

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ВЫСОКОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ.

Селиванов Н.В., Андриис К.Б.

ФГОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет»

Приведены способы снижения энергозатрат при перевозке высоковязких жидкостей автомобильным транспортом. Предложены методики расчетов минимально необходимой температуры налива высоковязкой жидкости и определение поверхности путевого подогрева. Для путевого подогрева и поддержания необходимой температуры слива предлагается утилизация теплоты охлаждения ДВС и использование выхлопных газов для подогрева груза при перевозке.

Ключевые слова

Температура слива, коэффициент теплопередачи, термическое сопротивление изоляции, мощность путевого подогрева.

Условные обозначения

τ - время слива; L - длина цистерны, м; a , b - большая и малая оси эллипса соответственно, м; ω - площадь сечения сливного патрубка, м²; μ - коэффициент расхода; ν - кинематическая вязкость; d - диаметр сливного патрубка; Q_{nc} - мощность путевого подогрева; K - коэффициент теплопередачи; F - площадь автоцистерны; t_g - температура воздуха; t_n - температура нефти; R - термическое сопротивление изоляции; BV - вязкость условная.

Введение

В последние годы объемы перевозок нефти и нефтепродуктов автомобильным транспортом возрастают, что связано с таким преимуществом его как большая маневренность. И несмотря на то, что перевозка таким транспортом требует больших затрат по сравнению с железнодорожным, трубопроводным и водным транспортом, он занимает определенную нишу в общем объеме перевозок нефтепродуктов. Речь идет о перевозке нефтепродуктов на небольшие расстояния (до нескольких сотен километров) и малыми партиями. Например, доставка с распределительных баз к различным потребителям. Перевозки осуществляются автоцистернами различной вместимости. Большим преимуществом автоцистерн является быстрота операций налива и слива нефтепродукта без значительных потерь и заметного ухудшения его качеств. На сегодняшний день актуальны следующие способы повышения эффективности и снижения затрат на перевозку нефтепродуктов автомобильным транспортом:

- определение минимально возможной температуры налива;
- применение путевого подогрева груза в автоцистернах с использованием вторичных тепловых ресурсов (утилизация теплоты выхлопных газов или теплоты системы охлаждения ДВС).

Дальнейшее проектирование и внедрение данных методов поможет снизить затраты на перевозку нефтепродуктов автотранспортом. Если к тому же учесть основное преимущество автомобильного транспорта (способность доставить груз в любую точку без дополнительных промежуточных работ), то доля перевозок нефтепродуктов данным видом транспорта возрастет.

1. Определение минимальной температуры налива.

Тяжелые нефтепродукты при транспортировке требуют подогрева до температур, при которых они обладают текучестью, достаточной для перекачивания насосами по трубопроводам или слива их самотеком. Обычно нагрев нефтепродукта производится на нефтебазе. Температура нагрева выбирается такой, при которой нефтепродукт в пункте назначения будет сливаться из автоцистерны самотеком. Тогда исключается необходимость путевого подогрева или нагрева его в пункте выгрузки.

В связи с этим определение минимально возможной температуры налива (или слива), обеспечивающей в пункте назначения слив нефтепродукта из цистерны, представляет один из резервов эконо-

мии топливно-энергетических ресурсов. Таким образом, исключается возможность перерасхода энергии, связанная с перегревом нефтепродукта при наливе.

В целях оптимизации технологической схемы транспортировки нефтепродуктов в автоцистернах необходимо знать минимальную температуру слива. Существует следующий метод расчета минимальной температуры слива, в котором за основу принято паспортное время слива нефтепродукта из автоцистерны [2]. Время слива нефтепродукта самотеком из автоцистерны определяется по формуле [3]:

$$\tau = \frac{4}{3} \frac{L \cdot a \sqrt{b}}{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}, \quad (1)$$

где L - длина цистерны, м; a , b - большая и малая оси эллипса соответственно, м; ω - площадь сечения сливного патрубка, м²; μ - коэффициент расхода.

Для расчета коэффициента расхода при сливе через короткий патрубок из автоцистерны использовалась зависимость для универсального сливного патрубка (диаметр патрубка $d=0,2$ м, средняя величина разности уровня нефтепродукта и патрубка $H=2$ м) [3]:

$$\mu = (238 \cdot v + 1,29)^{-1}, \quad (2)$$

где $v_{\text{жц}}$ кинематическая вязкость при сливе нефтепродукта из железнодорожной цистерны, м²/с.

Формула (2) справедлива для кинематической вязкости в диапазоне $v = 10^{-4} - 653 \cdot 10^{-4}$ м²/с и при равенстве чисел подобия Рейнольдса для железнодорожной и автомобильной цистерн при истечении. Это позволяет определить предельную вязкость нефтепродукта при сливе из автоцистерны через ее параметры:

$$v = 3,53 \cdot d_0 \left(0,01395 \frac{\tau \omega}{L \cdot a \sqrt{b}} - 0,00542 \right), \text{ м}^2/\text{с} \quad (3)$$

Зная паспортное время слива, по формуле (3) определяется предельная вязкость при сливе. Для основных автоцистерн были получены результаты расчета предельной вязкости, на основании которых получено значение средней предельной вязкости $v_{\text{ср}} = 8 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

По значению полученной вязкости определяется минимальная температура слива для конкретного перевозимого нефтепродукта. Последняя должна приниматься на 5°С выше температуры застывания нефтепродуктов. Проведены расчеты, в результате которых получены значения минимальной температуры слива для основных нефтепродуктов, приведенные в таблице (табл. 1).

Данный метод расчета минимально необходимой температуры слива и полученные зависимости (1)-(3) позволяют определить оптимальные технологические параметры схемы транспортировки нефтепродукта: температуру налива, слива, продолжительность рейса, тепловую нагрузку путевой системы подогрева в зависимости от марки нефтепродукта, грузоместимости и типа автоцистерны, массы груза и условий окружающей среды.

Таблица 1

Предельная температура слива нефтепродуктов из автоцистерн

№ п/п	Марка нефтепродукта	Температура застывания, °С.	Предельная температура слива, °С.
	Топливо		
1	Флотский мазут Ф 5	-5	2
2	Флотский мазут Ф 12	-8	18
3	Топочный мазут М 40 В	10(25)	32(32)
4	Топочный мазут М 40	10(25)	32(38)
5	Топочный мазут М 100 В	25(42)	43(47)
6	Топочный мазут М 100	25(42)	50(50)
7	Мангышлакская нефть	30	35
	Масла		

1	Турбинное Т22, И-20, И-20Ак, И-12А, А, ХА, ХФ-22/24, ВМ-3, АМГ-10	-15	-8
2	Турбинное Т-30, И-30А, ХА-30	-10	0
3	Турбинное Т-46, И-50А, ВМ-4	-10	8
4	Турбинное Т-57, И-70А, М10В2, М10Г2, М10Г2К, М6з/10Г1, ДП11, ВМ-1, К-12	-10	12
5	Моторное М8В2, М8Г2, М8Г2К, И-40А, И-40Ак, М8Б1, М8В1	-15	4
6	Индустриальное И-100А, МГ-16п, ТАД17-И	-10	21
7	Индустриальное И-25А	-15	-5
8	Масло МТ-14п, ТАП15-В	-20	3
9	Авиационное МС-14, М20В2, КС-19	-15	17

2. Теплоизоляция автоцистерн.

Применение современных теплоизоляционных материалов может резко снизить расход тепловой энергии на перевозку высоковязких жидкостей, а, следовательно, повысить эффективность их перевозок. Еще один способ повысить эффективность перевозок высоковязких нефтепродуктов автотранспортом можно с помощью путевого подогрева груза в автоцистернах с использованием вторичных тепловых ресурсов (утилизация теплоты выхлопных газов или теплоты системы охлаждения ДВС). Это позволит снизить температуру разогрева нефтепродукта в резервуаре нефтебазы приблизительно на 10-15°C по сравнению с минимально необходимой [1, 2].

Для выбора оптимальной температуры подогрева груза перед наливом, а также толщины слоя теплоизоляции необходимо знать, какое количество теплоты будет потеряно при транспортировке. А это в свою очередь зависит от целого ряда факторов таких как: температура груза и окружающей среды, размеры и форма транспортной емкости, физические свойства груза и условия транспортировки. Для этого в программе MathCad 13 была составлена программа, учитывающая наиболее влияющие факторы при транспортировке нефтепродуктов автомобильным транспортом. В качестве исходных данных принимались значения природных условий и температур для Астраханской области. В результате проведенных теоретических и экспериментальных натурных исследований процессов теплообмена на цилиндрических резервуарах и автоцистернах были выведены зависимости коэффициента теплопередачи в зависимости от температур воздуха и нефтепродукта в широком диапазоне. Коэффициент теплопередачи для автоцистерны на 30 % выше, чем для неподвижного цилиндрического резервуара. Это связано с увеличением теплообмена со стороны наружного воздуха при более высокой скорости его движения, а также с интенсификацией теплообмена со стороны нефтепродукта, вызванной вынужденным движением нефтепродукта при колебаниях емкости.

