqrt{4K_C t}$, находим длину l_c области смеси в симметричных пределах концентрации:

$$z = \frac{l_c/2}{\sqrt{4K_C t}} = \operatorname{erfc}^{(-1)}(2c_{**})$$

или

$$l_c = 4\sqrt{K_C t} \operatorname{erfc}^{(-1)}(2c_{**}).$$

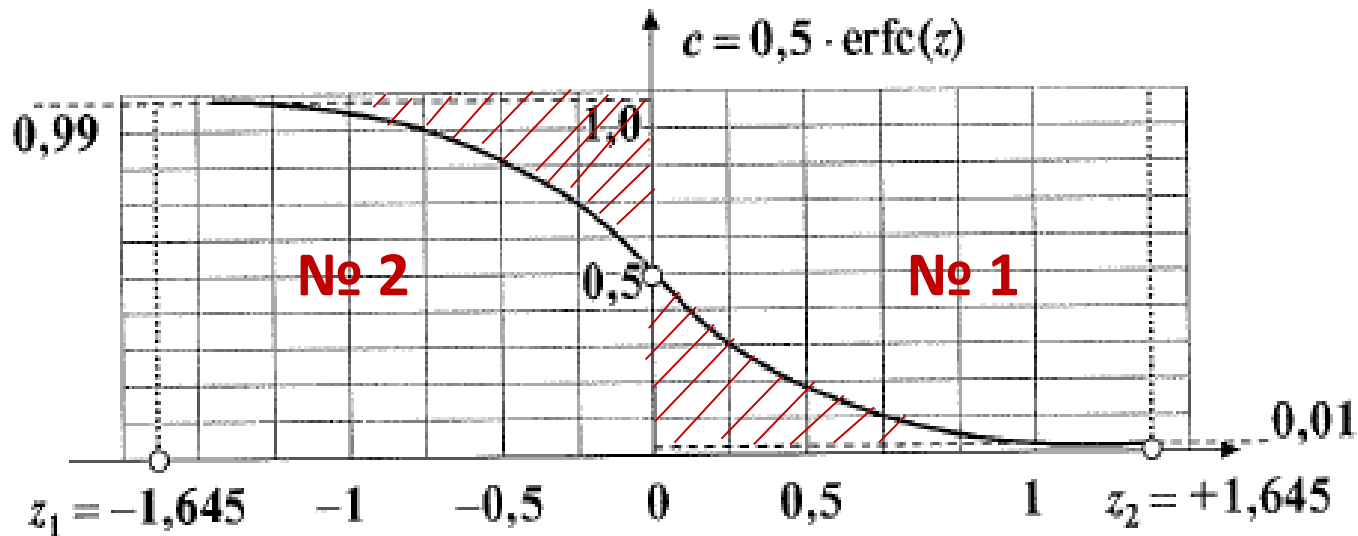
Значения z для некоторых пределов концентрации c_{}**

c_{**}	$z = \operatorname{erfc}^{(-1)}(2c_{**})$	c_{**}	$z = \operatorname{erfc}^{(-1)}(2c_{**})$
0,01	1,645	0,05	1,163
0,02	1,452	0,07	1,044
0,04	1,238	0,10	0,906

!!! Обозначения $C_1(C_*)$ $C_2(C_{})$**

Длина и объем области смеси нефтепродуктов

- рассмотрим нефтепродуктопровод **длиной L** и внутренним **диаметром d** ;
- ведется последовательная перекачка двух нефтепродуктов;
- н/п № 2 вытесняет н/п № 1 с постоянной скоростью v
- при **$t=0$ справа** от начала координат – н/п **№1** ($C \equiv 0$), слева – н/п **№2** ($C \equiv 1$) $\Rightarrow$ отсутствие смеси между ними
- **???** $\Rightarrow$ найти распределение **$C(x, t)$** концентрации вытесняющего н/п при **$t > 0$** и вычислить **объем** области образующейся **смеси**



Для многих приложений длину области смеси определяют в пределах концентрации от 0,01 до 0,99, т.е. от 1 до 99 %. В этом случае $z_2 = 1,645$ и формула для длины области смеси имеет вид

$$l_c = 6,58 \sqrt{K_C t}.$$

Если интересуются длиной области смеси при подходе ее середины к концу трубопровода, т.е. в момент времени $t = L/v$, то

$$l_c = 6,58 \sqrt{K_C \frac{L}{v}} = 6,58 \text{Pe}^{-0,5} L,$$

где $\text{Pe} = vL/K_C$ – безразмерное *число Пекле*.

Объем V_c области смеси в симметричных пределах концентрации находится по формуле

$$V_c = l_c S = 4 \operatorname{erfc}^{(-1)}(2c_{**}) \text{Pe}^{-0,5} V_{\text{тр}}$$

или для $c_{**} = 0,01$

$$V_c = 6,58 \text{Pe}^{-0,5} V_{\text{тр}},$$

где $V_{\text{тр}}$ – объем трубопровода.

Формулы (6.28) и (6.29) при известном значении K_C коэффициента продольного перемешивания позволяют вычислить длину и объем области смеси, образующейся в контакте перекачиваемых нефтепродуктов.

Объем V_c смеси увеличивается по мере увеличения расстояния L перекачки

$$V_c = 6,58 S \sqrt{\frac{K_C}{v}} \sqrt{L}.$$

Длина области смеси:

$$l_{см} = 6,58 \sqrt{\frac{D_{э} L}{v_{см}}}$$

где L - пройденный смесью путь;

$v_{см}$ - скорость смеси.

Объем смеси для продуктов с одинаковой вязкостью:

$$V_{см} \approx 2000 \cdot \lambda^{1,8} \cdot \left(\frac{D}{L}\right)^{0,43} \cdot V_{т/н}$$

Если вязкости продуктов различны:

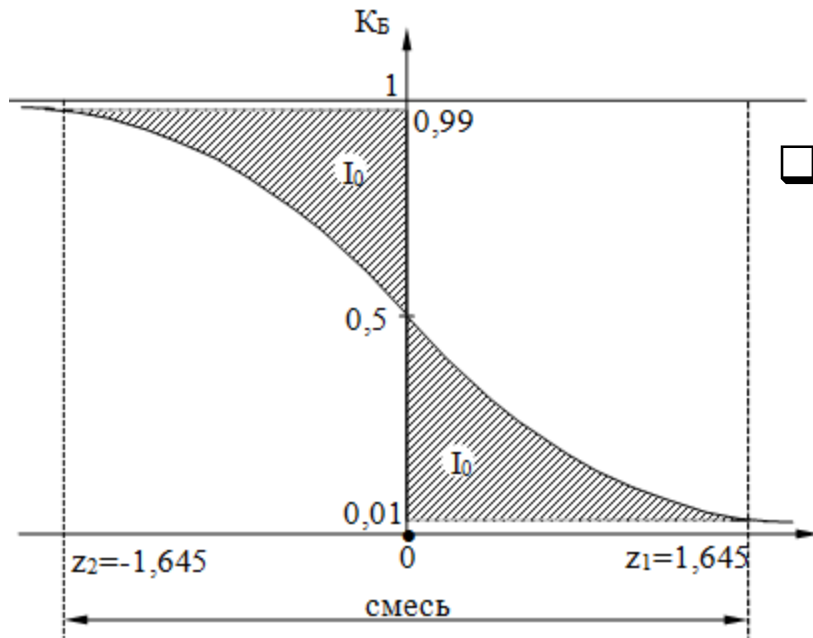
$$V_{см} = 1000 (\lambda_A^{1,8} + \lambda_B^{1,8}) \cdot \left(\frac{D}{L}\right)^{0,43} \cdot V_{т/н}$$

λ - коэффициент гидравлического сопротивления;

D – диаметр трубопровода.

