

УДК 667.6

А. Л. Шутова, Н. Р. Прокопчук, А. Н. Потапчик, Е. Н. Сабадаха
Белорусский государственный технологический университет

ЭПОКСИДНЫЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В работе исследованы технологические, физико-механические и защитные свойства эпоксидных лакокрасочных составов отечественного и зарубежного производства с целью отбора наилучших для защиты от наружной коррозии труб подземных тепловых сетей. Разработаны методики и ускоренная программа оценки старения и разрушения лакокрасочных покрытий, нанесенных на подземные теплопроводы. Проведены исследования на старение лакокрасочных покрытий в условиях воздействия факторов, характерных для эксплуатации подземных тепловых сетей на плоских образцах и на моделях труб с элементами коррозии.

Исследования показали, что не все эпоксидные лакокрасочные материалы обеспечивают надежную защиту в условиях эксплуатации трубопроводов тепловых сетей. Наилучшую защиту от воздействия тепла, влаги и агрессивных сред создает эпоксидная краска Inerta Mastic Miox (производитель Teknos) при использовании в виде двухслойного покрытия даже на трубах с элементами коррозии.

Ключевые слова: эпоксидный лакокрасочный материал, трубопроводы, термостойкость, термовлагостойкость, солестойкость, коррозия.

A. L. Shutova, N. R. Prokopchuk, A. N. Potapchik, E. N. Sabadakha
Belarusian State Technological University

EPOXY PAINTWORK MATERIALS FOR THERMAL NETWORK PIPELINES

Technological, physical-mechanical and protective properties of epoxy paints of home and foreign production are studied for the purpose of selection the best ones for protection against external corrosion of heat network pipelines. Methods and an accelerated program for evaluating the aging and destruction of coatings applied to underground heat pipes have been developed. Tests for aging of coatings under the conditions of heat network pipelines operation have been carried out on flat specimen and on pipe models with corrosion elements.

Studies have shown that not all epoxy paints provide reliable protection of heat network pipelines operation. The best protection against heat, moisture and aggressive environments is provided by Inerta Mastic Miox (Teknos) epoxy paint using as a two-layer coating even on pipes with corrosion elements.

Key words: epoxy paintworks, pipelines, thermostability, thermal and humidity resistance, salt resistance, corrosion.

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь ассортимент защитных лакокрасочных материалов достаточно широк. Но для подбора лакокрасочных материалов для определенных и достаточно жестких условий эксплуатации необходимо проводить дополнительные исследования.

Стальные трубопроводы тепловых сетей можно защитить от воздействия агрессивных факторов антикоррозионными лакокрасочными материалами. Такие лакокрасочные материалы должны обладать высокими защитными свойствами и сохранять их длительное время в условиях эксплуатации при воздействии следующих факторов: тепло, влага и их одновременное воздействие, агрессивные среды.

Выбор типа защитных антикоррозионных покрытий для трубопроводов тепловых сетей должен производиться по максимальной температуре теплоносителя с учетом способа прокладки теп-

ловых сетей, вида тепловой изоляции, состояния защищаемой поверхности труб, располагаемых технологий ее подготовки и условий нанесения покрытия. В нашей стране при выборе защитных антикоррозионных покрытий для трубопроводов тепловых сетей необходимо руководствоваться информацией, представленной в табл. 1.

В соответствии с [1, 2] антикоррозионные покрытия, предназначенные для защиты трубопроводов водяных тепловых сетей от наружной коррозии, должны отвечать следующим требованиям:

1) термостойкость – при температуре 120°C в течение 375 ч;

2) термовлагостойкость – 50 циклов увлажнение/сушка;

3) стойкость в агрессивных средах – сохранение покрытием защитных свойств под воздействием воды, 3%-ного и 9%-ного раствора хлорида натрия, кислого раствора ($\text{pH} = 2,5$), щелочного раствора ($\text{pH} = 10,5$).

