

Новая технология ремонта магистральных нефтегазопроводов термоусаживающимися лентами низкотемпературного нанесения «НРЛ-СТ60»

И.И. Расстригин
генеральный директор

ООО «Новые технологии изоляции», Москва, Россия

Радиационная модификация полимеров в науке известна достаточно давно, однако прикладное применение в нефтегазодобывающих странах мира и последующее широкое внедрение данные разработки физиков-ядерщиков впервые нашли в 80-е гг. XX века в США. Этим изделием была полиэтиленовая лента (ТУЛ), дублированная адгезионным слоем на основе бутил-каучуковых композиций, или сополимера этилена и винилацетата, и применённая для наружной антикоррозионной изоляции промышленных и магистральных трубопроводов в качестве манжеты для изоляции сварных стыков труб.

Ключевые слова

трубопровод, магистральный трубопровод, нефтегазопровод, ремонт, изоляция, ТУЛ, адгезив

Исследования показали, что кроме эффекта «памяти», достигаемого при обработке интегральной поглощенной дозой 10–20 мрад, радиационное воздействие приводит к появлению новых уникальных физико-механических свойств полиэтилена. Речь идёт о таких свойствах, как увеличение температуры плавления полиэтилена до 300°C, сопротивление пробою изоляции до 50000 Вольт/1 мм толщины покрытия, увеличение значений таких параметров, как пенетрация (сопротивление вдавливанию), а также сопротивление истиранию и др. Кроме того, сравнение с соответствующими параметрами липких лент холодного нанесения, широко применявшихся в то время, показало, что разница значений идентичных параметров ТУЛ и липких лент составила от 2-х раз до 2-х порядков. С этого момента предпринимаются постоянные и многочисленные попытки разработки технологии по созданию конструкции наружного антикоррозионного покрытия на основе ТУЛ в трассовых условиях, полагая, что изоляция линейной части трубопроводов посредством ТУЛ — это новый уровень надёжности трубопровода. При этом совместно с мероприятиями катодной защиты, данная технология может привести к увеличению межремонтных циклов трубопроводов (прежде всего, в газовой отрасли) вплоть до срока службы самой трубы, в связи с высокими барьерными свойствами покрытия.

С момента освоения технологии производства ТУЛ прошло больше 35 лет, в конце 90-х гг. была широко внедрена технология заводского трёхслойного экструзионного полиэтиленового покрытия, которое до сегодняшнего дня считается эталоном качества, надёжности и долговечности и поэтому является единственным (освоенным) способом

строительства новых магистральных трубопроводов, а технология трассовой изоляции посредством ТУЛ до настоящего времени так и не была создана.

Если говорить о кратком обзоре существующих технологий и покрытий, то последние 12–15 лет при переизоляции трубопроводов в трассовых условиях наибольший удельный вес принадлежит мастично-битумно-полимерным (МБП) покрытиям холодного и горячего нанесения. Вторым способом ремонта магистральных трубопроводов является технология, суть которой заключается в демонтаже всей линейной части трубопровода с её дальнейшей заменой либо на новые трубы в заводской экструзионной изоляции, либо на трубы повторного применения с 2- или 3-слойным экструзионным весьма усиленным (ВУС) покрытием, которые после монтажных и сварочных работ, в зоне стыка изолируются термоусаживающимися манжетами. Однако, МБП-покрытия, являясь, в общем-то, удовлетворительными по свойствам, имеют ряд недостатков, не позволяющих их дальнейшее широкое внедрение. Эти недостатки известны, являются объективными и лежат в области технологии нанесения покрытия. Основными причинами являются нетехнологичность операций, а также пониженная адгезия покрытия при низкой скорости нанесения и высокой цене материалов (покрытие «РАМ»). Кроме того, это многочисленные нарушения технологии в части несоблюдения точных температурных режимов нанесения, при которых покрытие стекает в траншею при его перегреве, и, кроме невыполнения основной своей функции, приводит к экологическому коллапсу, либо отслаивается от трубы из-за невозможности армирования покрытия стеклотканью и низкой адгезии (рис. 1).



