

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СЛИВА ВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

А.Н. Гурбанов

НИПИ «Нефтегаз» ГНКАР; Азербайджан, Аз. 1123, г. Баку, тел. (99412) 3735393,  
e-mail: q a b d u l a g a @ m a i l . r u

*Для выполнения технологических операций с наливания и сливания нефтепродуктов на нефтебазах будут созданы специальные сооружения и применяются различные технологии в зависимости от вязкости нефтепродуктов.*

*Для высоковязких нефтепродуктов с целью удаления твердых остатков рекомендуется система верхнего размыва с применением специальных устройств. Система слива позволяет одновременно с нижним циркуляционным разогревом.*

*Принцип работы устройства основан на объединении операций по подогреву и сливу вязких нефтепродуктов в один технологический процесс с использованием явления рекуперации тепловой энергии. Циркуляция продукта предотвращает его застывание и обеспечивает надежность сливной системы.*

*Для оптимизации сливных операций применена система автоматизации. С применением АСУ ТП усовершенствуется процесс сливных операций высоковязких нефтепродуктов.*

*Указанная технология предусматривает возможность снижения продолжительности слива высоковязких продуктов в зимнее время примерно в два раза. Главное преимущество устройства системы верхнего размыва - обеспечение планируемого объема перевалки высоковязких нефтепродуктов.*

**Ключевые слова:** мазут, сливные операции, высоковязкие нефтепродукты, разогрев, застывание, вязкость.

*Для выполнения технологических операций по наливу и сливу нефтепродуктов на нефтебазах строят специальные сооружения и применяют различные технологии в зависимости от вязкости нефтепродуктов.*

*Для высоковязких нефтепродуктов с целью удаления твердых остатков рекомендуется система верхнего размыва с применением специальных устройств. Система слива предусматривает возможность использования системы верхнего размыва для размывания твердых остатков мазута одновременно с нижним циркуляционным разогревом.*

*Принцип работы устройства основан на объединении операций по подогреву и сливу вязких нефтепродуктов в один технологический процесс с использованием явления рекуперации тепловой энергии. Циркуляция продукта предотвращает его застывание и обеспечивает надежность сливной системы.*

*Для оптимизации сливных операций применена система автоматизации. С применением АСУ ТП усовершенствуется процесс сливных операций высоковязких нефтепродуктов.*

*Указанная технология предусматривает возможность снижения продолжительности слива высоковязких продуктов в зимнее время примерно в два раза. Главное преимущество устройства системы верхнего размыва - обеспечение планируемого объема перевалки высоковязких нефтепродуктов.*

**Ключевые слова:** мазут, сливные операции, высоковязкие нефтепродукты, разогрев, застывание, вязкость.

*Special facilities are built at oil depots to perform the technological operations of oil handling and different technologies are used depending on petroleum products viscosity.*

*The upper washout system using special devices is recommended for highly viscous oil products for the purpose of solid residues washing-out. The discharge system allows employing the upper washout system for washing-out solid residues simultaneously with lower circulating heating.*

*The operating principle of the device is based on a combination of heating-up and unloading operations of viscous oil products into a single process using the phenomenon of thermal energy regeneration. The product circulation is aimed at preventing its solidification and ensures reliable performance of discharge system.*

*Automation system is applied to optimize the discharge operations. PCS (Process Control System) has improved the process of discharge operations of high-viscosity oil products.*

*The applied technology allows reducing the duration of high viscosity products unloading in two times in wintertime. The main advantage of the upper washout system – is provision the planned transshipment volume of high-viscosity petroleum products.*

**Key words:** fuel oil, discharge operations, high viscosity petroleum products, heating, hardening, viscosity.

**Введение.** Значительное количество нефти и нефтепродуктов доставляется железнодорожным, водным и автомобильным видами транспорта. При использовании любого из них невозможно обойтись без сливо-наливных операций.

Для обеспечения процесса слива и налива нефтепродуктов, транспортируемых железно-

дорожным транспортом, используется железнодорожная сливо-наливная эстакада.

Перевалка высоковязких нефтепродуктов, в том числе мазута, – операция достаточно сложная и ответственная, требующая наличия современного оборудования с целью сокращения времени разгрузки цистерны и обеспечения полноты слива, способного обеспечить без-

опасность выполняемых технологических операций.