Дэ или K_c - коэффициент продольного перемешивания (эффективный коэффициент диффузии) !!!

Содержание нефтепродуктов в смеси



$J_{1/2}$ и $J_{2/1}$ – объем примеси
НП №1 в НП №2 и наоборот

- Объемы пропорциональны заштрихованным областям.

$$c(x, t) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{4K_c t}} \right)$$

- определение концентрации при
последовательной перекачке в
безостановочном режиме.

График функции
 $c(z) = 0,5 \operatorname{erfc}(z)$

- Концентрация $K_B = 0$ при $z \rightarrow +\infty$ (смесь занимает “весь” трубопровод) – недостаток данной математической модели.
- Для инженерных целей: область смеси – зона, где концентрация продукта Б в продукте А изменяется от 99 до 1 % $\Rightarrow$ при $K_B = 0,01$ $z = 1,645$; $K_B = 0,99$ $z = -1,645$.

Содержание нефтепродуктов в смеси

□ Если сечение $x=0$, разделяющее нефтепродукты, проведено в середине области смеси $\Rightarrow$

объем примеси J одного продукта в другом:

$$J_{1/2} = J_{2/1} = \frac{1}{\pi} \cdot Pe^{-0,5} \cdot V_{\text{тр}}$$

$$V_c = 6,58 \cdot Pe^{-0,5} \cdot V_{\text{тр}}$$

$$J_{1/2} = J_{2/1} = \frac{1}{6,58 \cdot \sqrt{\pi}} \cdot V_c \approx 0,0856 \cdot V_c$$

$Pe = v \cdot L / K_c$ - число Пекле, диффузионный параметр

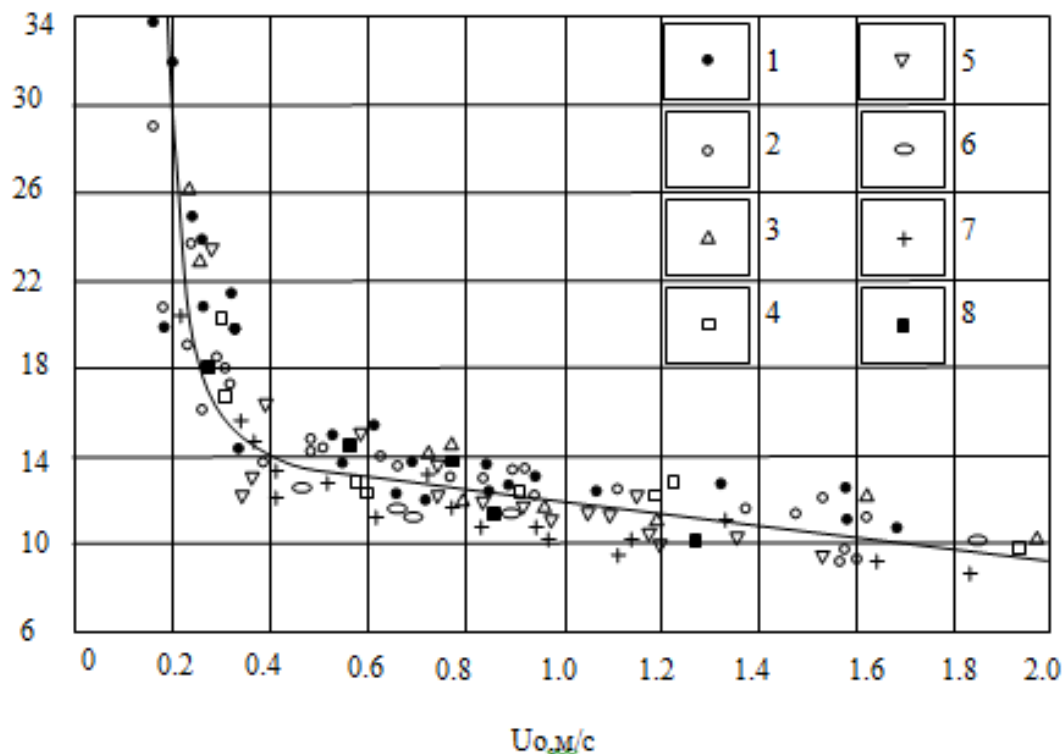
v - скорость перекачки

L - длина трубопровода

Влияние режима перекачки

- ❑ Чем **больше скорость перекачки**, тем объем образующейся **смеси меньше**.
- ❑ Бесконечно увеличивать скорость перекачки нецелесообразно $\Rightarrow$ при скоростях **больше 2 м/с** существенно **возрастают затраты электроэнергии** на перекачку, а **объем смеси уменьшается незначительно**.
- ❑ Минимально допустимые скорости при **D = 300...350 мм - 0,8 м/с**, при **D = 400...500 мм - 0,75 м/с**.

$V_{см}/V_{тр}, \%$

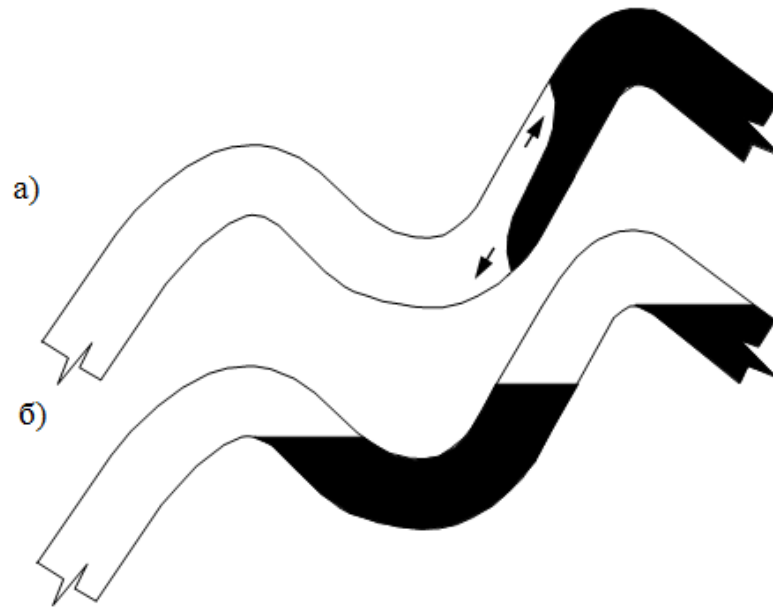


1	$\rho_{лег} = 1$	$\rho_{тяж} = 1,09$
2	$\rho_{тяж} = 1,09$	$\rho_{лег} = 1$
3	$\rho_{лег} = 1$	$\rho_{тяж} = 1,12$
4	$\rho_{т} = 1,12$	$\rho_{лег} = 1$
5	$\rho_{лег} = 0,73$	$\rho_{тяж} = 0,82$
6	$\rho_{тяж} = 0,82$	$\rho_{лег} = 0,73$
7	$\rho_{лег} = 0,73$	$\rho_{тяж} = 0,84$
8	$\rho_{тяж} = 0,84$	$\rho_{лег} = 0,73$

Общая рекомендация:
перекачку нужно вести в **развитом турбулентном режиме**, т.е. при **Re > 10000**.

Влияние остановок перекачки на процесс смесеобразования

- Более тяжелая жидкость (**темная область**) стекает вдоль нижней образующей трубы, а более легкая (**светлая область**) — поднимается вдоль верхней образующей.

