

2. ГОСТ 32388-2013. Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200110068>.
3. Худякова Л. П., Шестаков А. А. Метод прогнозирования отказов промышленных трубопроводов //Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – Т. 7. – №. 5. – С. 36-41.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИИЗОЦИАНУРАТА ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Батухтин А.А.

Научный руководитель доцент А.Л. Саруев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Исчерпание запасов нефти на существующих месторождениях обуславливает необходимость поиска и эксплуатации Российским нефтегазовым комплексом новых объектов залежи, в том числе находящихся в условиях Крайнего Севера, где нефтепровод подвергается воздействию многолетних мерзлых грунтов, и среднегодовая температура является отрицательной.

Такие условия оказывают неблагоприятное воздействие на состояние нефтепровода. Основным требованием транспортировки нефти в районах Крайнего Севера является установка пунктов подогревов нефти, которые повышают ее температуру до +60 °С, что вызвано особенными свойствами нефти северных месторождений. Температурное воздействие путем подогрева нефти вызывает негативные последствия, связанные с выходом тепла в окружающую среду. Во-первых, к ним относится освобождение в атмосферу больших захоронений углерода в вечной мерзлоте, во-вторых, увеличение теплопотерь влечет таяние мерзлых грунтов, которое, в свою очередь, приводит к деформации оси трубопровода.

Объекты, находящиеся под воздействием этих условий, должны обеспечиваться надежной тепловой изоляцией. Это необходимое мероприятие, позволяющее избежать нагревания или охлаждения транспортирующей среды, а также препятствовать потере тепла.

В настоящее время основным материалом является пенополиуретан. Он характеризуется низким коэффициентом теплопроводности, в отличие от ранее используемых материалов (пенополистирол, пеностекло и т.д.). Пенополиуретан был использован при строительстве трубопроводной системы Заполярье – Пурпе, которая является самым северным трубопроводом в России [1].

Однако в указанных условиях целесообразна замена теплоизоляционного материала пенополиуретана на полиизоцианурат в процессе строительства магистральных нефтепроводов. Полиизоцианурат - термореактивный полимерный материал, отличающийся высокой степенью жесткости, который используется в качестве жесткой теплоизоляции. Сравнительная характеристика физико-механических свойств материалов приведена в таблице 1.

*Таблица 1*

*Сравнение показателей физико-механических свойств пенополиуретана и полиизоцианурата*

Материал	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Плотность, кг/м	Группа горючести	Температура применений, °С
Пенополиуретан ( PUR )	0,024 – 0,035	Не менее 75	Г3, Г4	От -70 до +130
Полиизоцианурата (PIR)	0,021 – 0,023	Не менее 31,1	Г1	От -196 до +150

Таким образом, данное сырье обладает такими характеристиками, как прочность, устойчивость к механическим нагрузкам и легкость, позволяющая уменьшить нагрузку на трубопровод. Этот материал на 90% состоит из замкнутых ячеек, в которых находится инертный газ с коэффициентом теплопроводности 0,015 Вт/(м\*К), что способствует сохранению тепла при низких температурах. Полиизоцианурат также устойчив к воздействию влаги, пожаробезопасен и экологичен.

Основными преимуществами полиизоцианурата являются:

- Низкая группа горючести, что обеспечивает наименьшее время продолжительности самостоятельного горения;
- Долгий срок службы – около 50 лет;
- Низкий уровень теплопроводности;
- Влагостойкость.

Технология нанесения полиизоцианурата на трубы в перспективе идентична технологии нанесения пенополиуретана из-за однородности материалов. При этом показатели жесткости, термической и химической стабильности полиизоцианурата позволяют производителям разрабатывать различные виды продукции с одинаковой плотностью, но с разнообразными дополнениями для достижения приемлемых показателей, соответствующих запросам потребителей.

Основная методика расчета толщины тепловой изоляции описана в технической документации [3].

Стенка трубы является цилиндрической, но значение ее толщины намного меньше других параметров нефтепровода. Исходя из этого, следует воспользоваться закономерностями, используемыми для плоской стенки.