Рис. 1 — Примеры низкого качества МБП

Декларационный срок службы таких покрытий составляет 15 лет, а при нарушении технологии нанесения материалов – меньше 10 лет. Что касается перспектив труб повторного применения, то при высоком качестве покрытия их использование ограничивается высокой стоимостью, равно, как и ограниченным бюджетом заказчика, особенно в кризисное время. Экономическую ситуацию усугубляют временные и финансовые потери при перемещении труб от трасс магистральных трубопроводов до мест ремонта и обратно, доходящие до 30–35% от стоимости покрытия. Всё это говорит о кризисе в данной области эксплуатации трубопроводов всей нефтегазовой отрасли.

Обоснованием разработки новой технологии изоляции трубопроводов посредством ТУЛ низкотемпературного нанесения является создание конструкции покрытия в трассовых условиях, которая по своим прочностным характеристикам, а также по долговечности и надёжности, не уступала бы заводскому трехслойному полиэтиленовому покрытию. При этом, покрытие должно быть технологически и экономически конкурентоспособным по отношению к известным мировым аналогам. Общепризнано, что срок службы такого покрытия превышает 30–40 лет и сравним со сроком службы самой трубы, так как ТУЛ – основная конструкция покрытия, применяемая для изоляции сварных стыков труб. Причина таких высоких показателей в уникальных свойствах материала, а также в полной идентичности материалов стыка, выполненного из ТУЛ и материалов заводской экструзионной изоляции линейной части.

Созданная в ООО «Новые технологии изоляции» технология ремонта магистральных нефтегазопроводов в трассовых условиях посредством термоусаживающихся лент низкотемпературного нанесения «НРЛ-СТ60» реализована в мировой практике впервые

и на сегодняшний день не имеет известных аналогов.

Конструкция покрытия и материалы

1-й слой: Эпокси-полимерный праймер, толщина 60–80 мкм. Материал является гомогенной системой, готовой к применению.

2-й слой: Адгезионный слой (клей-расплав) низкотемпературного нанесения на основе композиции сэвилена, толщина слоя $S=0,8–1,25$ мм, в зависимости от диаметра трубы.

3-й слой: Радиационно-модифицированная полиэтиленовая основа, полученная методом плоскощелевой или кольцевой экструзии; имеет параметр продольной термодинамической ориентации (усадки) – 10–12%, доза облучения – 12–15 мрад, гель-фракция – около 60%, толщина до усадки $S=0,9–1,25$ мм, толщина после усадки $S=1,0–1,3$ мм. Общая толщина покрытия – не менее 2,0 мм. Конструкция покрытия разрешена ГОСТ Р 51164-98.

В качестве основного материала покрытия применена **ТУЛ низкотемпературного нанесения «НРЛ-СТ60»**, разработанная и производимая в ООО «Новые технологии изоляции», основное отличие которой от существующих аналогов заключается в том, что температура кристаллизации адгезионного слоя ленты «НРЛ-СТ60» составляет около $+60^{\circ}\text{C}$, выше которой начинается фаза плавления. Это показано на графике дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) материала (рис. 2). ДСК – это основной метод термического анализа, используемый для изучения фазовых переходов полимеров, то есть изменений, происходящих с полимером при нагревании.

Основные фазовые переходы – это стеклование, кристаллизация и плавление полимера. Значения данных фазовых переходов исследуются на графиках зависимости теплового потока от температуры. В данном случае

нас интересует температура кристаллизации. На графике ДСК конкретного образца эта температура составляет около 65°C (нижние пики), а при 78°C (верхние пики) происходит полное плавление кристалла данного полимера. На материал «НРЛ-СТ60» получены все необходимые сертификаты, а также положительные заключения ООО «Газпром ВНИИ-ГАЗ» и АО «ВНИИСТ».