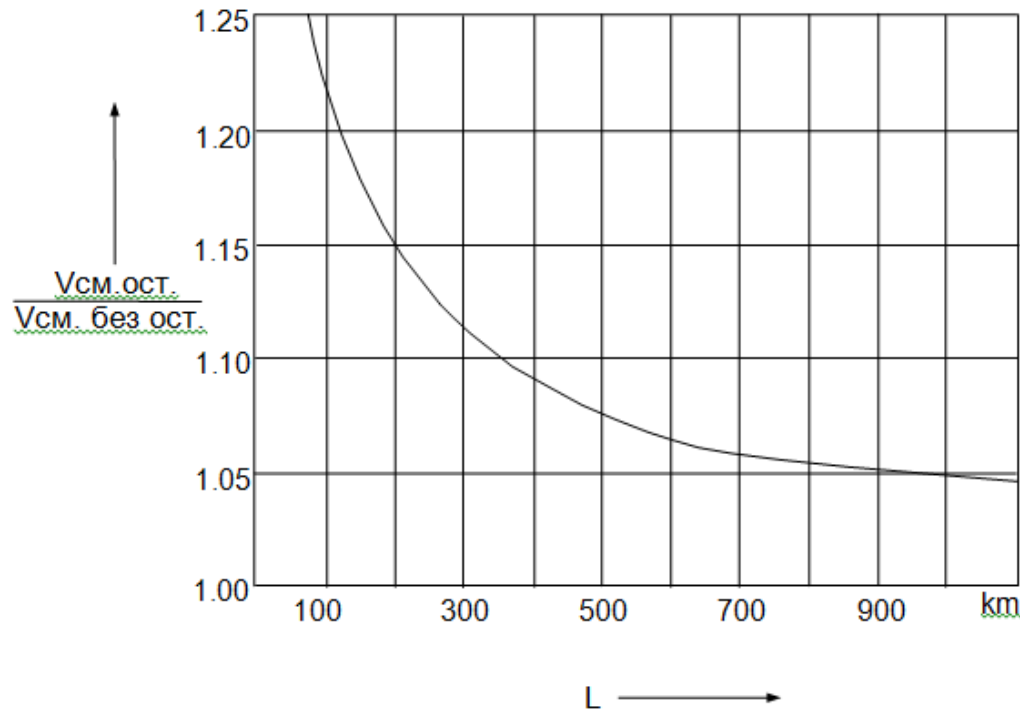


Растекание жидкостей разной плотности при остановках
последовательной перекачки:

а — механизм растекания; б — размещение жидкостей после завершения
растекания

Влияние остановок перекачки на процесс смесеобразования

- Из графика следует, что для коротких трубопроводов при остановках перекачки объем смеси может увеличиваться на 25 %.



Влияние остановок перекачки на увеличение объема смеси

Влияние конструктивных особенностей обвязки перекачивающих станций

- ❑ **первичная технологическая смесь:** период когда обе задвижки будут открыты и в насос одновременно поступают две разные жидкости, которые смешиваются между собой во всасывающем трубопроводе и корпусе насоса
- ❑ для количественной оценки влияния конструктивных особенностей обвязки перекачивающих станций на общий объем смеси в конце трубопровода рекомендована формула:

$$\frac{V_{\text{см. перв.}}}{V_{\text{см}}} = \sqrt{1 + \frac{P_e}{16 \cdot Z^2} \left(\frac{V_{\text{о.см}}}{V_{\text{тр}}} \right)^2}$$

где $V_{\text{см}}$, $V_{\text{см.перв.}}$ – объем смеси, образующейся в трубопроводе длиной L , соответственно без учета и с учетом первичной смеси;

$V_{\text{о.см.}}$ – объем первичной смеси.

Влияние объема партий перекачиваемых жидкостей

- ❑ чем меньше объемы партий, тем больше число контактов перекачиваемых жидкостей и, следовательно, тем больше общий объем смеси
- ❑ препятствие для бесконечного увеличения объема партий – необходимость увеличения объема РП для накопления соответствующих запасов жидкостей, а также соблюдения графика их поставки потребителям

Влияние соотношения вязкостей жидкостей

- ❑ при последовательной перекачке жидкостей, существенно отличающихся по вязкости, количество смеси увеличивается
- ❑ при формировании цикла необходимо стремиться, чтобы соседние жидкости были близки по вязкости

Применение разделителей при последовательной перекачке

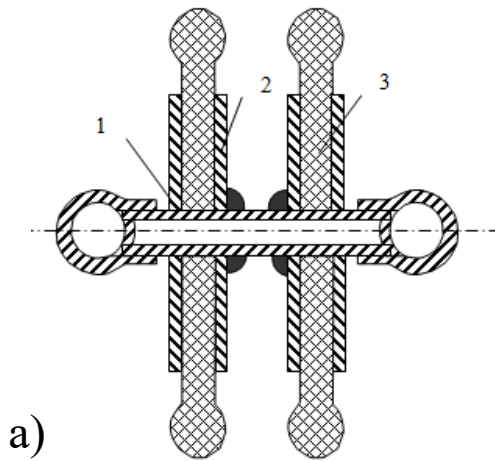
Применяют разделители двух основных типов: **жидкие и твердые.**

Жидкие разделители: жидкости, которые не смешиваются с нефтью и нефтепродуктами, не образуют с ними эмульсий, легко перекачиваются насосами и не расслаиваются при движении по трубопроводам.

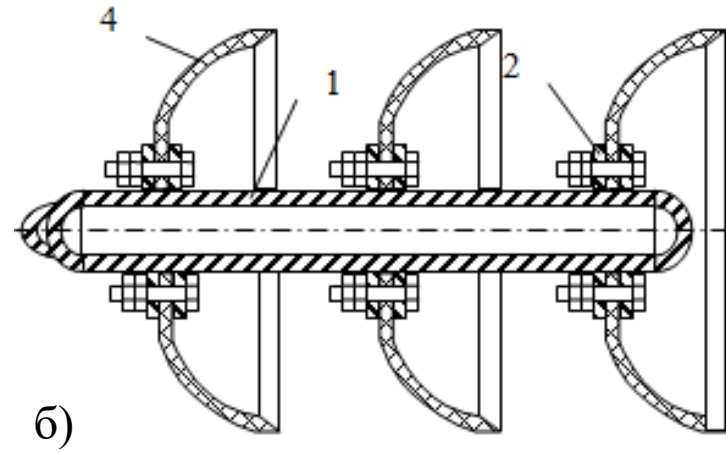
Механические разделители: наиболее распространенный способ разделения последовательно перекачиваемых жидкостей.

Применение разделителей при последовательной перекачке

- простой по конструкции **дисковый разделитель** (а)
- упругие элементы дискового разделителя имеют диаметр больше внутреннего диаметра трубопровода
- компенсация износа осуществляется только за счет упругости материала
- объем образующейся смеси может быть сокращен до 50 %



- **манжетный разделитель** (б):
уплотнительные элементы выполнены в виде манжет

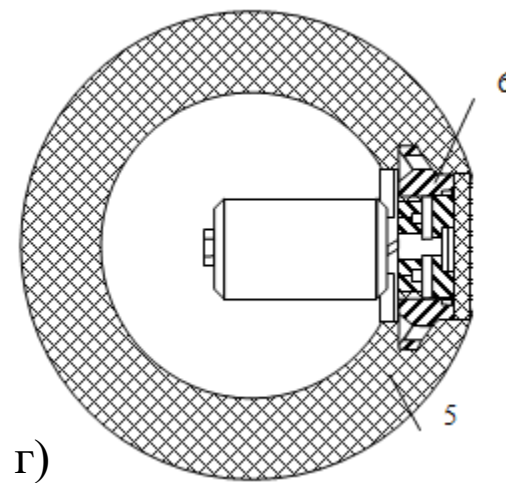
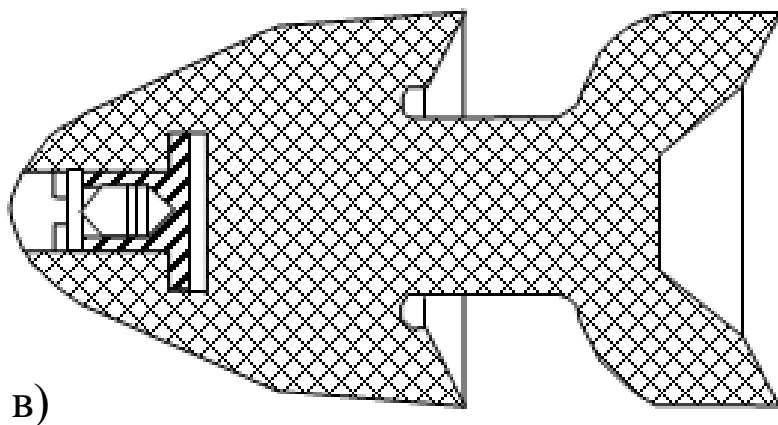