Ниже приведены результаты исследований влияния теплоизоляции на коэффициент теплопередачи для мазута М100 при температурах воздуха +10, 0 и -10 °С и температуре нефтепродукта +40°C (рис. 1).

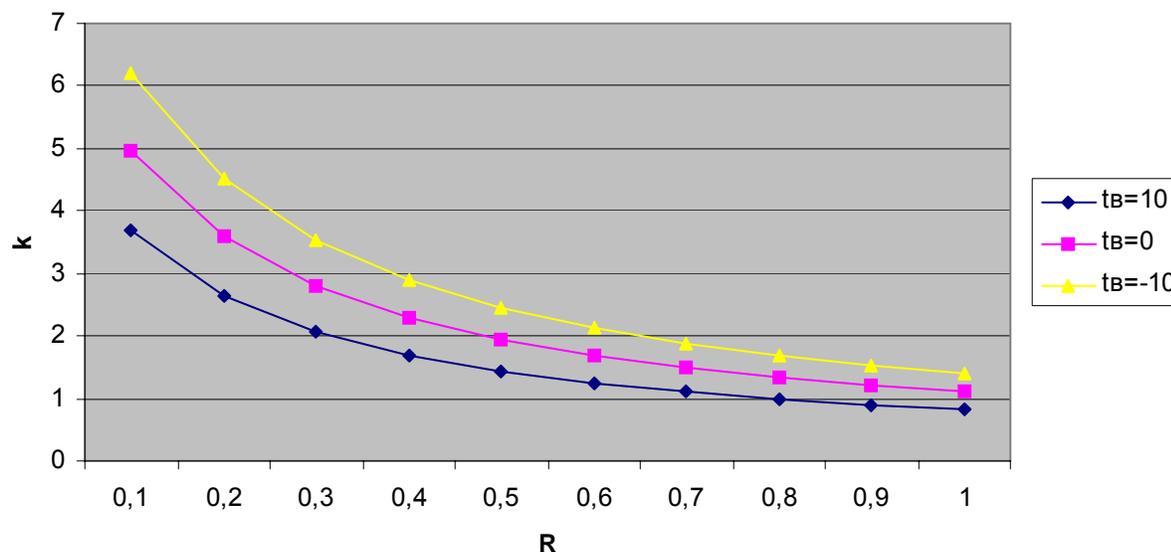


Рис.1 Влияние теплоизоляции на коэффициент теплопередачи для мазута M100, $t_{в}=10;0;-10^{\circ}\text{C}$, $t_{н}=40^{\circ}\text{C}$.

Из рис.1 видно, что наименьшее сопротивление теплопередачи необходимо принять равным 0,6 $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Зная значение сопротивления теплопередачи, можно определить толщину теплоизоляционного слоя и стоимость теплоизоляции автоцистерн. Наиболее подходящие для автомобильных цистерн современные теплоизоляционные материалы: НТ/Armaflex, энергофлекс, пенофол, термофол. Эти материалы представляют собой рулоны различной толщины и длины. Область применения этих материалов - утепление стен, потолков, кровли, чердачных, мансардных и подвальных помещений; изоляция трубопроводов, емкостей и арматуры в системах водоснабжения и отопления; изоляция воздухопроводов; изоляция в системах "Теплый пол"; отражающая изоляция за радиаторами отопления; изоляция помещения в банях и саунах; изоляция технологического оборудования пищевой, нефте и газодобывающей отраслях промышленности; изоляция кузовов и грузовых автомобилей. Рабочие температуры в зависимости от принятого материала колеблются от -60 до $+175^{\circ}\text{C}$. При использовании этих материалов толщина теплоизоляционного слоя не превышает 25 мм.

3. Путьевой подогрев.

Если перевозить нефтепродукты на большие расстояния при низких температурах (зимний период) температура налива должна быть высокой, что влечет за собой перерасход тепловой энергии на подогрев нефтепродукта в резервуарах нефтебаз и повышает себестоимость перевозок. Чтобы уменьшить затраты тепловой энергии для этих условий перевозки нефтепродуктов, выгодно использовать путьевой подогрев.

Источником теплоты для путьевого подогрева может быть теплота охлаждающей жидкости системы охлаждения ДВС. В этом случае в системе подогрева нефтепродукта в цистерне может быть использован трубчатый подогреватель змеевикового или секционного типа. Охлаждающая жидкость ДВС подается в подогреватель, минуя радиатор автомобиля. Перспективным выглядит применение горяче-струйной системы подогрева. Нефтепродукт забирается из цистерны насосом и прокачивается через теплообменник, где, получая теплоту от выхлопных газов или от жидкости, циркулирующей в системе охлаждения ДВС, подогревается. Подогретый нефтепродукт через горизонтальное сопло, расположенное в придонной области цистерны, подается в объем нефтепродукта.