В качестве грунтовки применён **однокомпонентный эпокси-полимерный праймер «ЭПП»**, впервые в мировой практике наносимый в трассовых условиях машинным способом и обеспечивающий трехслойную конструкцию покрытия. Так же как и адгезив, праймер «ЭПП» является низкотемпературным и имеет оптимальную температуру нанесения $40–80^{\circ}\text{C}$, кратковременно (1–2 мин) термостабилен при максимальной температуре 140°C , выше которой начинается деструкция материала. Кроме своего основного предназначения в технологии трассовой переизоляции, праймер «ЭПП» имеет большую перспективу применения при заводской изоляции, а также в конструкциях стыковых манжет в трассовых условиях, взамен применяемых сегодня двухкомпонентных эпоксидных праймеров, которые нетехнологичны в применении, что при монтаже манжеты создаёт ряд проблем:

- требуется приготовление праймера (смешивание компонентов А и Б, соответственно, эпоксидной смолы и отвердителя) непосредственно перед нанесением в сложных погодных условиях, что часто приводит к потере праймера, либо к браку при изоляции стыков труб;
- компонент Б (отвердитель), по сравнению с компонентом А (смолой), имеет в несколько раз меньший срок хранения (годности), нарушение которого приводит к невозможности создания качественного материала и, как следствие, прочного адгезионного соединения между праймером и трубой;
- температура нанесения двухкомпонентного праймера составляет около 100°C , что из-за опасений недогрева зоны стыка зачастую приводит к нарушению заводского покрытия и разрушению (деструкции) праймера при ее превышении, особенно, в зимний период. В свою очередь, уменьшение температуры нанесения праймера ведет к невозможности создания качественного грунтового слоя под покрытием.

В отличие от двухкомпонентных аналогов, однокомпонентный праймер «ЭПП» производства ООО «Новые технологии изоляции» готов к применению, упакован в герметичные ёмкости от 0,5 до 50 кг, может быть нанесён на трубу непосредственно после вскрытия упаковки, технологичен в применении. Способы нанесения праймера – ручной или машинный способ, от полива и растирки полотенцем, или нанесения силиконовым прикаточным роликом до распыления материала под давлением. Кроме того, праймер «ЭПП» в 1,5 раза дешевле его двухкомпонентных аналогов, до 60–70% которых в настоящее время приобретает по импорту.

Описание технологии

В связи с многочисленными неудачными попытками ведущих мировых компаний разработать технологию трассовой изоляции

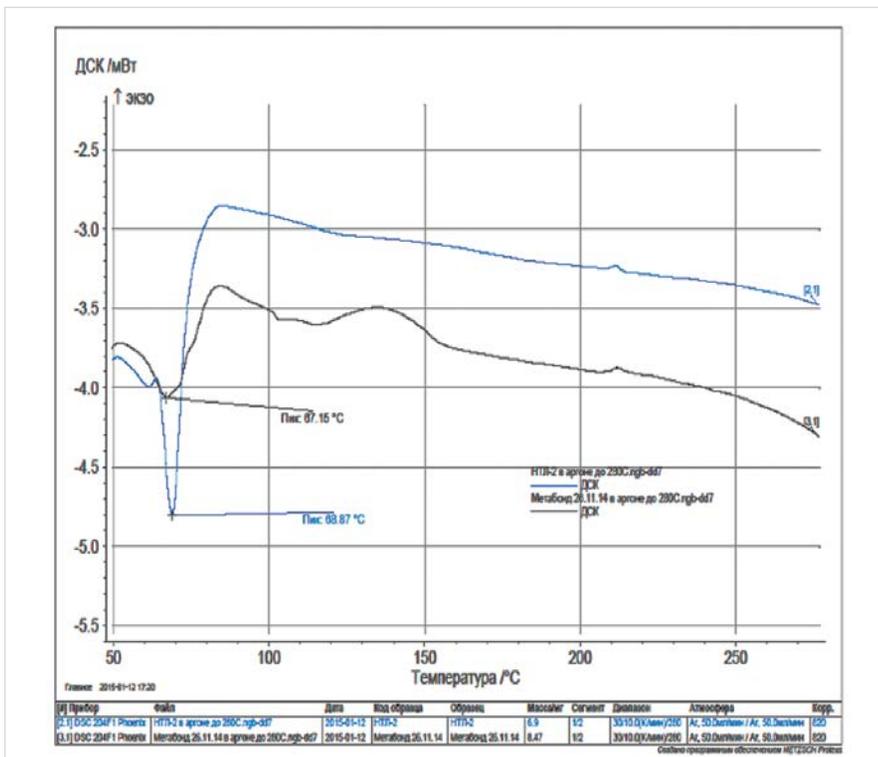


Рис. 2 — Дифференциальная сканирующая калориметрия адгезива ленты «НРЛ-СТ60»