Транспортировка высоковязких нефтепродуктов связана со значительными временными и денежными затратами. Такие затраты являются следствием длительной транспортировки до пункта слива и, как правило, необходимости предварительного разогрева продукта в цистернах перед разгрузкой.

Для выполнения технологических операций по наливу и сливу вагонов-цистерн на нефтебазах строят специальные сооружения и применяют различные технологии в зависимости от вязкости нефти и нефтепродуктов и степени их пожарной опасности и взрывоопасности.

**Анализ современных зарубежных и отечественных исследований.** Вязкие и застывающие нефтепродукты при сливе из железнодорожных цистерн разогреваются для понижения вязкости открытым или закрытым паром при помощи глухих переносных или стационарных змеевиков или электрическими грелками.

Подогрев высоковязких и легкозастывающих нефтепродуктов следует производить до температуры, обеспечивающей его кинематическую вязкость – не более  $600 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , с учетом физико-химических свойств и длительности хранения нефтепродуктов [1-2].

Температура подогрева вязких нефтепродуктов (мазута) не должна превышать 363К.

В настоящее время для осуществления сливных операций высоковязких нефтепродуктов применяется способ циркуляционного подогрева.

Сущность способа циркуляционного подогрева заключается в том, что холодный вязкий нефтепродукт, находящийся в железнодорожной цистерне, подогревается и размывается горячей струей того же нефтепродукта, предварительно нагретого в нагревательном аппарате.

Было исследовано два способа циркуляционного подогрева:

- с замкнутой циркуляцией;
- с разомкнутой циркуляцией.

При подогреве с замкнутой циркуляцией подогретый нефтепродукт насосом через монитор, установленный в железнодорожной цистерне, подается в холодный продукт, а затем смесь холодного и горячего нефтепродуктов при помощи насоса из цистерны подается в теплообменный аппарат и вновь в цистерну. Таким образом осуществляется замкнутая система циркуляции нефтепродукта.

По истечению определенного времени часть подогретого нефтепродукта отводится в приемную емкость.

При разомкнутой циркуляции часть нефтепродукта после его размыва сразу же сливается через лоток или желоб в нулевые резервуары.

По сравнению с замкнутой циркуляцией этот способ имеет тот недостаток, что в процессе подогрева и слива возможно переполнение цистерн. Достоинством этого метода подогрева является то, что при нем нефтепродукт совершенно не обводится [3-4].

**Выделение нерешённых ранее частей общей проблемы.** Для слива высоковязких нефтепродуктов из железнодорожных цистерн в зимнее время в основном используется способ циркуляционного разогрева с применением теплообменного оборудования.

Данный способ значительно ускоряет слив мазута и других застывающих и вязких нефтепродуктов. Циркуляция продукта направлена на предотвращение его застывания и обеспечение надежной работоспособности сливной системы.

Однако, в холодное время года данный способ для слива высоковязких нефтепродуктов с температурой застывания до 315К бывает иногда малоэффективным.

Существующие технологии разгрузки вязких нефтепродуктов из ж/д цистерн не позволяют полностью решить эти задачи. Время разогрева и слива тяжёлых нефтепродуктов превышает время, принимаемое при расчёте планируемой годовой перевалки продукта.

Кроме того, применяемые технологии оказываются практически неработоспособными при транспортировке и сливе застывших высоковязких нефтепродуктов в холодное время года, что приводит к значительным затратам, связанным с простым железнодорожных составов, и гораздо меньшей по сравнению с расчётной пропускной способностью сливных эстакад.

На действующем нефтяном терминале для разогрева и слива высоковязких нефтепродуктов из железнодорожных цистерн был использован способ циркуляционного разогрева через теплообменники.

Однако в зимнее время данный способ не обеспечивал слив мазутов с повышенной температурой застывания и поэтому была предусмотрена реконструкция существующей системы слива высоковязких нефтепродуктов.

**Цель статьи.** Для того чтобы сократить время разгрузки цистерны и обеспечить полную слива необходимо повысить текучесть высоковязких нефтепродуктов. Для решения этой проблемы необходимо применить технологию циркуляционного разогрева с одновременным разогревом твёрдых остатков.

В связи с этим для высоковязких нефтепродуктов с целью размыва твердых остатков рекомендуется использование системы верхнего размыва.

Данная система для слива мазута и других тяжелых нефтепродуктов из железнодорожных цистерн включает все необходимые составляющие для осуществления слива нефтепродуктов в холодное время года. Для их подключения требуется подведение водяного пара с целью функционирования применяемой системы, а также обеспечение отвода парового конденсата.