## СЕКЦИЯ 15. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА

Таблица 2

### Исходные данные

Диаметр трубопровода, dn	1,02 м
Температура нефти в трубе, tw	60°C
Температура окружающей среды, toс	-52°C
Коэффициент теплопроводности полиизоцианурата, λPIR	0,023 Вт/(м×°C)
Коэффициент теплопроводности пенополиуретана, λPUR	0,029 Вт/(м×°C)

Сначала определяется плотность теплового потока. Воспользовавшись данными, определяем qL [3]:

$$qL = 112,6 \text{ Вт/м} \quad (1)$$

Определяющей формулой является отношение:

$$Ln B = 2\pi\lambda_{из}[(K(tw - toс)/ qL) - RH] \quad (2)$$

K - через опоры трубопроводов в расчете толщины тепловой изоляции по нормативной плотности теплового потока принимается равным 1; RH - линейное термическое сопротивление теплоотдаче наружной изоляции, м·°C/Вт (Определяется по Таблица В.3 согласно равным 0,04); λиз - коэффициент теплопроводности утеплителя, Вт/(м×°C); tw - температура среды внутри изолируемого объекта, °C; toс – максимальная отрицательная температура окружающей среды, °C; qL - нормы плотности теплового потока (112,6 Вт/м) [3].

Предварительно определяем величину Ln B,  
где  $B = (dn + 2\sigma_{из})/di$   
dn – наружный диаметр стенки, м; diз - наружный диаметр изоляции, м.

Следующим действием будет определение требуемой толщины теплоизоляции по формуле:

$$\sigma_{из} = dn(B-1)/2 \quad (4)$$

Из формулы (4) определяем толщину теплоизоляционного для пенополиуретан и полиизоцианурат (табл. 3).

Таблица 3

### Результаты расчетов толщины теплоизоляционного слоя

Материал	B, м	δиз, м
Пенополиуретан ( PUR )	1,2	0,102
Полиизоцианурат (PIR)	1,137	0,075

Далее рассмотрим экономические показатели применения теплоизоляции из полиизоцианурата:

Таблица 4

### Экономические показатели

Показатель	Пенополиуретан	Полиизоцианурат
Стоимость материала, руб./м2	От 1148	От 1 252
Работы по заливке материала в полость, руб./м3	От 20000	От 22000
Стоимость теплоизоляции для трубы, млн руб./км	12,358	10,196
	Капитальные затраты на теплоизоляцию при строительстве нефтепровода протяженностью 160 км.	
Стоимость теплоизоляции, млн руб.	1977,28	1631,36
Сокращение издержек, млн руб.	345,92	

Осуществление предлагаемого технического решения по теплоизоляции оказывает положительный экономический эффект (данные о стоимости указаны в табл. 4).

Анализ показал, что, несмотря на большую стоимость полиизоцианурата, обусловленную инновационностью материала на российском рынке, общая стоимость трубы с полиизоциануратом будет существенно ниже стоимости трубы с пенополиуретаном из-за разных значений толщин теплоизоляции (табл. 3).

Исследуя прошлый опыт строительства трубопроводов в условиях Крайнего Севера, можно предположить, что использование полиизоцианурата при строительстве нефтепровода Заполярье – Пурпе, около 160 км которого выполнены в надземном виде из-за многолетнемерзлых грунтов, вместо пенополиуретана позволило бы уменьшить капитальные затраты на теплоизоляцию примерно на 345 млн. руб.

В результате проведенной работы было предложено использование полиизоцианурата в качестве основного материала для теплоизоляции магистральных нефтепроводов. Согласно руководящим документам, были произведены расчеты толщины теплоизоляционного слоя для двух материалов и экономических показателей, которые выявили следующие результаты:

- Минимальная толщина теплоизоляционного слоя с применением пенополиуретан составляет 0,102 м;
- Минимальная толщина теплоизоляционного слоя с применением полиизоцианурата составляет 0,075 м;
- Внедрение полиизоцианурата при строительстве позволит сократить затраты на теплоизоляцию примерно на 17,5 %;

В целом, это обуславливается более низким коэффициентом теплопроводности и наибольшей жесткостью, которые в совокупности позволяют уменьшить толщину теплоизоляционного слоя полиизоцианурата.