протяжённых участков магистральных трубопроводов термоусаживающимися материалами, возникает логический вопрос о причинах этих неудач. Дело в том, что в основу исследовательского процесса всегда была положена очередность технологических операций нанесения термоусаживающейся манжеты на стык ручным способом. При таком способе нанесения предварительно нагревается труба до высоких температур (120–130°C) различными методами. Однако простой расчёт показывает, что для нагрева от 0°C до 120°C одного погонного метра трубы (например, D1420x16 мм) весом около 550 кг/пог.м со средней скоростью 1 м/мин в заводских условиях требуется создание тепловой мощности около 1,5–1,6 МВт, а в зимний период в трассовых условиях из-за низких температур окружающего воздуха, а также быстрого отвода тепла, связанного с ветровыми нагрузками и высокой теплопроводностью стали, требуется тепловая мощность более 2,8 МВт! Необходимость обеспечения технологии ремонта в трассовых условиях такими огромными мощностями, а также отсутствие адгезии в покрытии и нахлёсте из-за колоссальных тепловых потерь, привели эти разработки к неизбежному технологическому тупику. Кроме того, это были попытки реализовать только двухслойное покрытие, то есть конструкцию покрытия без эпоксидного праймера, что уменьшало возможность реализации технологии как по области применения, так и по диаметрам труб, в соответствии с ГОСТ Р 51164-98.

Поэтому при разработке нашей технологии было ясно, что ленты с высокотемпературными 100–110°C адгезивами не годятся,

требуется адгезив с температурой полимеризации не выше 60–70°C. Кроме того, поскольку эффективно нагреть трубу в трассовых условиях практически невозможно, было очевидно, что необходимо греть саму ленту для приведения адгезива в экструзионное (вязко-текучее) состояние. При таком подходе останется решить вопрос с кинематической схемой транспортирования ленты от рулона к трубе, которая (схема) должна обеспечить условия, при которых расплавленный адгезив не касался бы никаких конструктивных элементов устройства изоляционной машины.

Для реализации новой технологии была создана изолировочно-очистная механизированная колонна для трубы D820 мм производства ООО «Курганмашинжиниринг», отличающаяся от стандартной только наличием изоляционной машины новой конструкции. Последовательность технологических операций ремонтной мехколонны на трассе также стандартная. Все машины, входящие в мехколонну, имеют необходимые сертификаты и разрешены к применению.

В качестве базового варианта технологии принят процесс (рис. 3), в ходе которого адгезив (клей-расплав) низкотемпературного нанесения 3 в момент контакта с предварительно нагретой поверхностью трубы 1 до +40–50°C и нанесенным эпоксиполимерным праймером «ЭПП», разогрет до вязкотекучего (экструзионного) состояния и имеет температуру около 75–80°C. К моменту контакта адгезива и праймера последний находится практически в отверждённом состоянии. Далее, адгезив немедленно перераспределяется между неровностями трубы 2, прежде всего, в зоне нахлёста, при контакте последующего витка покрытия с предыдущим. Это перераспределение адгезива осуществляется специальным инструментом (показано стрелкой) с осью вращения, самоустанавливающейся параллельно оси трубопровода. При этом происходит гарантированное заполнение адгезивом пустот между покрытием и трубой, а также технологически исключается образование воздуха под нанесенным покрытием. Показательным аналогом этого процесса является бытовая наклейка обоев на стену, при которой лишний клей вместе с воздухом выдавливается (выгоняется) вручную или валиком от центра

рулона в двух направлениях — поступательном и к краям рулона.