Предлагаемая система предусматривает возможность для размыва твердых остатков

мазута одночасно з нижнім циркуляційним розогревом використовувати систему верхнього розмива з застосуванням відповідних пристроїв.

При використанні даного способу одночасно здійснюється розмив твердого залишку через пристрій нижнього слива струями нагрітого в теплообміннику мазута, подаваного під тиском в цистерну через розмиваючий пристрій. При цьому струї направляють нахилно вгору, змінюючи висоту відносно вертикальної осі цистерни в процесі розмива і слива продукту.

Принцип роботи оснований на об'єднанні операцій по підогреву і сливу в'язких нафтопродуктів в один технологічний процес з використанням явища рекуперації теплоенергії.

Дане пристрій забезпечує незмінне якість сливаних нафтопродуктів, так як розогрев і слив відбувається без обводнення нафтопродукту, оскільки продукт не має прямого контакту з водяним паром.

При реалізації даного способу слива і циркуляційного підогрева високов'язких мазутів зменшується їх в'язкість, і тим самим забезпечується підвищення ефективності і працездатності сливної системи.

При використанні даної системи розогрева змінювати кут нахилу струй нагрітого мазута можна тільки дуже обмежено, так як із-за конструктивних особливостей цистерн можливий вилет струй через верхній смотровий люк.

Кінетична енергія струй, направлених нахилно вгору, більшою часткою витратить на завихрення турбулентних потоків рідкого мазута, а розмив твердого залишку здійснюється за рахунок поступового розогрева його зовнішніх шарів струями мазута через гідромонітор нижнього розмиваючого пристрою.

**Основний матеріал дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Кількість тепла, необхідне для розогрева нафтопродуктів в цистернах, визначається за формулою [5]

$$Q = q_1 + q_2 + q_3, \quad (1)$$

де  $q_1 = M \cdot c_p \cdot (t_k - t_n)$  – тепло, необхідне для розогрева всієї маси нафтопродукту  $M$  від початкової  $t_n$  до кінцевої  $t_k$  температури;

$c_p$  – удільна ізобарна теплоємність, Дж/(кг·К);

$q_2 = M_n \cdot x$  – тепло, необхідне на розплавлення застигнутого нафтопродукту (парафіна) в кількості  $M_n$ ;

$x$  – схована теплоплота плавлення парафіна;

$q_3 = K \cdot F \cdot \tau \cdot (t_{cp} - t_0)$  – теплові втрати в оточуюче середовище, де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі від нафтопродукту в оточуюче середовище, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$F$  – площа поверхні охолодження, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – час розогрева;

$t_{cp}$  – середня температура нафтопродукту за час розогрева, °С;

$t_0$  – температура оточуючого середовища, °С.

Удільна масова теплоємність для нафтопродуктів лежить в межах 1600 ÷ 2500 Дж/(кг·К). Для розрахунків приймають середнє значення, рівне 2100 Дж/(кг·К).

В таблиці 1 вказані температура плавлення і необхідне значення теплоплоти для плавлення 1 кг парафіна.

Коефіцієнт теплопередачі  $K$  розраховують в залежності від типу ємкості, товщини стінок, ізоляції. При розрахунках коефіцієнт  $K$  орієнтовочно приймають рівним 5-7 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

**Таблиця 1 – Теплоплота плавлення парафінів**

Плотність при 70°С, кг/м <sup>3</sup>	Температура плавлення, К	Теплоплота плавлення, кДж/кг
773	325	163
774	333	172
775	338	184

При розрахунку втрат теплоплоти через стінку цистерни за один годину коефіцієнт теплопередачі  $Kч$  буде мати одиницю величини кДж/(м<sup>2</sup>·ч·°С). Орієнтовочно величина  $Kч = 12 ÷ 25$ .

Для залізничних цистерн температура оточуючого середовища, °С, приймають рівною температурі зовнішнього повітря.

Час розогрева і слива нафтопродукту, наприклад мазутів, залежить від температури оточуючого середовища. В теплий період року він рівний, відповідно, 3 і 4 ч., а в холодний період (з 15 вересня по 15 квітня) – відповідно 6 і 10 годин.

Сумарне час розогрева і слива залізничної цистерни, заповненої нафтопродуктом, залежить від його кінематичної в'язкості, температури застигання і наведено в таблиці 2.

**Таблиця 2 – Сумарне час на розогрев і слив в'язких і застигаючих нафтопродуктів**

Група нафтопродукту	Кінематична в'язкість при 323К, мм <sup>2</sup> /с	Температура застигання, К	Час розогрева і слива вантажу, год.
1	36 – 117	258 – 273	4
2	118 – 190	274 – 288	6
3	199 – 305	289 – 303	8
4	Свыше 305	Свыше 303	10

Тепло, витрачене безпосередньо на розогрев нафтопродукту, частково втрачається. Втрати тепла при підогреві можуть бути підраховані за формулою [6,7]

$$t_{cp} = 0,5 \cdot (t_n + t_k) \quad (2)$$

при  $\frac{t_k - t_0}{t_n - t_0} \leq 2$ ,

Таблица 3 – Характеристика мазута, получаемого из нефтей бакинских месторождений

Выход на нефть, %	$\rho_4^{20}$	Кинематическая вязкость, сСт						Температура, К		Коксуемость %
		323К	333К	343К	353К	363К	373К	застывания	воспламенения	
Мазут >350-53	0,9200	62,66	51,63	42,11	36,0	31,0	18,0	308	501	3,34

Таблица 4 – Характеристика мазута, получаемого из нефтей среднеазиатских месторождений

Выход на нефть, %	$\rho_4^{20}$	Кинематическая вязкость, сСт						Температура, К		Коксуемость %
		323К	333К	343К	353К	363К	373К	застывания	воспламенения	
Мазут топочный 40-54,5	0,9260	59,50	48,45	40,70	35,0	30,65	20,0	299	505	7,1

Таблица 5 – Характеристика мазута, получаемого из западно-сибирских нефтей

Выход на нефть, %	$\rho_4^{20}$	Кинематическая вязкость, сСт						Температура, К		Коксуемость %
		323К	333К	343К	353К	363К	373К	застывания	воспламенения	
Мазут топочный 40	0,9431	152,40	123,03	102,57	87,93	76,56	38,37	298	484	5,2

где  $t_n$  и  $t_k$  – начальная и конечная температура нефтепродукта, °С;

$t_0$  – температура окружающей среды, °С.

При подогреве острым паром часовой расход пара

$$q = \frac{Q}{i_n - i_k} \text{ кг/час,} \quad (3)$$

где  $i_n$  – теплосодержание пара;

$i_k$  – теплосодержание конденсата.

При подогреве закрытыми стационарными или переносными змеевиками площадь теплопередачи обычно известна, а время подогрева определяют по формуле

$$\tau = \frac{Q}{KF(t_n - t_{cp})} \text{ час.} \quad (4)$$

Диаметр подводящего трубопровода можно определить из формулы

$$f = \frac{d}{3600\omega\gamma} \text{ м}^2, \quad (5)$$

откуда диаметр

$$d = \sqrt{\frac{4f}{\pi}}. \quad (6)$$

Здесь  $f$  – площадь сечения паропровода в м<sup>2</sup>;

$\omega$  – скорость движения пара (принимается 25-35 м/с);

$\gamma$  – удельный вес пара в кг/м<sup>3</sup>.

В лабораторных условиях были проведены анализы проб мазутов, полученных из бакинских, среднеазиатских и западно-сибирских нефтей.

Результаты лабораторных исследований показаны в таблицах 3, 4, 5.

На рис. 1 представлена вязкостно-температурная зависимость для мазутов, построенная по результатам лабораторных исследований.

Вязкость определяет методы и продолжительность сливо-наливных операций, условия перевозки и перекачки, гидравлические сопротивления при транспорте топлива по трубопроводам, а также эффективность работы технологических печей.

В зависимости от природы сырья и с учетом физико-химических свойств нефтепродуктов подогрев высоковязких и легкозастывающих нефтепродуктов следует производить до температуры, предотвращающей его застывание и обеспечивающей надежную работоспособность сливной системы.

Как температура застывания, так и вязкость характеризует условия слива и перекачки нефтепродукта. Она зависит от двух основных факторов: качества перерабатываемой нефти и способа получения топлива.

В зависимости от физико-химических свойств вязких нефтепродуктов по вязкостно-температурным кривым видно, что температура нагрева может колебаться в пределах от 323К до 363К. Температура нагрева зависит от вязкости и температуры застывания продукта. Чем ниже температура застывания, тем ниже будет температура нагрева нефтепродукта, т.е. ниже 363К и, таким образом, суммарное время разогрева и слива нефтепродукта с использованием современного высокотехнологичного оборудования соответственно уменьшается.

В результате существенно сокращаются энергетические затраты на нагрев мазута.

С целью обеспечения повышения эффективности перевалки застывающих и высоковязких нефтепродуктов метод циркуляционного разогрева с системой верхнего размыва был применен на действующем нефтяном терминале.

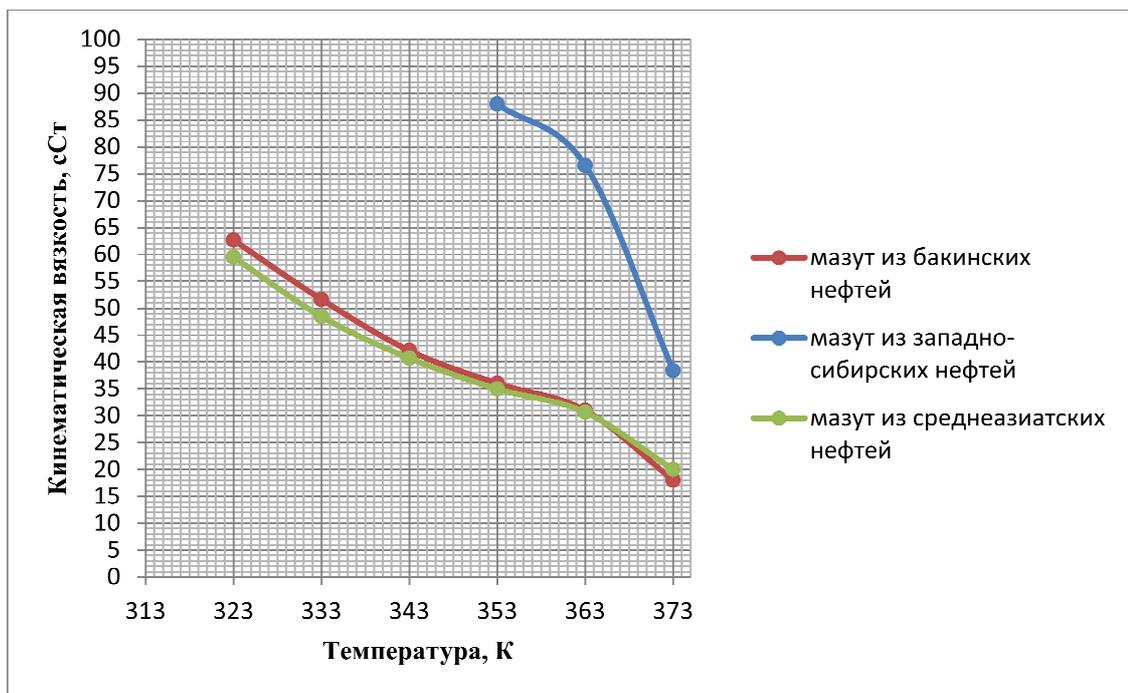


Рисунок 1 – Залежності в'язкості мазуту від температури

Слив високов'язкого мазуту був передбачений на двохсторонній залізничній естакаді.

На нафтовому терміналі для розігріву та сливу високов'язких нафтопродуктів із залізничних цистерн була використана спеціальна технологія розвантаження продукту з використанням способу циркуляційного розігріву через теплообмінне обладнання.

Однак у зимовий час існуючий спосіб не забезпечував слив мазутів з підвищеною температурою застигання і тому була передбачена реконструкція діючої системи сливу високов'язких нафтопродуктів.

Реконструкція сливної системи передбачає можливість для розмиву твердих залишків мазуту одночасно з нижнім циркуляційним розігрівом використовувати систему верхнього розмиву з використанням пристрою марки УНЖ 6-100С-01.

При використанні даної технології одночасно здійснюється розмив твердого залишку через пристрій нижнього сливу УСН-175г струями нагрітого в теплообміннику мазуту, подаваного під тиском в цистерну, і подачу нагрітого в тому ж теплообміннику мазуту через пристрій верхнього розмиву на поверхню твердого залишку.

Таким чином, була забезпечена ефективність вивантаження твердого залишку високов'язких мазутів.

На основі вибраної технології були проведені реконструктивні заходи на залізничній естакаді і після реконструкції сливної системи для в'язких нафтопродуктів продовжити сливні операції в зимовий час знизилася приблизно вдвічі.

Схема процесу циркуляційного розігріву мазуту з системою верхнього розмиву показана на рисунку 2.

Після вивантаження з цистерни двох третин об'єму мазуту через пристрій нижнього сливу, через верхню смотрову горловину цистерни можна оцінити наявність та розташування твердих залишків різної форми. Після цього, не припиняючи процесу розвантаження, в верхню смотрову горловину встановлюється пристрій верхнього розмиву, в який подається мазут з цистерни через теплообмінник і верхній напорний трубопровід. Встановлені під кутом до вертикальної осі форсунки через повітряну середовище забезпечують напрямленість струй в торці цистерни на поверхню твердого залишку.

Робота пристрою нижнього сливу і пристрою верхнього розмиву твердого залишку здійснюється одночасно в зв'язі з тим, що:

- при наливці через верхнє пристрій розмиву мазуту забезпечується откачка мазуту через пристрій нижнього сливу, тим самим виключається перелив цистерни;

- тверді фрагменти залишку, механічно розбиті струями мазуту, поступаючого через пристрій верхнього розмиву залишку, в подальшому ефективно розігріваються в гідравлічних потоках нагрітого нафтопродукту, оброблених форсунками гідромонітора пристрою нижнього сливу.

Спосіб вивантаження твердого залишку високов'язкого мазуту із залізничної цистерни, включає розмив твердого залишку через пристрій нижнього сливу струями нагрітого зовнішнього теплообмінника мазуту, подаваного під тиском в цистерну, і його слив, а також відмінний тим, що одночасно

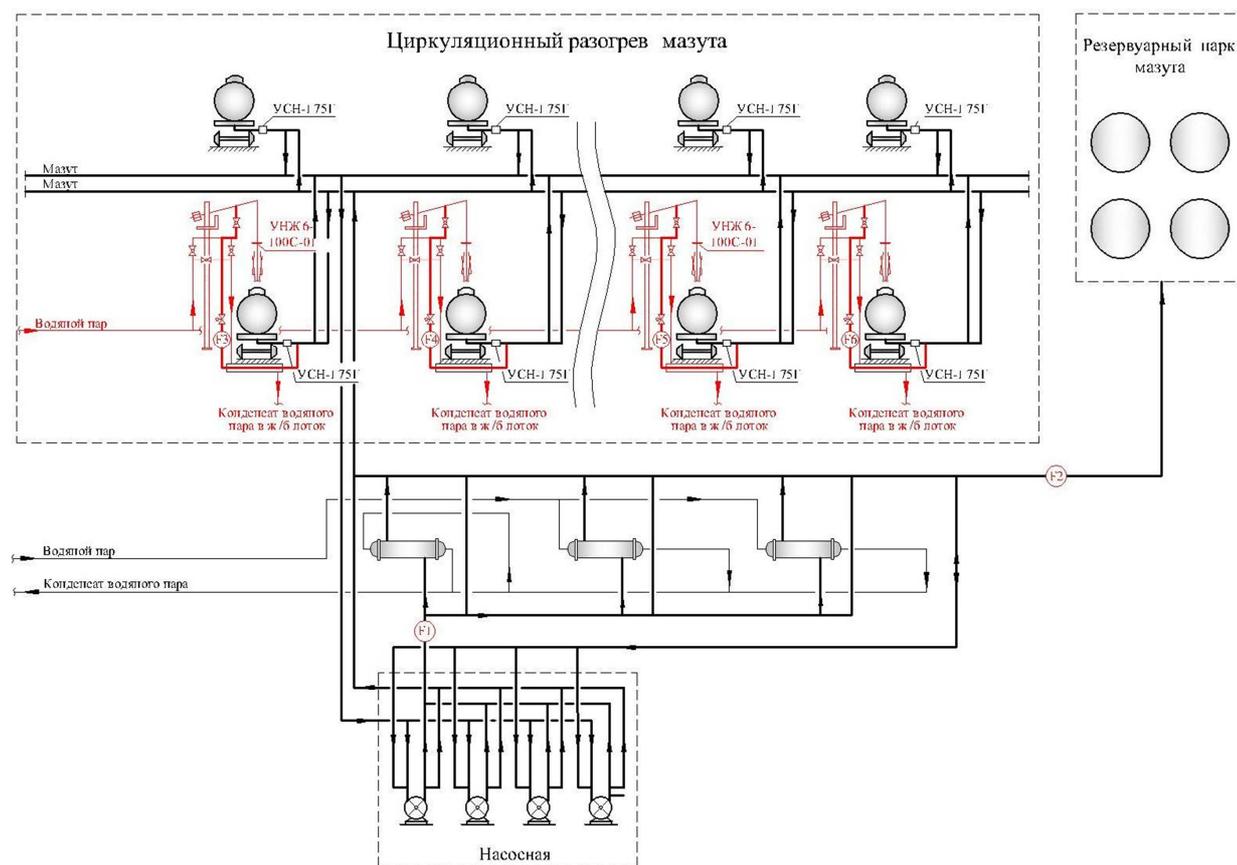


Рисунок 2 – Схема разогрева высоковязких нефтепродуктов

осуществляют подачу нагретого в теплообменнике мазута через устройство верхнего размыва на поверхность твердого остатка.

Для оптимизации сливных операций применена система автоматизации. Система автоматизации для режима выгрузки высоковязких мазутов принята с расчётом, что на выходе насоса предусмотрен расходомер с регулирующим клапаном на линии верхнего размыва. Из-за того, что в верхней части давление меньше, чем в нижней части цистерны вследствие гидростатической нагрузки, при открытии клапана расход продукта в верхней части можно регулировать. Регулированием расхода можно оптимизировать контур циркуляции в цистерне.

С целью обеспечения повышения эффективности перевалки нефтепродуктов для застывающих и высоковязких продуктов рекомендуется современная технология разгрузки продукта из железнодорожных цистерн. Принцип работы устройства основан на объединении операций по подогреву и сливу вязких нефтепродуктов в один технологический процесс с использованием явления рекуперации тепловой энергии. Применённая система для обеспечения сливных операций обладает такими преимуществами, как длительный срок эксплуатации, достигающий десяти и более лет, исключительная простота использования и надёжность.

Для оптимизации сливных операций применена система автоматизации и в связи с чем

усовершенствуется процесс сливных операций высоковязких нефтепродуктов.

При использовании данного способа обеспечивается повышение эффективности выгрузки твердого остатка, а также время слива высоковязких нефтепродуктов (мазутов). В результате существенно сокращаются энергетические затраты на нагрев мазута.

Таким образом, с применением АСУ ТП усовершенствуется процесс сливных операций высоковязких нефтепродуктов.

### Выводы

Для проведения сливо-наливных операций вязких и высоковязких нефтепродуктов необходим нагрев с целью снижения вязкости.

Температура застывания, зависит от двух основных факторов: качества перерабатываемой нефти и способа получения топлива.

Суммарное время разогрева и слива нефтепродукта с использованием современного высокотехнологичного оборудования существенно уменьшается, существенно сокращаются энергетические затраты на нагрев мазута.

Данная технология предусматривает возможность для размыва твердых остатков мазута одновременно с нижним циркуляционным разогревом использовать систему верхнего размыва.

Данная технология предусматривает возможность в зимнее время примерно в два раза

снизить продолжительность слива высоковязких продуктов.

Главное преимущество устройства системы верхнего размыва - обеспечение планируемого объема перевалки высоковязких нефтепродуктов.

### *Литература*

1 Шалай В.В. Проектирование и эксплуатация нефтебаз и АЗС / В.В.Шалай, Ю.П. Макушев. – Омск: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет», 2010. – 127 с.

2 Нормы технологического проектирования предприятий по обеспечению нефтепродуктами (нефтебаз). ВНТП 5-95. – Волгоград: Минэнерго России, 1995. – 124 с.

3 Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных месторождений (ВНТП 3-85). – М.: Миннефтепром, 1985.

4 Правила технической эксплуатации нефтебаз. – М.: Недра, 1986. – 168 с.

5 Типовые технические решения по проектированию. Нефтеперекачивающие станции с резервуарным парком в системе магистральных трубопроводов ОАО «АК ТРАНСНЕФТЬ». Графические материалы. – Москва, 2007. – Кн. 1, 2.

6 Хранение нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Тюмень: Вектор Бук, 2003. – 536 с.

7 Шишкин Г.В. Справочник по проектированию нефтебаз / Г.В. Шишкин. – Л.: Недра, Ленингр. отд-ние, 1978. – 216 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
29.08.16*

*Рекомендована до друку  
професором Грудзом В.Я.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором Бабаєвим Р.  
(НИПИ «Нефтегаз» ГНКАР,  
м. Баку, Азербайджан)*