Разделители, применяемые при последовательной перекачке: а) дисковый; б) манжетный; 1 – штанга; 2 – металлический диск; 3 – диск из упругого материала; 4 – манжета;

Применение разделителей при последовательной перекачке

- ❑ для трубопроводов малого диаметра (до 150 мм) успешно применяются литые **эластичные манжетные разделители** (в) при ламинарном режиме перекачки объем образующейся при этом смеси не превышает 0,15 % от объема трубы

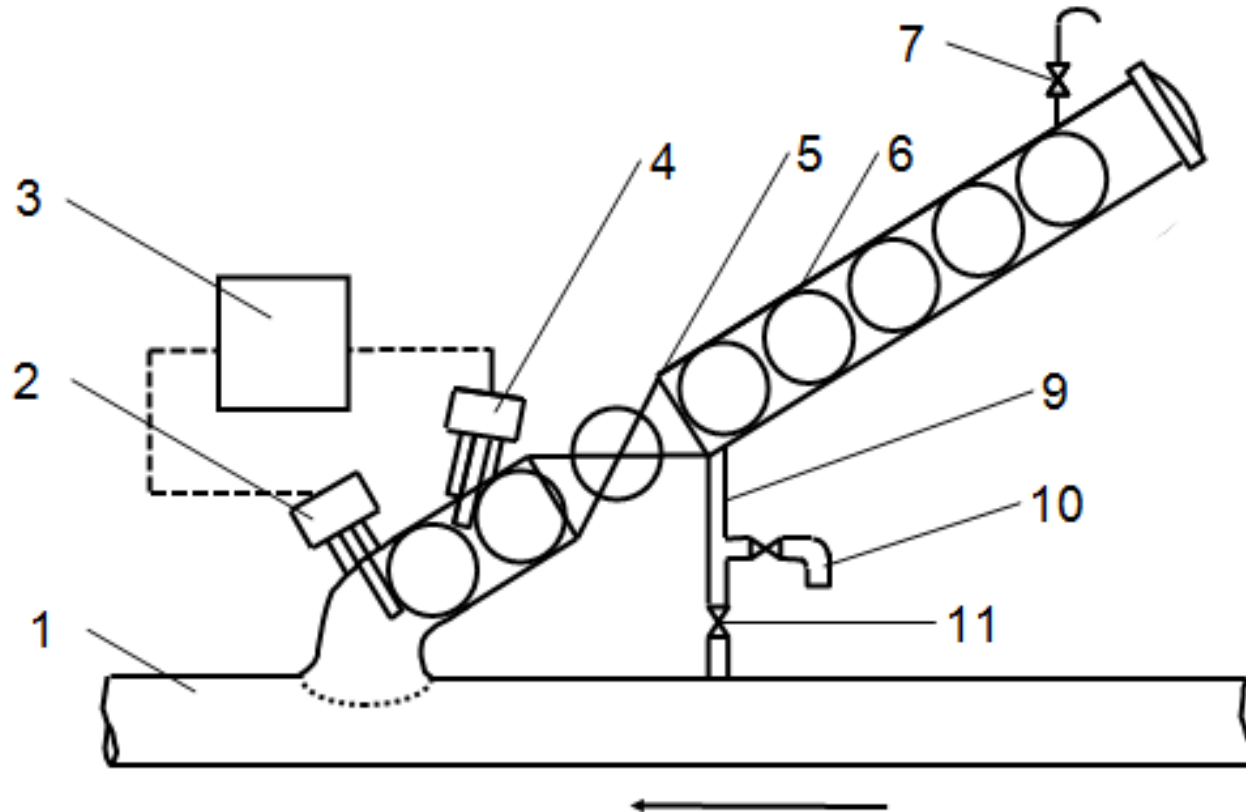
- ❑ **шаровые разделители** (г): высокая проходимость и равномерный износ поверхности
- ❑ запуск и прием может осуществляться автоматически $\Rightarrow$ позволяет быстро и точно вводить необходимое число разделителей в зону контакта последовательно перекачиваемых жидкостей



Разделители, применяемые при последовательной перекачке:

в) литой манжетный; г) шаровый; 5 - толстостенная оболочка; 6 - обратный клапан

Применение разделителей при последовательной перекачке



Устройство для запуска шаровых разделителей с помощью регулируемых плунжеров: 1 – трубопровод; 2, 4 – регулирующие плунжеры; 3 – реле времени; 5, 9 – 11 – задвижка; 6 – кассета; 7 – вантуз; 8 – концевой затвор

Контроль смеси по изменению плотности

- Плотность смеси жидкостей А и Б определяется по правилу аддитивности:

$$\rho_{см} = \rho_A \cdot K_A + \rho_B \cdot K_B$$

где ρ_A, ρ_B – плотности чистых жидкостей А и Б;

K_A, K_B – их концентрации в смеси

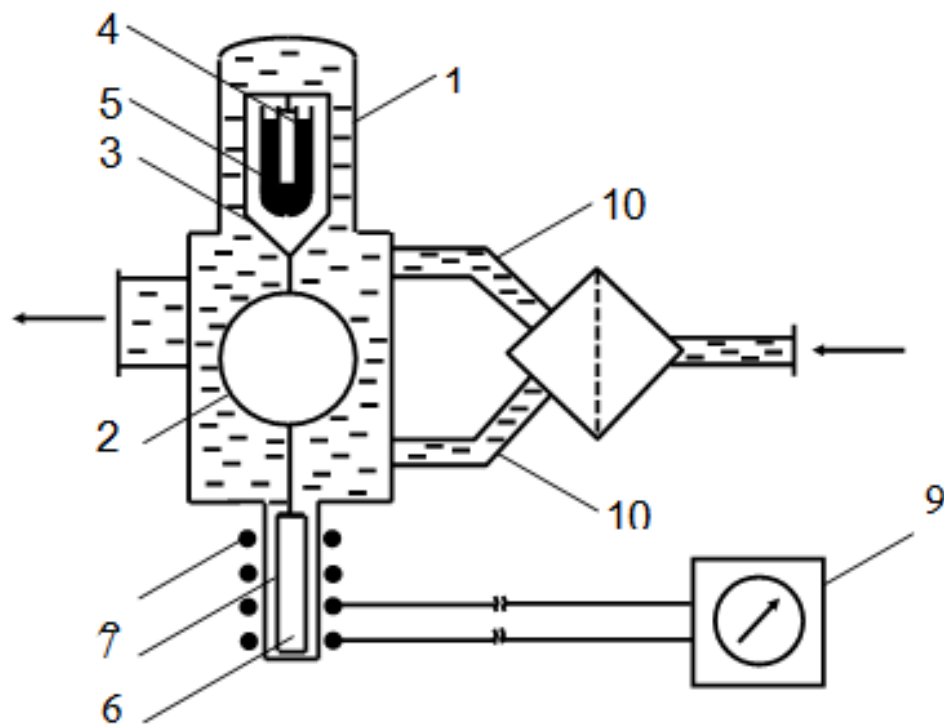
- Концентрации жидкостей А и Б в любом сечении связаны формулой: $K_A + K_B = 1$

$$K_A = \frac{\rho_{см} - \rho_B}{\rho_A - \rho_B} \qquad K_B = \frac{\rho_{см} - \rho_A}{\rho_B - \rho_A}$$

- Если непрерывно измерять $\rho_{см}$, то при заданных величинах ρ_A и ρ_B , и с учетом, что $K_B = 1 - K_A$, нетрудно найти мгновенные концентрации чистых жидкостей в рассматриваемом сечении.

Контроль смеси по изменению плотности

- Приборы для непрерывного (автоматического) измерения плотности перекачиваемой жидкости



Поплавковый плотномер конструкции НИИ Транснефть

1– корпус; 2 – поплавок; 3 – петля; 4 – эбонитовый стержень; 5 – сосуд с ртутью; 6 – плунжер; 7– трубка из немагнитного материала; 8 – катушка индуктивности; 9 – вторичный прибор

Контроль смеси по изменению плотности

- ❑ Контроль смеси по изменению плотности не всегда приемлем, (нередко производится последовательная перекачка нефтепродуктов близкой плотности)

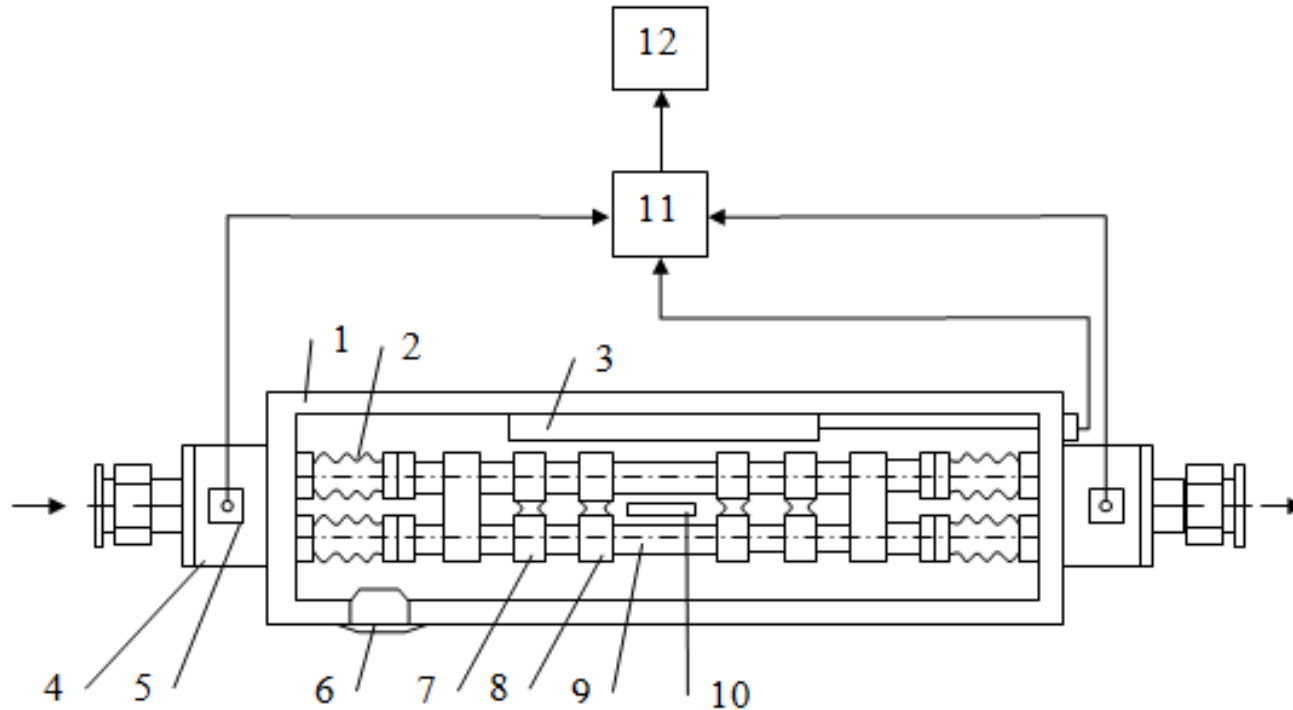
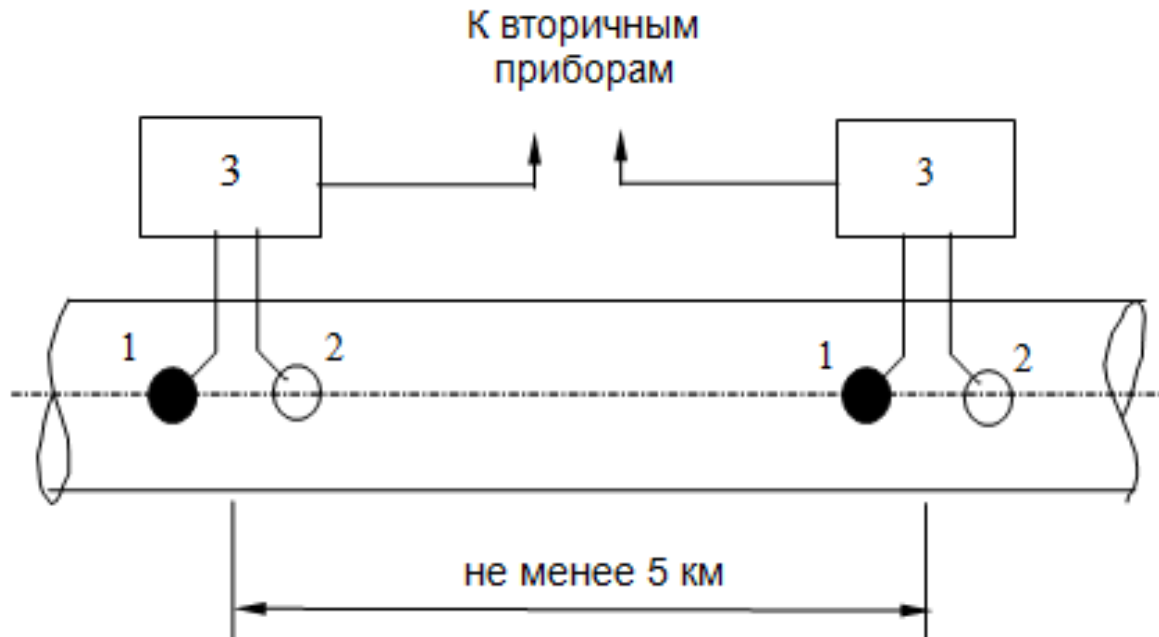


Схема плотномера АИП

1 – преобразователь; 2 – сильфон; 3 – усилитель; 4 – распределитель;
5 – термодпары сопротивления; 6 – влагопоглотитель; 7, 8 – упругие
перемычки; 9 – трубка чувствительного элемента; 10 – электромагнит;
13 – блок питания; 12 – вторичная аппаратура