Мощность путьевой системы подогрева равна тепловому потоку от нефтепродукта в окружающую среду:

$$Q_{nc} = K \cdot F \cdot (t_n - t_e) \quad (4)$$

В результате проведенных теоретических и экспериментальных натурных исследований процессов теплообмена на цилиндрических резервуарах и автоцистернах коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

процесс остывания

$$K_* = (A \cdot t_* + B) \cdot \ln(t_* - t_*) + C \cdot t_* - 14,424 \cdot \ln(BY_{80}) + 6,7858 \quad (5)$$

где A, B, C – коэффициенты, зависящие от марки мазута (см. табл. 2).

Таблица 2.

Значения коэффициентов для формулы 5.

	A	B	C	BY_{80}
M100	-0,2284	9,3851	1,0296	15
M40	-0,1761	7,6723	0,7867	7,5
Ф12	-0,061	4,6378	0,2998	3,5
Ф5	-0,0426	3,9571	0,2136	2,15

процесс подогрева

$$K_* = A \cdot t_* \cdot \ln(t_* - t_*) + C \cdot \ln(t_*) + BY_{80} \cdot (0,3388 \cdot BY_{80} - 13,343) + 15,397 \quad (6)$$

где A, B, C – коэффициенты, зависящие от марки мазута (см. табл. 3).

Таблица 3.

Значения коэффициентов для формулы 6.

	A	B	C	BY_{80}
M100	95,338	-0,871	30,498	15
M40	36,592	-0,6163	17,45	7,5
Ф12	11,14	-0,2848	6,5568	3,5
Ф5	7,2816	-0,2061	4,0017	2,15

Подставляя в формулу (4) зависимость (6) на примере мазута M100, получены результаты расчетов потребной мощности путевой системы подогрева для поддержания температуры нефтепродукта в зависимости от объема цистерны и температуры воздуха (0 и -10°C) (табл.3). Как видно из таблицы максимальная мощность системы подогрева для автоцистерны объемом 33 м³ при температуре нефтепродукта 60°C и температуре воздуха -10°C не превышает 27 кВт, что при мощности двигателя тягача более 150 кВт не превышает 18%.

Таблица 3.

Мощность системы путевого подогрева для поддержания температуры нефтепродукта, кВт

Температура нефтепродукта, °C	Вместимость цистерны, м ³				
	18,5	20	25	30	33
	Температура воздуха 0 °C				
40	8,19	8,65	10,12	11,49	12,29
45	9,8	10,34	12,09	13,74	14,69
50	11,47	12,11	14,16	16,09	17,2
55	13,23	13,97	16,33	18,55	19,83
60	15,03	15,87	18,56	21,08	22,54
	Температура воздуха - 10 °C				
40	10,41	10,99	12,85	14,60	15,61
45	12,11	12,79	14,96	16,99	18,17
50	13,89	14,67	17,15	19,48	20,83
55	15,75	16,64	19,45	22,10	23,62
60	17,68	18,68	21,83	24,80	26,52

Заключение

Наиболее эффективно снизить энергозатраты при перевозке высоковязких жидкостей автомобильным транспортом можно совмещением вышеперечисленных способов, т.е. использованием теплоизоляционных материалов при термическом сопротивлении изоляции не более 0,6 м·К/Вт и путевого подогрева с использованием теплоты от выхлопных газов и системы охлаждения ДВС. Соотношение этих двух способов зависит от перевозимого нефтепродукта, точнее его вязкости. Как показывают расчеты для мазутов марки Ф5 и Ф12 достаточно путевого подогрева, а для мазутов М40 и М100 необходимо использовать оба способа. Это обуславливается экономическими расчетами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасименко Л.Н., Свиридов В.П. Затраты тепла при путевом подогреве нефтепродуктов в цистерне // Тр. ВНИИСПТнефть. Сер. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. Уфа, 1973. Вып. 10. С. 195-198.
2. Рыбаков К.В., Савин В.Д., Митягин В.А. Автомобильные цистерны для транспортировки нефтепродуктов. М.: Транспорт, 1979. 160с.
3. Едигаров С.Г., Ахметзянов И.И. Слив высоковязких нефтей и нефтепродуктов из железнодорожных цистерн / Обзорн. Информ. Сер. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М.: ВНИИОЭНГ, 1971. 83с.
4. Селиванов Н.В. Теплообмен высоковязких жидкостей в емкостях / Монография. Астрахань: АГТУ, 2001.