Реализация температурных и временных режимов достигается за счет того, что в конструкции изоляционной машины в тракт перемещения ленты от рулона к поверхности трубопровода введено устройство нагрева ленты со стороны адгезионного слоя, а также механизм двойного разворачивания ленты (адгезионным слоем от трубы, затем — к трубе). При этом разогретый вязкий и липкий адгезив не контактирует ни с какими поверхностями, а при выходе из нагревательного устройства лента разворачивается слоем нагретого адгезива к поверхности трубопровода. Заключительной операцией технологии является термоусаживание ленты нагревательной машиной посредством электрических ТЭНов с тепловой мощностью около 30 кВт. После усадки (направление движения машины - слева направо) отчетливо виден коагулянт, косвенно свидетельствующий об отсутствии воздуха под покрытием (рис. 4).

Обобщая, следует отметить, что реализация технологии нанесения ТУЛ низкотемпературного нанесения «НРЛ-СТ60» на наружную поверхность трубопровода и создание 3-слойной конструкции изоляционного покрытия стали возможными благодаря следующим составляющим:

- наличие ТУЛ низкотемпературного нанесения «НРЛ-СТ60» (температура нагрева адгезива +80°Cmax);
- наличие однокомпонентного эпоксиполимерного праймера «ЭПП», готового к применению;
- сохранение температуры нагрева трубы за счёт экзотермической реакции при нанесении праймера «ЭПП», а также исключение влияния ветра при низкой температуре окружающего воздуха созданием «парникового эффекта» при отверждении праймера за счёт «испарения» летучих веществ, входящих в его состав;
- реализация способа контакта ленты и трубы, при котором адгезионный слой ленты в момент контакта находится в разогретом вязко-текучем, то есть, в экструзионном состоянии;
- реализация оригинального способа транспортирования ленты от рулона к трубе, при котором липкий клей-расплав (слой адгезива) не контактирует ни с какими поверхностями;
- сверхнизкое энергопотребление при реализации технологического процесса, в котором нагревается не труба, а сама лента.

Новая технология нанесения покрытия полностью автоматизирована, гарантированно исключает брак, основанный на «человеческом факторе» и, зачастую, на низкой культуре производства изоляционных работ, а также позволяет сократить численный состав ремонтной мехколонны из-за отсутствия рабочих в траншее во время техпроцесса. Это достигается посредством реализации метода так называемого «бесконечного рулона», при котором происходит замена рулонов без остановки ремонтной мехколонны. В совокупности с высокой скоростью производства работ достигается значительный экономический эффект при высоком качестве и надёжности покрытия.

Новая технология прошла опытно-промышленные испытания в АО «КазТрансОйл»,

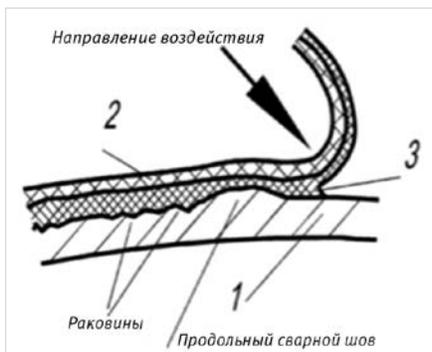


Рис. 3 — Схема контакта ленты «НРЛ-СТ60» с поверхностью трубы



Рис. 4 — Заклучительная операция технологии — термоусадка покрытия «НРЛ-СТ60»

Республика Казахстан (далее РК) в 2015 г. на магистральном нефтепроводе D820 мм «Павлодар–Шымкент» (рис. 5). Испытаниям предшествовала разработка техпроекта, который был согласован с эксплуатантом трубопровода, а также с МЧС, выполняющего в РК функции технического надзора. Результаты испытаний полностью подтвердили расчётные показатели технологии: при температуре окружающего воздуха около минус 10°C и скорости ветра около 15 м/сек машинным способом со средней линейной скоростью около 1 м/мин получено покрытие на протяжённом участке трубопровода с адгезией A=7 кг/см при 100% когезионном отрыве по металлу и по полиэтилену. В 2016 г. были проведены испытания по определению состояния покрытия и его адгезии к стали и полиэтилену, которые также подтвердили высокий уровень показателей. При 100% когезионном отрыве, адгезия по стали составила A=8 кг/см, а в межвитковом нахлесте по полиэтилену A=9 кг/см. Тем самым было подтверждено, что технология не зависит от внешних условий, прежде всего, от температуры окружающего воздуха, а также ветровых нагрузок.

Сравнение экономической эффективности покрытий

При сравнении с различными конструкциями покрытий (таб. 1), экономическая

Затраты, руб*	Виды покрытий			
	«РАМ»	«ВУС»	«ТУЛ»	ТУЛ «НРЛ-СТ60»
Стоимость материалов	6,465,000	8,730,000	4,754,373	4,000,000
Работа (маш/час+чел/час)	2,620,000	0	1,670,833	1,150,000
Манжеты (матер+работа)	0	595,000	595,000	0
ИТОГО:	9,085,000	9,325,000	7,020,206	5,150,000

Таб. 1 — Стоимость покрытий на 1км D1420x16,8 мм (труба в траншее), руб

* - Расчет произведен по ценам 2016 года, соотношение стоимости не изменится



Рис. 5 — Испытания покрытия «НРЛ-СТ60» на адгезию к стали и к полиэтилену (в нахлесте)

эффективность технологии основана на следующих основных факторах:

- снижение собственно стоимости материалов до 30%;
- увеличение скорости работ и, как следствие, производительности работ до 1,5–2 раз (маш/ч);
- снижение затрат за счет высокой автоматизации технологии и уменьшения количества персонала мехколонны и фонда оплаты труда (чел/ч).

Рекомендации по организации технологии капитального ремонта

Анализ различных технологий ремонта, а также их экономических показателей, позволяет сделать несколько выводов и рекомендаций по организации ремонта трубопроводов:

- 1) Проведение капитального ремонта трубами повторного применения эксплуатационным компаниям целесообразно проводить в рамках собственных ремонтных подразделений притрассового расположения. Это позволит избежать логистических и временных затрат, доходящих до 25–30% от стоимости отремонтированной трубы.
- 2) Целесообразно производить только механический ремонт труб с дальнейшим их транспортированием в зону трубопровода

для монтажа и изоляции в трассовых условиях посредством ТУЛ «НРЛ-СТ60» с качеством заводского экструзионного покрытия. Данный способ ремонта является наиболее оптимальным в связи с отсутствием необходимости покупки дорогостоящих манжет для изоляции стыков и мероприятий по их монтажу не только как самый дешёвый, но и самый быстрый.

Применение новой технологии на основе ТУЛ «НРЛ-СТ60» при капитальном ремонте позволит:

- получить срок службы покрытия, сравнимый со сроком службы самой трубы;
 - увеличить скорость мехколонны до 70–80 м/час за счет скорости производства работ и применения технологии «бесконечного рулона», а также возможности проведения работ при любых отрицательных температурах окружающего воздуха;
 - уменьшить количество рабочих в мехколонне, повысить культуру производства, улучшить экологическую обстановку в зоне действия магистрального нефтегазопровода (МНГП);
 - исключить дорогостоящие манжеты для изоляции стыков труб и работы по их нанесению при переизоляции магистральных трубопроводов;
 - исключить применение ручного нанесения термоусаживающихся лент при ремонте локальных и непротяжённых (50–200 м) участков трубопроводов, так как все исполнительные механизмы изоляционной машины могут быть смонтированы на ручном изоляционном приспособлении, широко применяемом практически во всех профильных компаниях отрасли. Впервые ручная изоляция локальных участков МНГП в трассовых условиях может иметь качество заводской экструзионной изоляции;
 - автоматизировать ручной процесс нанесения термоусаживающихся манжет при изоляции сварных стыков труб и полностью исключить брак при выполнении этой ответственной операции, доходящий до 50% (недогрев зоны стыка или термоокислительная деструкция заводского покрытия при перегреве). Это достигается монтажом исполнительного механизма изоляционной машины в стационарных условиях ремонтной полевой базы.
- Новая технология является полностью импортозамещающей, в которой применено оборудование, комплектующие изделия, материалы и их компоненты только российского производства.

По ссылке видеоролик технологического процесса



nrl2008@yandex.ru
www.ntiz.ru