Контроль смеси по величине диэлектрической постоянной

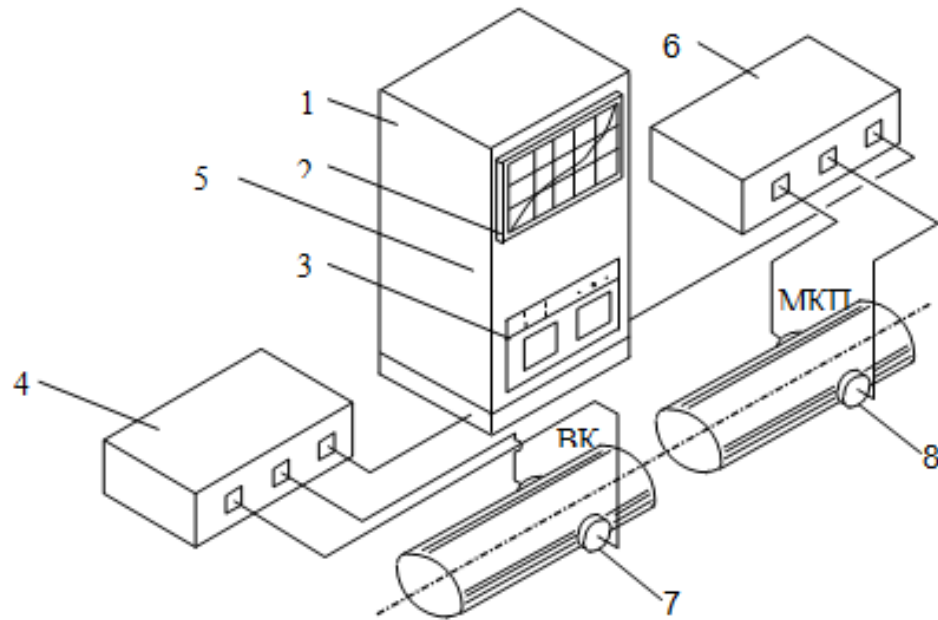
- Диэлектрические постоянные нефтепродуктов различаются. У бензинов она составляет от 1,829 до 1,942, у керосина – от 1,989 до 2,088, у дизтоплива – от 2,054 до 2,097.



Контроль смеси по величине диэлектрической постоянной
1 – непроточный датчик; 2 – проточный датчик;
3 – сопоставитель емкостей

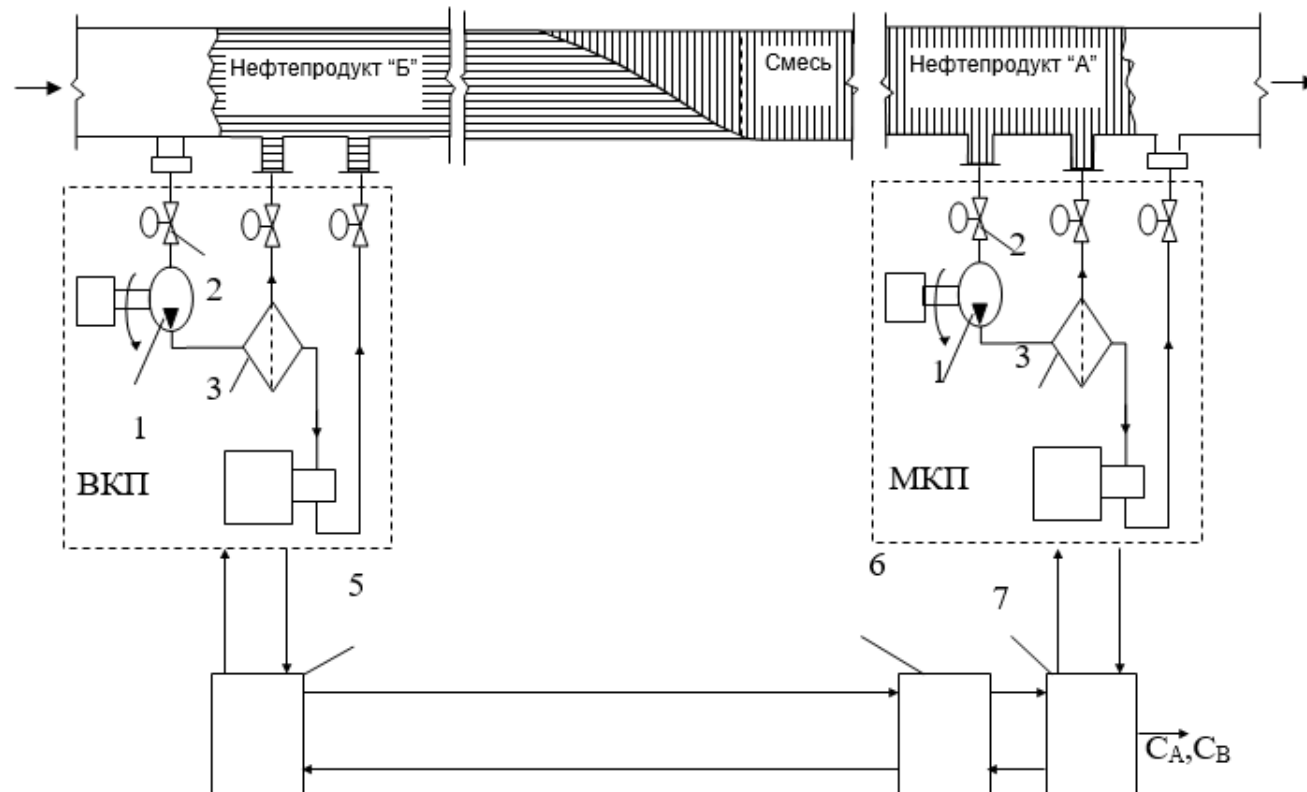
Контроль смеси по скорости распространения ультразвука

- ❑ Скорость распространения ультразвука в различных нефтях и нефтепродуктах существенно различна



Комплект приборов для контроля смеси по скорости распространения ультразвука: 1 – катушка; 2 – акустический излучатель; 3 – приемник; 4 – передающий преобразователь; 5 – вторичная аппаратура

Контроль смеси по скорости распространения ультразвука

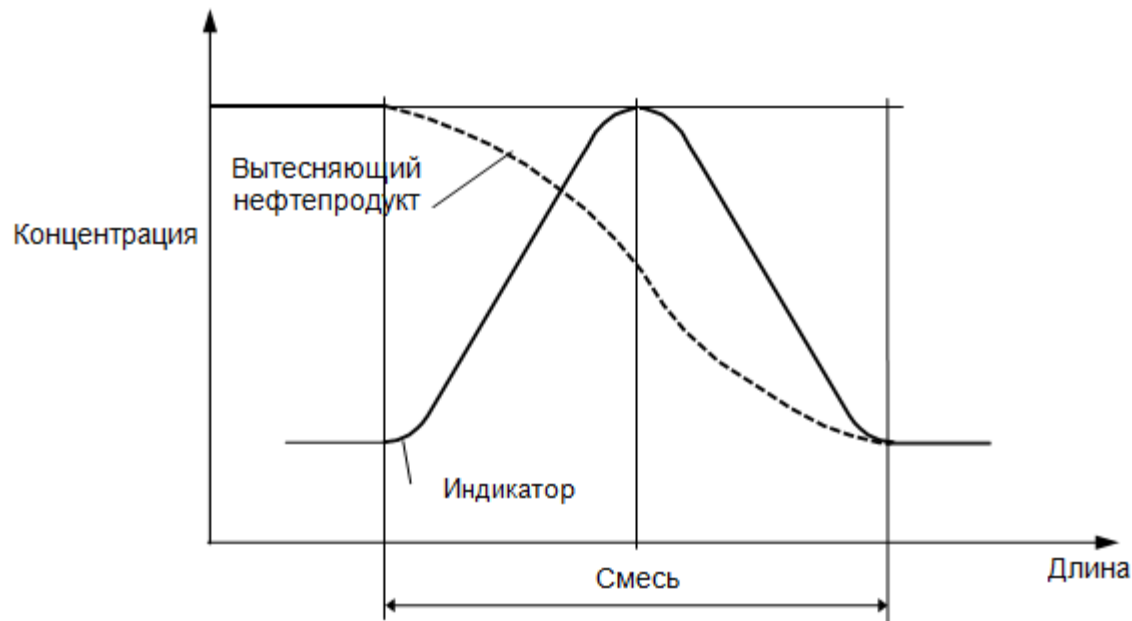


Структурно-функциональная схема ИИС "Компаунд"

1, 2, 4 – элементы отбора и подготовки пробы; 3 – ультрафиолетовый абсорбционный фотомер; 5, 6 – каналы телемеханики; 7 – устройство контроля, управления и обработки информации

Контроль смеси с помощью индикаторов

- ❑ **Индикаторный метод:** в зону контакта двух последовательно перекачиваемых жидкостей помещается вещество-индикатор, которое распределяется по длине зоны смеси в соответствии с законами распределения примеси
- ❑ **Вещества-индикаторы:** радиоактивные изотопы, красители и др.



Распределение примеси по длине смеси

Контроль смеси с помощью индикаторов

Общие требования к индикаторам:

- ☐ они не должны вступать в химическую реакцию с нефтепродуктами, выпадать в осадок, оседать на внутренней стенке трубопровода, вредно воздействовать на эксплуатационный персонал;
- ☐ должны быть доступными по стоимости, применение их для контроля не должно вызвать усложнения и значительного удорожания перекачки.

Имеются также приборы контроля смеси, основанные на **различии вязкости, температуры вспышки** и иных параметров последовательно перекачиваемых нефтепродуктов.

Сравнительная характеристика некоторых методов контроля последовательной перекачки

Параметры	Величина параметров при методе контроля				
	по оптической плотности	по плотности, кг/м ³	по вязкости, мм ² /с	по скорости распространения ультразвука, м/с	по диэлектрической проницаемости
Максимальный диапазон изменения показателей нефтепродуктов для смеси					
бензин – ДТ	0,925–1,155	705–860	0,55–8,00	1130–1390	1,82–2,10
бензин – бензин	0,025–0,430	705–750	0,55–0,67	1130–1190	1,82–1,94
ДТ – ДТ	0,755–1,155	825–860	2,20–8,00	1375–1390	2,05–2,10
Относительная погрешность для смеси, %					
бензин – ДТ	±1,1	±1,4	±2,6	±13,3	+18,7
бензин – бензин	+1,1	+4,2	+18,9	+49,0	+40,0
ДТ – ДТ	+3,0	+6,1	+3,4	+50,0	+50,0

Источник: Думболов Д.У., Дроздов Д.А. Основные подходы к определению объема смеси и новый метод ее идентификации при последовательной перекачке нефтепродуктов // Территория НЕФТЕГАЗ.- № 8, 2012

Прием и реализация смеси на конечном пункте трубопровода

❑ Образующаяся в нефтепродуктопроводе смесь перекачиваемых последовательно нефтепродуктов принимается на конечном пункте трубопровода **одним из следующих способов:**

- 1) добавляется в резервуары с чистыми нефтепродуктами;
- 2) принимается в отдельный резервуар (но затем все равно добавляется в резервуары с чистыми нефтепродуктами).

Прием и реализация смеси на конечном пункте трубопровода

□ **Предельно допустимые концентрации** дизельного топлива в бензине θ_d и наоборот θ_b в процентах могут быть рассчитаны по формулам:

$$\theta_d = \frac{([t_{kk}] - t_{kk})([t_{kk}] + t_{kk} - 248)}{28(\rho_d - 753)}$$

$$\theta_b = \frac{1135}{t_b + 55} \lg \frac{t_b}{[t_b]}$$

где

$[t_{kk}, t_b]$ – температуры соответственно конца кипения бензина и вспышки дизельного топлива, установленные ГОСТ, °С;

t_{kk}, t_b – фактические величины указанных температур, °С;

ρ_d – плотность дизельного топлива при температуре 20 °С, кг/м³.

Прием всей смеси в один резервуар

□ **Объем смеси**, которую можно добавить в резервуары с чистыми нефтепродуктами без ущерба для их качества, подсчитывается по формулам:

$$V_{\text{см}_A} = V_{\text{рА}} \cdot \frac{K_{\text{брА}}}{K_{\text{Б}}}$$

$$V_{\text{см}_Б} = V_{\text{рБ}} \cdot \frac{K_{\text{арБ}}}{K_{\text{А}}}$$

где

$V_{\text{см}_A}$, $V_{\text{см}_Б}$ – объемы смеси, принимаемые в резервуары с товарным нефтепродуктом соответственно А и Б;

$V_{\text{рА}}$, $V_{\text{рБ}}$ – объемы товарных нефтепродуктов А и Б в резервуарах, в которые добавляется смесь;

$K_{\text{брА}}$, $K_{\text{арБ}}$ – допустимые концентрации нефтепродуктов соответственно Б и А в резервуарах с товарными нефтепродуктами соответственно А и Б.

Прием и реализация смеси на конечном пункте трубопровода

Ориентировочные предельно допустимые концентрации θ одних нефтепродуктов в других, %

Нефтепродукт	Предельно-допустимые концентрации				
	Аи-80	Л	З	КТр	ТРД
Бензин Аи-80	1	0,0015	0,002	0,005	0,01
Дизельное топливо летнее (Л)	0,0015	1	0,005	0,005	0,01
Дизельное топливо зимнее (З)	0,002	0,55	1	0,1	0,05
Керосин тракторный (КТр)	0,03	0,015	0,03	1	–
Топливо для реактивных двигателей (ТРД)	–	–	–	–	1

Деление смеси пополам

- ❑ Деление смеси пополам применяют для того, чтобы не допустить изменения количества закачиваемых в трубопровод нефтепродуктов.
- ❑ Минимальный объем партии чистого нефтепродукта определяется как сумма минимальных объемов, требуемых для реализации половины смеси в каждом контакте.

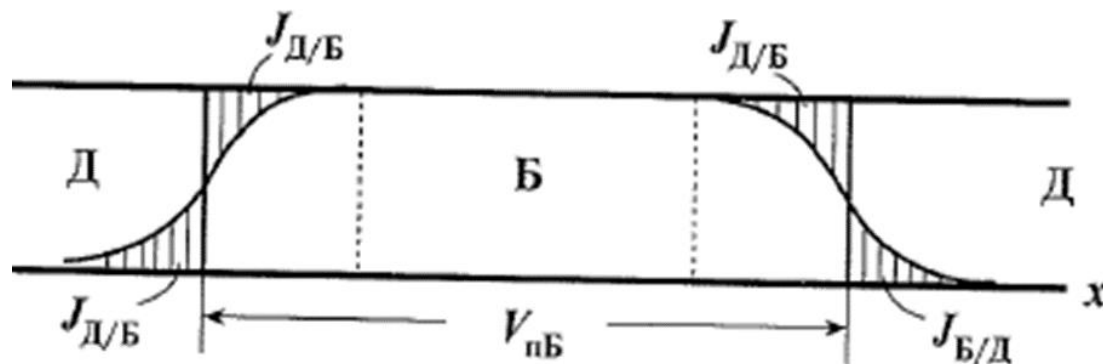
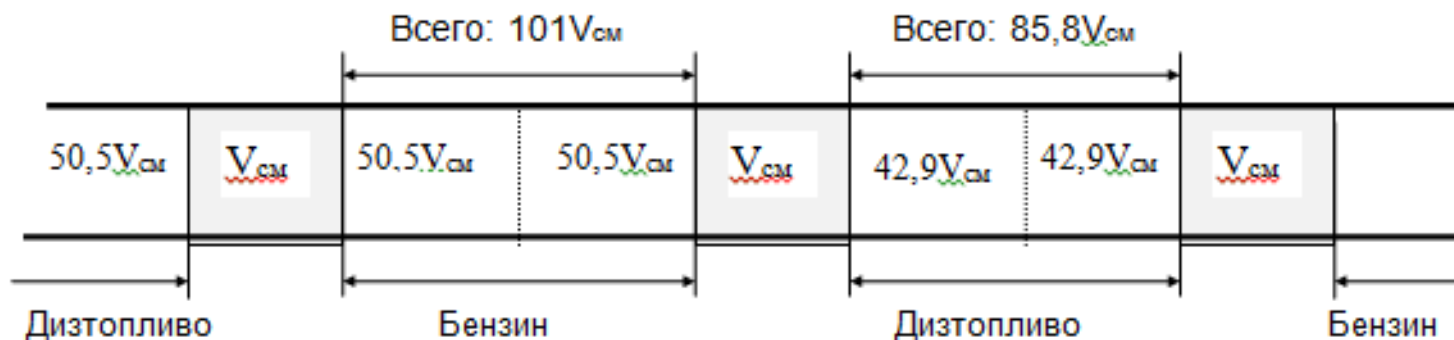


Схема к определению минимальной партии нефтепродуктов



Прием всей смеси в один чистый нефтепродукт

Принимать всю смесь в один чистый нефтепродукт возможно при контакте, например, топлива ТС-1 и бензина. Концентрация топлива ТС-1 в бензине в этом случае равна:

$$K_{\text{ТС-1}} = \frac{0,5 \cdot V_{\text{см}}}{V_{\text{Б}}}$$

Так как из условия сохранения качества бензина должно выполняться условие $K_{\text{ТС-1}} \leq \theta_{\text{ТС-1}}$, то можем записать:

$$0,5 \cdot \frac{V_{\text{см}}}{V_{\text{Б}}} \leq \theta_{\text{ТС-1}}$$

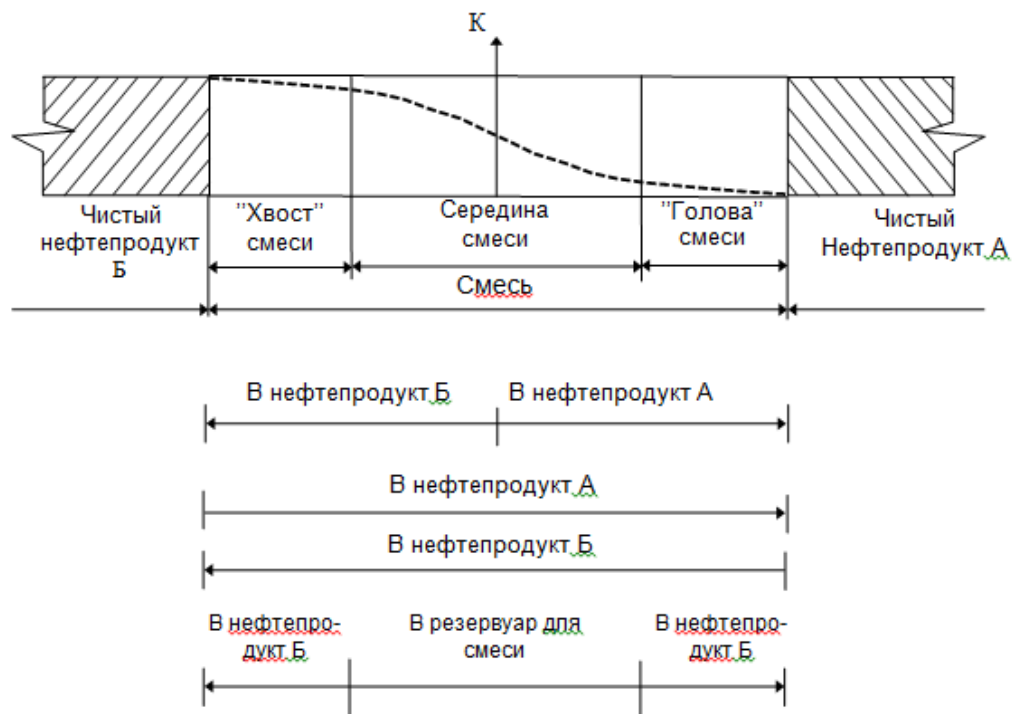
где $\theta_{\text{ТС-1}}$ - допустимая концентрация топлива ТС-1 в бензине,
 $\theta_{\text{ТС-1}} = 0,02$.

Отсюда допустимый необходимый объем чистого бензина для принятия в него всей смеси составит: $V_{\text{Б}} \geq \frac{0,5}{\theta_{\text{ТС-1}}} \cdot V_{\text{см}} = \frac{0,5}{0,02} \cdot V_{\text{см}} = 25 \cdot V_{\text{см}}$

т.е., более, чем в 6 раз больше, чем при делении смеси пополам.

Деление смеси на три неравные части

Данный способ деления смеси применяется при фиксированных объемах партий нефтепродуктов, когда эти объемы недостаточны для деления смеси пополам



Варианты распределения смеси по товарным нефтепродуктам

- 1-деление смеси пополам; 2-прием всей смеси в один из нефтепродуктов;
- 3-деление смеси на три неравные части

Деление смеси на три неравные части

Объем нефтепродукта Б в «голове» смеси равен:

$$V_B = Q \int_0^{\tau_r} K_B d\tau$$

где Q - расход перекачки.

Обозначив объем чистого нефтепродукта А в резервуаре, куда принимается «голова» смеси, через V_{pA} , можем записать условие сохранения его качества:

$$\frac{V_B}{V_{pA}} \leq \theta_B$$

После простых преобразований получаем условие для определения времени отсечки «головы» смеси:

$$\int_0^{\tau_r} K_B d\tau \leq \frac{Q_B V_{pA}}{Q}$$

Определение числа циклов последовательной перекачки

Максимально возможное число циклов перекачки i -го нефтепродукта из условия материального баланса составляет:

$$\Pi_i = \frac{\xi_i \cdot G_{\text{год } i}}{k \cdot \rho_i \sum_{j=1} V_{\min ij}}$$

где ξ_i - доля i -го нефтепродукта, которая доходит до конечного пункта трубопровода, в связи с наличием путевых сбросов, $\xi_i < 1$;

$V_{\min ij}$ - минимально возможный объем j -той партии i -го нефтепродукта из условия реализации образовавшейся смеси;

K - число партий i -го нефтепродукта в цикле.

Определение необходимого объема резервуарной емкости

Объем резервуарного парка для него должен быть равен:

$$V_i = \frac{Q_i}{\eta} (T - t)$$

где η - коэффициент заполнения (использования емкости) резервуаров.

Время перекачки i -го нефтепродукта найдем из уравнения материального баланса:

$$\eta \cdot V_i + q_i \cdot t_i - Q_i \cdot t_i = 0$$

где первое слагаемое – полезный объем i -того нефтепродукта в резервуарах, второе – **объем i -того нефтепродукта**, принятого за время t_i , третье – объем i -того нефтепродукта, закачиваемого за время t_i в нефтепродуктопровод.

Определение необходимого объема резервуарной емкости

Вместимость резервуарного парка ГПС должна определяться по формуле:

$$V_{гпс} = \frac{K_H \cdot K_M}{\eta \cdot \psi} \sum_{i=1}^m V_{год i} \cdot \left(1 - \frac{q_i}{Q_i}\right)$$

где K_H - коэффициент неравномерности поступления нефтепродуктов в резервуары ГПС, $K_H=1,3$;

K_M - коэффициент неравномерности работы трубопровода,

$K_M = 1,1$.

Найденная величина $V_{гпс}$ **не должна быть меньше 3-х суточного объема перекачки** нефтепродуктов по трубопроводу.

По аналогии вместимость резервуарного парка на конечном пункте определяется по формуле:

$$V_{кп} = \frac{K_M \cdot K_p}{\eta \cdot \psi} \sum_{i=1}^m V_{год i}^k \cdot \left(1 - \frac{q_i^k}{Q_{max}^k}\right)$$