

УДК 620.197.6:622.276.05

*В.И. Дарищев<sup>1</sup>, e-mail: viktor.darischev@lukoil.com; С.Н. Лысенков<sup>1</sup>; С.А. Галактионов<sup>2</sup>; Ю.В. Краснов<sup>2</sup>; О.И. Булаткин<sup>2</sup>*<sup>1</sup> ООО «Российская инновационная топливно-энергетическая компания» (РИТЭК) (Волгоград, Россия).<sup>2</sup> ООО «НПК «Мономер» (Волгоград, Россия).

## К вопросу о применении полимерных теплоизоляционных покрытий для насосно-компрессорных труб на месторождениях Приобской низменности

Особая актуальность проблемы применения полимерных антикоррозионных и теплоизоляционных покрытий для колонн насосно-компрессорных труб на месторождениях Приобской низменности Ханты-Мансийского автономного округа – Югры обусловлена особенностями разработки этих месторождений, в частности применением инновационных тепловых и термогазовых технологий. Поэтому вопрос о технико-экономической эффективности использования специальных теплоизолированных труб – термокейсов – для закачки горячих теплоносителей в скважины с высоковязкими углеводородами не теряет своей значимости.

В статье представлен анализ требуемых характеристик полимерных покрытий, применяющихся на месторождениях Приобской низменности, а также результаты стендовых и опытно-промышленных испытаний полимерного теплоизоляционного покрытия «Шельф-термос», разработанного по заказу ООО «РИТЭК» в 2018–2020 гг. Продолжительность стендовых испытаний составила 90 сут с момента высыхания полимерного покрытия. Данные температурных режимов снимались по трехчасовой схеме. В ходе экспериментов теплопроводность полимерного покрытия оценивалась для образцов труб со слоем полимера толщиной 2, 3, 4 и 5 мм. Эксперименты проводились при температуре 60, 80 и 90 °С. Кроме того, были проведены полевые испытания колонны насосно-компрессорных труб с теплоизоляционным покрытием на устье скважины № 228 Коробковского месторождения. В ходе исследований, в частности, установлено, что среднее значение теплопроводности полимерного покрытия составило 0,04 Вт/(м·К), что в 1050 раз меньше, чем у стали. В целом по результатам испытаний насосно-компрессорные трубы с полимерным покрытием «Шельф-термос» толщиной 5 мм рекомендованы для использования на нефтегазовых объектах компании ООО «РИТЭК» в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Применение таких труб обеспечит повышение эффективной передачи теплового потока в скважины глубиной до 2000 м.

**Ключевые слова:** полимерное покрытие, теплоизоляция, насосно-компрессорная труба, адгезионная способность, защитное свойство.

.....

*V.I. Darischev<sup>1</sup>, e-mail: viktor.darischev@lukoil.com; S.N. Lysenkov<sup>1</sup>; S.A. Galaktionov<sup>2</sup>; Yu.V. Krasnov<sup>2</sup>; O.I. Bulatkin<sup>2</sup>*<sup>1</sup> RITEK LLC (Volgograd, Russia).<sup>2</sup> Research and Production Company "Monomer" LLC (Volgograd, Russia).

## On the Issue of the Use of Polymer Heat-Insulating Coatings for Tubing in the Fields of the Priobskaya Lowland

Of particular relevance to the use of polymer anticorrosion and heat-insulating coatings for tubing strings in the fields of the Priobskaya lowland of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra is due to the peculiarities of the development of these fields, in particular, the use of innovative thermal and thermogas technologies. Therefore, the issue of technical and economic efficiency of using special heat-insulated pipes – thermal cases – for pumping hot heat carriers into wells with highly viscous hydrocarbons doesn't lose its significance.

The article presents an analysis of the required characteristics of polymer coatings used in deposits of the Priobskaya lowland, as well as the results of bench tests and field trials of the Shelf-thermos polymer insulation coating, developed by order of RITEK LLC in 2018–2020. The duration of bench tests was 90 days from the moment of drying of the polymer coating. The temperature data were recorded according to a three-hour scheme. During the experiments, the thermal conductivity of the polymer coating was evaluated for pipe samples with a polymer layer 2, 3, 4, and 5 mm thick.

The experiments were carried out at a temperature of 60, 80 and 90 °C. In addition, field tests were conducted of the tubing string with heat-insulating coating at the mouth of well No. 228 of the Korobkovskoye field. In the course of research, in particular, it was found that the average thermal conductivity of the polymer coating was 0.04 W/(m·K), which is 1050 times less than that of steel. In general, according to the test results, 5 mm thick Shelf-thermos polymer-coated tubing is recommended for use at RITEK LLC's oil and gas facilities in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra. The use of such pipes will increase the effective transfer of heat flux into wells up to 2000 m deep.

**Keywords:** polymer coating, thermal insulation, tubing, adhesive ability, protective property.

## ВВЕДЕНИЕ

К числу методов повышения эффективности теплоизоляции насосно-компрессорных труб (НКТ) относится применение полимерных покрытий. Как правило, такие полимерные композиции являются защитными материалами широкого спектра действия и успешно применяются в промышленном и гражданском строительстве, машиностроении и энергетике, а также в нефтегазовой отрасли. Нанесение полимерных композиций осуществляется на внутренние и внешние поверхности НКТ, вертикальных стальных резервуаров, а также на элементы отдельных конструкций, подверженных тепловому, коррозионному и химическому воздействию.



## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЯМ, ПРИМЕНЯЮЩИМСЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПРИОБСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Условия эксплуатации изделий с полимерными покрытиями на месторождениях Приобской низменности (ХМАО – Югра) требуют наличия у покрытия высокой склеивающей (адгезионной) способности – это необходимо, в частности, для нанесения покрытий в условиях, где нельзя применять традиционные методы. В том числе поэтому к числу требований к покрытиям относится отсутствие необходимости так называемой чистовой подготовки обрабатываемой поверхности, когда для нанесения покрытия достаточно удалить рыхлый слой (окалину), влагу и жировой налет, а затем полимерные

материалы можно наносить на поверхность, даже поврежденную коррозией. Покрытие с высокой адгезионной способностью, проникая во все неровности и поры и не оставляя воздушной прослойки, останавливает тем самым процесс коррозии и консервирует защищаемую поверхность.

В идеале полимерные покрытия, обладающие хорошими гидро- и теплоизолирующими защитными свойствами, могут применяться не только для изоляции НКТ, но и как:

- долговременные антикоррозионные, теплоизоляционные покрытия магистральных газо- и нефтепроводов, резервуаров, трубопроводов и металлоконструкций;
- кислотостойкие защитные покрытия для металла, бетона, пористых материалов;

- покрытия для защиты металлических поверхностей волновых зон, влажных поверхностей, искусственных водоемов, резервуаров и других водонаполненных сооружений, в том числе подверженных воздействию агрессивных сред;

- покрытия для гидроизоляции подземных сооружений с постоянным воздействием влаги, для защиты бетонных конструкций от подпора воды с высотой водяного столба до 20 м.

Для повышения прочности и износостойкости в состав покрытия могут быть внесены специальные наполнители: корундовый порошок, базальтовые, стеклянные или керамические чешуйки, стекло-, базальто- или угольная ткань, стойкие к износу полиуретановые каучуки и др.

Полимерные композиции, применяемые на месторождениях Приобской

Ссылка для цитирования (for citation):

Дарищев В.И., Лысенков С.Н., Галактионов С.А., Краснов Ю.В., Булаткин О.И. К вопросу о применении полимерных теплоизоляционных покрытий для насосно-компрессорных труб на месторождениях Приобской низменности // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2020. № 5–6. С. 30–34.

Darischev V.I., Lysenkov S.N., Galaktionov S.A., Krasnov Yu.V., Bulatkin O.I. On the Issue of the Use of Polymer Heat-Insulating Coatings for Tubing in the Fields of the Priobskaya Lowland. Territorija "NEFTEGAS" [Oil and Gas Territory]. 2020;(5–6):30–34. (In Russ.)

Таблица 1. Технические характеристики полимерного покрытия «Шельф-термос»

Table 1. Technical characteristics of the polymer coating Shelf-thermos

Характеристика Characteristic	Величина Value
Предел прочности при отрыве при температуре (20±2) °С через 1 сут, МПа, не менее Tensile strength at separation at a temperature of (20±2) °C after 1 day, МПа, not less	9,5
Адгезия к металлу, баллов Adhesion to metal, points	1,1
Прочность на истирание на установке Fritz Heckert при нагрузке 10 Н, окружной скорости 0,3 м/с, г/см <sup>2</sup> Abrasion resistance on the Fritz Heckert installation at a load of 10 N, peripheral speed 0.3 m/s, g/cm <sup>2</sup>	0,00408
Массовая доля нелетучих веществ, %, не менее Mass fraction of nonvolatile substances, %, not less than	81,0
Прочность при ударе, МПа, не менее Impact strength, МПа, not less	42,6
Твердость по Шору А, усл. ед. Shore A hardness, с. и.	95,0
Прочность на растяжение, МПа Tensile strength, МПа	67,3
Эластичность пленки при изгибе, мм, не менее Film elasticity in bending, mm, not less	1,0
Время высыхания до степени 3 при температуре (20±2) °С, ч Drying time to degree 3 at a temperature of (20±2) °C, h	Не более 12 No more than 12
Удельное поверхностное сопротивление, Ом Surface resistivity, Ohm	2·10 <sup>14</sup>
Электрическая прочность, кВ/мм Dielectric strength, kV/mm	103
Водопоглощение, %, не более Water absorption, %, no more	0,002
Устойчивость к термоциклированию, количество циклов без отслаивания и растрескивания покрытия в диапазоне температур: Resistance to thermal cycling, the number of cycles without peeling and cracking of the coating in the temperature range: • от –(50±3) до (20±5) °С from –(50±3) to (20±5) °C • от –(60±3) до (20±5) °С from –(60±3) to (20±5) °C	Не менее 22 Not less than 22 Не менее 21 Not less than 21
Площадь катодного отслаивания, см <sup>2</sup> , после 30 сут испытаний в 3 %-ном растворе NaCl при потенциале поляризации 1,5 В при температуре: The area of cathodic exfoliation, cm <sup>2</sup> , after 30 days of testing in a 3 % NaCl solution with a polarization potential of 1.5 V at a temperature: • (20±5) °С • (40±3) °С	Не более 2,3 No more than 2.3 Не более 4,2 No more than 4.2
Стойкость пленки покрытия к действию: Resistance of the coating film to action: • 25 %-ного раствора серной кислоты 20 °С 25 % sulfuric acid solution 20 °C • 75 %-ного раствора фосфорной кислоты при 20 °С 75 % phosphoric acid solution at 20 °C • 20 %-ного водного раствора аммиака при 20 °С 20 % aqueous ammonia at 20 °C • 40 %-ного водного раствора NaOH 40 % aqueous NaOH solution • бензина АИ-80 gasoline AI-80 • дизельного топлива diesel fuel • нефти (50 % нефти/50 % воды) и солей в концентрации не менее 120 тыс. мг/л oil (50 % oil/50 % water) and salts in a concentration of not less than 120 thousand mg/L	Стойкая Persistent

низменности ХМАО – Югры, выполняют функцию грунтовок, содержат в своем составе как ингибитор, так и пассивный протектор коррозии, что обеспечивает наличие у покрытий надежных антикоррозионных свойств даже при контакте с высокоагрессивными средами и позволяет защитить металлические поверхности, постоянно контактирующие с агрессивными средами на срок 10 и более лет (зона эксплуатации С5-М по ISO 12944:2018).

### РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ И ОПЫТНО-ПРОМЫСЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ «ШЕЛЬФ-ТЕРМОС»

В 2018–2020 гг. по техническому заданию ООО «РИТЭК» было разработано полимерное покрытие, технические характеристики которого представлены в табл. 1.

Были произведены опытные партии данного покрытия и проведены исследования, направленные на оценку его теплоизоляционных характеристик. Работы по нанесению покрытия на трубы на промышленной площадке ООО «НПК «Мономер» были выполнены в двух вариантах – с полимерной сеткой и без нее.

Для исследования теплоизоляционных характеристик покрытия были созданы три стенда:

- для определения теплопроводности покрытия;
- со смонтированной НКТ без покрытия;
- со смонтированной НКТ с покрытием (четыре трубы) и одной трубой, покрытой полимерной сеткой.

Длина смонтированной для испытаний НКТ составляла 50 м. Стенды с трубами были подключены к циркуляционным насосам, проточным нагревателям и оснащены системой защиты, температурными датчиками, смонтированными в точках подачи и обратной линии теплоносителя, а также датчиками на поверхности полимерного покрытия, нанесенного на трубы. Данные с датчиков были выведены на щит контроля, оборудованный приборами цифрового контроля.

Экспериментальные стенды работали в непрерывном режиме 90 сут с момента высыхания полимерного покрытия. Дан-

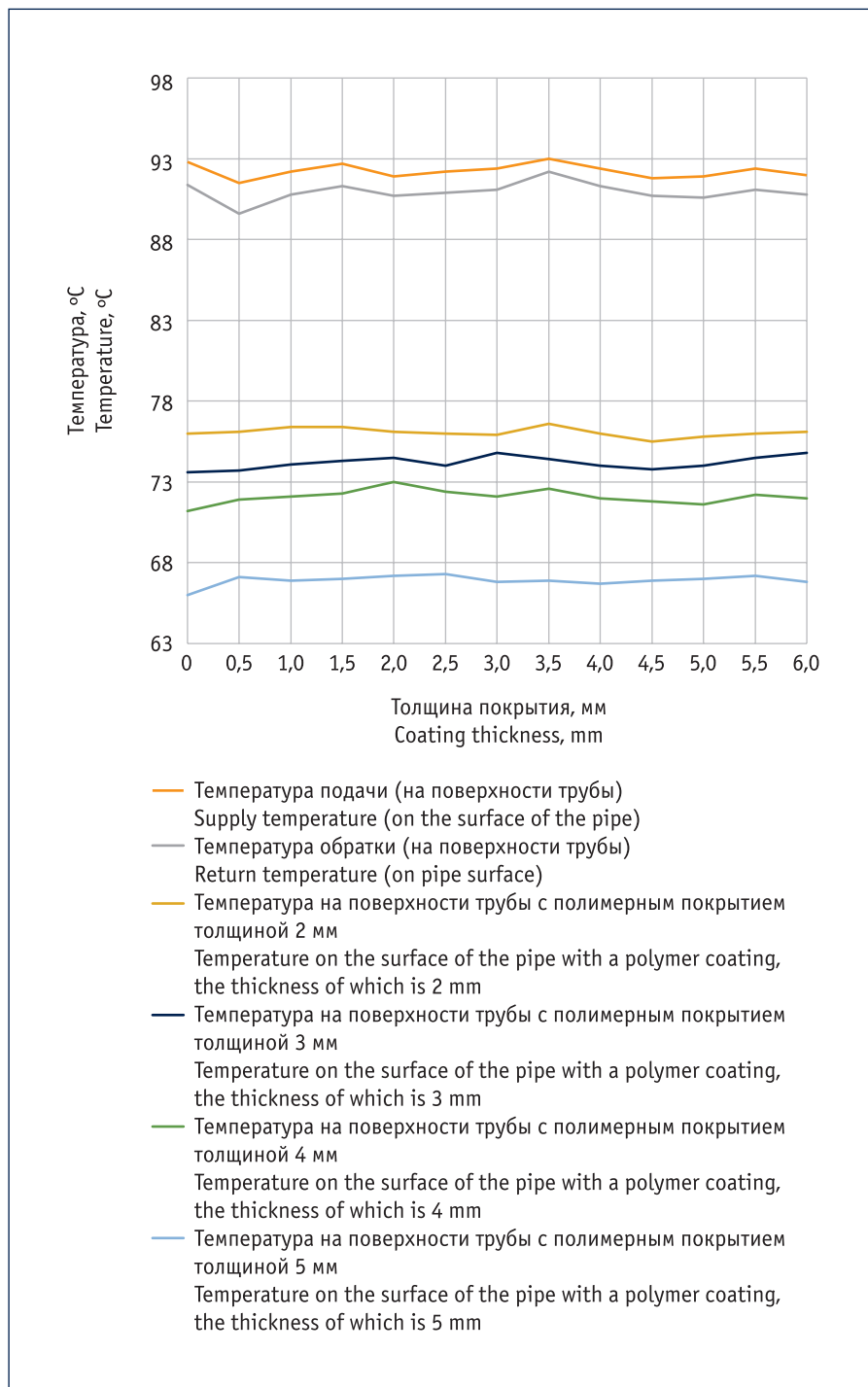


Рис. 1. Зависимость изменения температуры на поверхности труб с полимерным покрытием разной толщины. Температура теплоносителя в трубах – 90 °C

Fig. 1. The dependence of temperature changes on the surface of pipes with a polymer coating of different thicknesses. The temperature of the coolant in the pipes is 90 °C

ные температурных режимов снимались по трехчасовой схеме.

Для определения тепловых характеристик были выполнены соответствующие расчеты с использованием закона Фурье и на основании гипотезы, согласно ко-

торой температура в цилиндрической стенке изменяется по логарифмическому закону.

Для расчета теплоемкости цилиндрического слоя полимерного покрытия была использована формула:

$$\lambda = \frac{Q \ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi l (T_{w1} - T_{w2})}, \quad (1)$$

где  $Q$  – величина теплового потока, Вт;  $d_1$  и  $d_2$  – диаметры внутренней и наружной поверхностей цилиндрической стенки соответственно, м;  $l$  – длина образца, м;  $T_{w1}$ ,  $T_{w2}$  – температура на внутренней и наружной стенках покрытия, °C, соответственно.

Для экспериментального определения теплопроводности полимерного покрытия был сконструирован лабораторный стенд, состоявший из нагревательного элемента и образцов труб, на которые нанесли слой полимера толщиной 2, 3, 4 и 5 мм соответственно. Показания температуры фиксировались теплоизолированными датчиками, чтобы исключить влияние температуры окружающей среды на показания. Индикация показаний выполнена приборами ТРМ 500. Эксперимент по определению теплоемкости состоял из двух этапов. На первом определялась реакция полимера при долгосрочном нагреве трубы образца, исследовалось, изменяется ли температура на его поверхности со временем при постоянной температуре образца. На втором этапе определялась теплопроводность полимера.

Результаты первой части эксперимента приведены в графиках (рис. 1). Эксперименты проводились при температуре 60, 80 и 90 °C. Эксперимент показал, что теплопроводность полимерного покрытия и разница температур не меняются с течением времени. Длительность каждого эксперимента составляла 6 ч при постоянной температуре подаваемого теплоносителя, показания снимались раз в 30 мин.

Во второй части эксперимента теплопроводность полимера была рассчитана по формуле:

$$\lambda = \frac{UI \ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi l (T_{w1} - T_{w2})}, \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение на нагревателе, В;  $I$  – сила тока, А.

Расчет показал, что среднее значение теплопроводности полимерного покрытия составило  $\lambda = 0,04$  Вт/(м·К), что в 1050 раз меньше, чем у стали (для сравнения: среднее значение

Таблица 2. Изменение температуры теплоносителя в колонне насосно-компрессорных труб с полимерным покрытием

Table 2. Dynamic in coolant temperature in a polymer-coated tubing string

Параметр Parameter	Величина Value					
Зенитная осевая координата сечения скважины (глубина) $x_r$ , м Zenith axial coordinate of the well section (depth) $x_r$ , m	20	200	300	600	1000	2000
Температура невозмущенной горной породы для каждого сечения $\tau_r$ , °C Unperturbed rock temperature for each section $\tau_r$ , °C	6,4	10,0	12,0	18,0	26,0	46,0
Температура теплоносителя (вода) в сечении $t_r$ , °C Heat carrier temperature (water) in the section $t_r$ , °C	89,96	87,002	85,406	81,558	77,268	70,256



Рис. 2. Полевые испытания колонны насосно-компрессорных труб с теплоизоляционным полимерным покрытием «Шельф-термос» на устье скважины № 228 Коробковского месторождения

Fig. 2. Field tests of a column of pump and compressor pipes with a thermal insulation polymer coating Shelf-thermos at the wellhead No. 228 of the Korobkovskoye field

теплопроводности пенополистирола  $\lambda = 0,03$  Вт/(м·К).

На основе результатов расчетов было определено изменение температуры теплоносителя в колонне НКТ с полимерным покрытием на участке на-

гнетательной скважины с глубинами 20–2000 м (табл. 2).

Для проверки прочности полимерного покрытия были проведены промышленные испытания колонны НКТ на растяжение с применением агрегата А-50.

Кроме того, в I квартале 2020 г. были проведены полевые испытания колонны НКТ с теплоизоляционным покрытием «Шельф-термос» на устье скважины № 228 Коробковского месторождения (рис. 2).

Испытания НКТ с полимерным теплоизоляционным покрытием производства ООО «НПК «Мономер» в двух вариантах исполнения в целях определения стойкости к растрескиванию и качества покрытия на различных осевых нагрузках при растяжении подтвердили исходные характеристики полимерного покрытия (табл. 1).

Результаты испытаний, в частности, показали, что при растягивающих напряжениях (нагрузках) 5, 10, 15, 20, 22 т и выдержке при этих нагрузках наружное покрытие НКТ в обоих вариантах исполнения не подвергалось разрушению, отслоению, трещины не образовались. Трубы были обследованы визуально на мостках. При последующем механическом ударном воздействии на трубы нарушений целостности покрытия не выявлено. Комиссией были сделаны выводы, что испытания НКТ с полимерным покрытием ООО «НПК «Мономер» прошли успешно.

## ВЫВОДЫ

По результатам стендовых и опытно-промышленных испытаний НКТ с полимерным покрытием «Шельф-термос» толщиной 5 мм рекомендованы для использования на нефтегазовых объектах компании ООО «РИТЭК» в ХМАО – Югре. Применение таких НКТ с полимерным покрытием обеспечит существенное повышение эффективной передачи теплового потока в скважины глубиной до 2000 м.