Таблица 1

Факторы, влияющие на выбор лакокрасочных материалов для защиты наружной поверхности труб тепловых сетей

Наименование фактора	Значения
Способ прокладки трубопроводов	Канальная прокладка
Максимальные температуры теплоносителя	105°C/24 ч/год 120°C/12 ч/5 лет
Тип теплоизоляции	Стекловата
Материал труб	Сталь 20, 17ГС
Состояние защищаемой поверхности труб (ГОСТ 9.402): – плоские образцы	Степень очистки 2
– модельные образцы труб	Без очистки, степень окисления D
Способ нанесения лакокрасочных материалов	Кисть, валик, безвоздушное распыление
Условия проведения окрасочных работ	Окраска в полевых условиях

После полного цикла стендовых испытаний защитное антикоррозионное покрытие должно сохранять целостность (отсутствие разрушений покрытия и коррозии металла образцов), а физико-механические показатели его должны быть на следующем уровне:

- сплошность – 100%;
- прочность при ударе – не ниже 30 см;
- адгезия – с оценкой «удовлетворительная» (1 или 2 балла);
- эластичность при изгибе – отсутствие излома на оправке диаметром не более 100 мм;
- водопоглощение – не более 0,6% после 120 ч нахождения в воде.

Методическая часть. Для проведения испытаний лакокрасочные материалы наносили кистью на зачищенные до степени очистки 2 стальные пластины из стали марки 08 кп размером 70×150×(0,8–1,0) мм или на модели труб с элементами коррозии. Определение физико-механических и защитных свойств лакокрасочных покрытий проводили по стандартным методи-

кам: твердость (ГОСТ 5233–89), прочность при ударе (ГОСТ 4765–73), адгезия методом решетчатых надрезов (ГОСТ 15140–78), стойкость к статическому воздействию воды, 3%-ного и 9%-ного раствора хлорида натрия, кислотного раствора ($\text{pH} = 2,5$), щелочного раствора ($\text{pH} = 10,5$) (ГОСТ 9.403–80).

В основу расчета продолжительности испытаний на термостойкость положен наиболее распространенный график работы водяных тепловых сетей в Республике Беларусь 120/70°C. Продолжительность работы водяной тепловой сети с максимальной температурой теплоносителя 105°C составляет в среднем около 24 ч в год, также во время проведения диагностических работ (1 раз в 5 лет) температуру теплоносителя поднимают до 120°C на 12 ч. Период нормативного срока службы тепловой сети – 25 лет. Поэтому продолжительность работы тепловой сети с максимальной температурой теплоносителя 120°C составляет 300 ч. Для ужесточения условий испытаний защитного покрытия на термостойкость продолжительность испытаний принята на 25% больше – 375 ч.

Испытания на термостойкость проводили на плоских образцах без тепловой изоляции. На рис. 1 приведен график изменения температур при испытаниях на термостойкость (недельный цикл). Режим испытаний предусматривает периодические (раз в сутки) снижения температуры до 20–25°C. Суммарное время воздействия повышенной температуры на покрытия за одну неделю составит 35 ч. Основной задачей этих испытаний является проверка изменения физико-механических показателей покрытия при длительном воздействии высоких температур.

Продолжительность испытаний защитного покрытия на термовлагостойкость определяли из расчета двух полных увлажнений тепловой изоляции в год (весенний и осенний периоды), что за расчетный срок службы тепловой сети, принятый равным 25 годам, составило 50 циклов увлажнение/сушка.

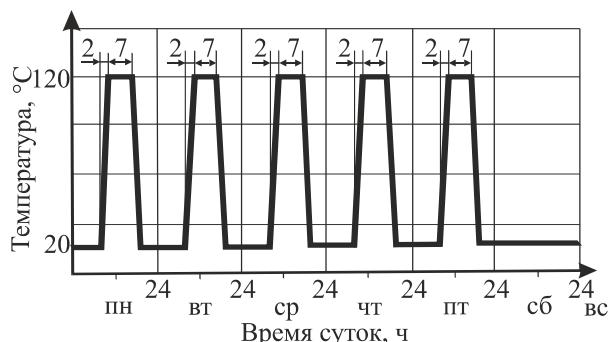


Рис. 1. График изменения температуры при испытаниях на термостойкость (недельный цикл)

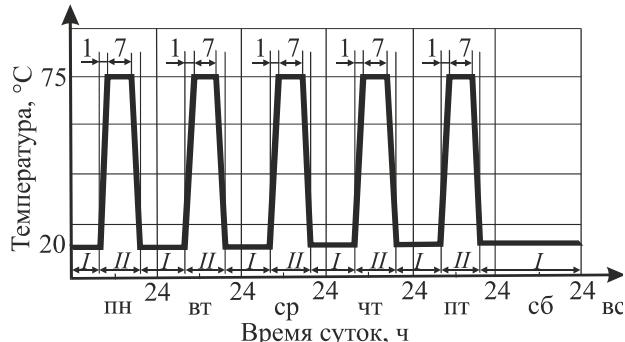


Рис. 2. График изменения температуры при испытаниях на термовлагостойкость (недельный цикл):
I – период увлажнения; II – период сушки

Таблица 2

Технологические свойства эпоксидных лакокрасочных материалов

ЛКМ	Внешний вид пленки		Массовая доля нелетучих веществ, %	Степень перетира, мкм, не более	Время высыхания, ч, при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ до степени	
	цвет	блеск			1	3
1	Серый	Матовый	69,2	85	0,5	1,3
2	Серый	Матовый	54,2	50	0,8	1,5
3	Серебристо-серый	Глянцевый	75,4	25	3,0	—
4	Серо-фиолетовый	Глянцевый	57,5	43	1,5	6,0
5	Желтовато-белый	Глянцевый	86,7	35	3,0	—
6	Белый	Глянцевый	79,9	15	1,0	4,3
7	Оливковый	Глянцевый	81,0	40	0,9	6,5
8	Серый металлик	Глянцевый	81,1	60	1,3	3,0
9	Черный дегтевый	Глянцевый	69,4	55	0,7	1,5

Примечание. «—» – невозможно определить значение в связи с продолжительным временем формирования покрытия.

При испытаниях продолжительность одного цикла увлажнения и последующего высыхания тепловой изоляции, нанесенной на образец, принята равной одному дню. Полное увлажнение тепловой изоляции на образцах достигалось погружением образцов в сосуды с водой, после чего предусматривалась сушка покрытий в течение 7 ч (см. рис. 2 на с. 97).

Для испытаний на термовлагостойкость принята температура 75°C , при которой в условиях подземных прокладок тепловых сетей скорость коррозии стальных трубопроводов достигает максимального значения. Испытания на термовлагостойкость проводили на моделях труб и на плоских образцах с тепловой изоляцией.

Исследование технологических свойств лакокрасочных материалов (табл. 2). В работе исследованы 9 эпоксидных лакокрасочных составов отечественного и импортного производства. Практически все лакокрасочные составы имеют высокий сухой остаток (больше 60%), за исключением красок № 2, 4. К лакокрасочным материалам с высоким сухим остатком можно отнести образцы № 1, 3, 5–9.

Вязкость исследуемых лакокрасочных материалов варьируется в широком диапазоне, начиная от 43 с по В3-4 и до очень густых, вязкость которых невозможно определить. Сочетание высокого сухого остатка и высокой вязкости позволяет получать необходимую толщину покрытий при нанесении лакокрасочного материала в один слой кистью и избежать стекания лакокрасочного материала с выпуклой поверхности трубы.

Из исследуемых составов образец № 1 характеризуется большим размером частиц (более 85 мкм). Поскольку для покрытий трубопроводов к декоративному виду предъявляются не высокие требования, то степень перетира лакокрасочных материалов не является первосте-

пенным фактором отбора, но повышенная их сорность нежелательна.

Время высыхания лакокрасочных материалов определяет производительность окрасочных работ и время, через которое можно проводить теплоизоляцию окрашенной поверхности. В связи с тем, что формирование покрытий происходит в полевых условиях (естественная сушка), то отметим образцы, которым для достижения 1-й степени высыхания необходимо менее 1 ч: № 1, 2, 6, 7, 9.

Исследование свойств однослойных покрытий (табл. 3). В процессе термообработки в покрытиях происходят различные физические и химические процессы: испарение остаточных растворителей, продолжение химического отверждения и последующая деструкция.

После испытаний на термостойкость и термовлагостойкость внешний вид всех покрытий практически не изменился, за исключением уменьшения блеска и незначительного изменения цвета. Но к декоративным свойствам исследуемых покрытий не предъявляются высокие требования, поэтому это не являлось определяющим фактором отбора.

Водопоглощение исследуемых покрытий в процессе термической обработки изменялось для всех образцов. Наименьшее количество воды в процессе всего эксперимента поглощали покрытия № 4, 6, 8, 9.

Твердость лакокрасочных покрытий при выдержке при 120°C у всех образцов возрастила, что связано с продолжением их химического отверждения под действием повышенной температуры и увеличения плотности сшивки связующего. Но высокое значение твердости приводит в итоге к снижению прочности покрытий при ударе, что и было зафиксировано практически для всех покрытий. После 375 ч выдержки покрытий при 120°C прочность при ударе равна или выше 30 см у покрытий на основе составов № 1, 4, 9.

Таблица 3
Термостойкость и термовлагостойкость однослойных покрытий эпоксидных лакокрасочных материалов

ЛКМ	Свойства покрытий в зависимости от времени термообработки						Термовлагостойкость, циклы	
	0 ч			375 ч				
	Водопоглощение, %	Прочность при ударе, см	Адгезия, балл	Водопоглощение, %	Прочность при ударе, см	Адгезия, балл		
1	2,9	100	1	3,9	100	1	28	
2	1,7	70	1	2,0	20	2	25	
3	1,1	35	1	2,7	20	1	28	
4	0,5	40	1	0,5	30	1	50	
5	0,4	20	2	0,7	15	4	14	
6	0,7	30	1	0,4	10	2	14	
7	0,1	50	2	1,4	15	2	50	
8	0,5	35	2	0,2	20	2	50	
9	0,3	70	1	0,5	30	1	40	

Таблица 4
Термостойкость и стойкость к статическому воздействию агрессивных сред двухслойных покрытий эпоксидных лакокрасочных материалов

ЛКМ	Термовлагостойкость, циклы	Стойкость к статическому воздействию агрессивных сред, сут				
		вода	3% р-р NaCl	9% р-р NaCl	р-р HCl	р-р NaOH
1	8	16	25	25	1	35
2	10	71	29	10	1	90
3	50	120	120	120	120	13
4	50	120	100	71	120	120
5	23	86	40	42	1	74
6	8	31	74	25	20	13
7	50	120	120	120	120	120
8	50	120	120	120	120	120
9	10	16	25	10	7	20

После испытаний на термостойкость только покрытие на основе состава № 5 характеризуется неудовлетворительной адгезией. Снижение адгезии в процессе эксплуатации покрытий свидетельствует об ослаблении силы сцепления лакокрасочного покрытия и металлической поверхности, что приведет к большему скоплению агрессивных сред на границе металл – полимерное покрытие и ускорит протекание коррозионных процессов.

Исследования термовлагостойкости показали, что покрытия на основе лакокрасочных составов № 4, 7, 8 выдержали 50 циклов увлажнение/сушка без появления сыпи и пузырей. Адгезия после испытания 50 циклами у этих образцов удовлетворительная, а прочность при ударе состава № 4 – 40 см, а составов № 7 и 8 – менее 30 см. Также хорошей термовлагостойкостью (40 циклов) характеризуется однослойное покрытие № 9, при этом физико-механические свойства его соответствуют требованиям.

Исследование свойств двухслойных покрытий на плоских образцах (табл. 4). Двухслойные покрытия на основе эпоксидных лакокрасочных материалов № 3, 4, 7, 8 характеризуются наилучшей термовлагостойкостью – 50 циклов.

Высокая стойкость к статическому воздействию агрессивных сред лакокрасочных покрытий трубопроводов тепловых сетей – одно из главных условий долговечности и надежности работы окрашенных трубопроводов.

Покрытия № 7 и 8 характеризуются отличной стойкостью к статическому воздействию во всех исследуемых средах. Лакокрасочный материал № 3 обеспечивает отличную водо-, кислото- и солестойкость, но не защищает от воздействия щелочного раствора. Абсолютно не стойким в растворе кислоты оказалось двухслойное покрытие на основе лакокрасочных материалов № 1, 2, 5.

При отборе лакокрасочных материалов для второго этапа исследований учитывали тот

факт, что наличие хороших физико-механических свойств покрытий без устойчивости к статическому воздействию агрессивных сред, тепла и влаги не позволит получить долговечное покрытие. Следовательно, наиболее надежную защиту поверхности трубопроводов обеспечат лакокрасочные материалы № 3, 4, 7, 8.

Исследование свойств двухслойных покрытий на моделях труб с элементами коррозии (табл. 5). Лакокрасочные материалы № 3, 7 и 8 даже при нанесении на ржавую поверхность выдерживают 50 циклов увлажнение/сушка. Максимальную стойкость к статическому воздействию всех агрессивных сред обеспечивает только лакокрасочный материал № 8.

Таблица 5
Защитные свойства двухслойных покрытий
на моделях труб

ЛКМ	Термовлагостойкость, циклы	Стойкость к статическому воздействию агрессивных сред, сут				
		вода	3% р-р NaCl	9% р-р NaCl	р-р HCl	р-р NaOH
3	50	70	70	70	70	15
4	16	21	24	30	24	31
7	50	70	70	70	55	70
8	50	70	70	70	70	70

В соответствии с комплексной оценкой наилучшие свойства покрытий характерны для лакокрасочного материала № 8, следовательно, двухслойное покрытие на основе этого состава обеспечит самую надежную защиту как хорошо

подготовленных труб, так и со значительными элементами коррозии.

Хорошую защиту на подготовленных образцах создает и лакокрасочный материал № 7, но он немного хуже (стойкость – 55 сут) защищает трубы с элементами коррозии от 9%-ного раствора соли.

Лакокрасочный материал № 3 характеризуется хорошей термовлагостойкостью, водо-, соле- и кислотостойкостью при нанесении как на подготовленную, так и на неподготовленную поверхность труб, но не обеспечивает защиту этих поверхностей от воздействия щелочных растворов.

Два слоя лакокрасочного материала № 4, нанесенных на подготовленную стальную поверхность, также хорошо защищают ее от воздействия внешних факторов. Но применение этого материала по ржавой поверхности сильно ухудшает все показатели – более чем в 2 раза.

Заключение. На основании проведенных исследований по разработанным нами методикам можно сделать вывод, что не все эпоксидные лакокрасочные материалы обеспечивают надежную защиту в условиях эксплуатации трубопроводов тепловых сетей.

Наилучшую защиту от воздействия повышенных температур, влаги и агрессивных сред создает лакокрасочный материал № 8 – эпоксидная краска Inerta Mastic Miox (производитель Teknos). Этот лакокрасочный материал при использовании в виде двухслойного покрытия надежно защищает поверхность труб как хорошо подготовленную, так и с элементами коррозии.

Литература

1. Типовая инструкция по защите трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии: РД 153-34.0-20.518–2003. Введ. 05.02.2003. М.: Новости теплоснабжения, 2002.
2. Методические указания по стендовым испытаниям антикоррозионных покрытий для подземных теплопроводов: РД 34.20.325. Введ. 01.01.1987. М.: СПО «Союзтехэнерго», 1987.

References

1. GD 153-34.0-20.518–2003. Typical instructions for the protection of heat networks pipelines against external corrosion. Moscow, New of heat supply Publ., 2002.
2. GD 34.20.325. Methodical instructions for bench tests of anticorrosion coatings for underground heat pipes. Moscow, SPO “Soyuztekhenergo” Publ., 1987.

Информация об авторах

Шутова Анна Леонидовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: a.l.shutova@mail.ru

Прокопчук Николай Романович – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nrprok@gmail.com

Потапчик Александр Николаевич – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: calium_by@mail.ru

Сабадаха Елена Николаевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: elenasabadaha@mail.ru

Information about the authors

Shutova Anna Leonidovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: a.l.shutova@mail.ru

Prokopchuk Nikolay Romanovich – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Professor, the Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nrprok@gmail.com

Potapchik Aleksandr Nikolaevich – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: calium_by@mail.ru

Sabadakha Elena Nikolaevna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: elenasabadaha@mail.ru

Поступила 10.05.2017