#### Литература

1. Байков И.Р., Китаев С.В., Смородова О.В., Колотилов Ю.В. Анализ свойств теплоизоляционных материалов для трубопроводной арматуры//Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. № 9. С. 36-39.
2. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
3. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

### СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ОТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Бек В.Г.

Научный руководитель доцент О.В. Брусник

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Трубопроводный транспорт нефти является процессом, который требует значительных затрат на электроэнергию. Объекты группы «Транснефть» потребляют более 1,3 % электроэнергии от общего энергопотребления в России. В ПАО «Транснефть» для снижения энергопотребления действует Программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности ПАО «Транснефть» на 2021 – 2026 годы, один из целевых показателей которой является снижение потребления электроэнергии (ЭЭ) и энергетических ресурсов.

Согласно годовому отчету ПАО «Транснефть» за 2020 год количество покупной ЭЭ на транспорт нефти и нефтепродуктов равнялось 12 734 022 тыс. кВт·ч. стоимостью 42 525 480 тыс. руб. По результатам осуществления мероприятий по энергосбережению ежегодное снижение потребления ЭЭ от деятельности по перекачке нефти и нефтепродуктов должен составлять не менее 0,5 %.

Основными методами повышения энергетической эффективности транспортировки нефти являются:

- повышение эффективности очистки полости магистральных нефтепроводов (МН) от парафиновых отложений;
- частотное регулирование магистральных насосных агрегатов (МНА);
- применение противотурбулентных присадок (ПТП);
- конструктивные решения технологического участка (ТУ) МН: байпасы, лупинги, задвижки, тройники и т.д.;
- применение возобновляемых источников энергии.

Фактором, существенно влияющим на эффективность работы МН, является его пропускная способность. Загрязнение внутренней полости МН парафинистыми отложениями уменьшает его эквивалентный диаметр (ЭД), что приводит к снижению пропускной способности и повышению потребляемой насосом мощности.

Периодичность очистки регулирует «ОР 13.01-60.30.00-КТН-012-1-01 Регламент планирования работ по проведению очистки внутренней полости магистральных нефтепроводов ОАО «АК «Транснефть» специальными очистными устройствами (скребками)».

При периодической очистке МН происходит изменение количества потребляемой ЭЭ. Способ расчета данного изменения основан на сравнении расхода ЭЭ до и после очистки внутренней полости нефтепровода. Согласно работе [1] экономленая ЭЭ  $\Delta W$ , кВт·ч, оценивается следующим образом:

$$\Delta W = \frac{(h_1 - h_2) \cdot P}{A \cdot L \cdot \eta}, \quad (1)$$

- где  $h_1, h_2$  – потери напора на трение до и после очистки МН соответственно, м;  
 $P$  – грузооборот нефти за расчетный период, тыс. т. км;  
 $A$  – коэффициент, равный  $0,3672 \cdot 10^{-3}$  тыс. т. км/(кВт·ч);  
 $L$  – протяженность трубопровода, м;  
 $\eta$  – КПД МНА.

Потенциала  $\Delta W_{\text{год}}$ , кВт·ч, энергосбережения рассчитывается по формуле:

$$\Delta W_{\text{год}} = \Delta W \frac{n_{\text{пр}}}{\sum \Delta n_i}, \quad (2)$$

- где  $\Delta W$  – экономия ЭЭ за промежуток времени  $n_{\text{сум}}$ , кВт·ч;  
 $n_{\text{пр}}$  – интервал времени приведения потенциала энергосбережения, сут.

Потенциал экономии ЭЭ от периодической очистки МН примерно равен 0,67 % от технологического потребления ЭЭ.

Метод применения частотно - регулируемого привода (ЧРП) используют для регулирования расхода или давления в соответствии с фактической потребностью. ЧРП изменяет частоту электропитания, подаваемого на насосное оборудование. Согласно работе [2] применение ЧРП на МНА облегчает синхронизацию работы станций, позволяет уменьшить пусковые токи и динамические нагрузки при плавном частотном пуске, а также избежать гидравлических ударов в нефтепроводе, что приведет к увеличению срока службы насосов и линейного оборудования.

Согласно работе [3], потребление мощности одним МНА с ЧРП  $P_{\text{пер}}$ , Вт, определяется следующим образом: