

УДК 662.998-404

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, РЕКОНСТРУКЦИИ И ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ

Топчий Д.В., Юргайтис А.Ю., Чернигов В.С.

НИУ МГСУ, Москва, e-mail: dvtotchiy0405@gmail.com

Целью статьи является описание и систематизация основных направлений исследования теплотехнических характеристик элементов конструкций, обработанных жидкими теплоизоляционными материалами, а также основных предпосылок индустриального внедрения таких решений при строительстве, реконструкции и перепрофилировании объектов. В настоящий момент потребителю предоставляется обширный ассортимент различных теплоизоляционных материалов. Особый интерес представляет возможность использования жидкой теплоизоляции в рамках строительства новых зданий и сооружений, а также программ капитального ремонта и реновации. Данная статья посвящена ознакомлению с относительно новым строительным материалом на рынке – термокраской (жидкой теплоизоляцией). В ней рассмотрены основные характеристики продукта (состав, физико-механические показатели и т.д.); описаны особенности его производства, представлены последовательность и результаты сравнительных исследований образцов обсадных труб: без покрытия и с обработкой термокраской в качестве барьера при бетонировании и подогреве буронабивных свай на вечномёрзлых грунтах (в условиях Крайнего Севера). При проведении испытаний использовались климатическая камера, позволяющая приблизить условия эксплуатации исследуемого материала к реальным, и тепловой излучатель светового типа, моделирующий тепловые излучения при гидратации бетона. Также в работе уделяется внимание условиям применимости и безопасности термокраски в сравнении с другими существующими изоляционными материалами; приводится описание рекомендуемых шагов для массового внедрения продукта в строительную отрасль с учетом проработки организационно-технологических решений, учитывающих условия использования жидкой теплоизоляции, виды и состояния обрабатываемой поверхности.

Ключевые слова: жидкая теплоизоляция, термокраска, теплофизические свойства материалов, коэффициент теплопроводности, строительный контроль, лабораторный контроль, испытания материалов и конструкций

LABORATORY CONTROL OF THERMOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL ELEMENTS DURING CONSTRUCTION, RECONSTRUCTION AND CONVERSION OF OBJECTS

Topchiy D.V., Yurgaitis A.Yu., Chernigov V.S.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),

Moscow, e-mail: dvtotchiy0405@gmail.com

The purpose of the article is to describe and systematize the main directions of research of the thermal characteristics of structural elements treated with liquid heat-insulating materials, as well as the main prerequisites for the industrial implementation of such solutions in the construction, reconstruction and re-profiling of facilities. Currently, the consumer is provided with an extensive range of various thermal insulation materials. Of particular interest is the possibility of using liquid insulation in the construction of new buildings and structures, as well as overhaul and renovation programs. This article is devoted to the introduction of a relatively new building material on the market – thermal paint (liquid insulation). It discusses the main characteristics of the product (composition, physical and mechanical properties, etc.); features of its production are described, the sequence and results of comparative studies of casing samples are presented: without coating and with thermal paint as a barrier during concreting and heating bored piles on permafrost soils (in the Far North). During the tests, a climatic chamber was used, which made it possible to bring the operating conditions of the material under investigation closer to real ones, and a light-type thermal emitter that simulates thermal radiation during concrete hydration. Also in the work attention is paid to the conditions of applicability and safety of thermal paint in comparison with other existing insulating materials; A description of the recommended steps for mass product introduction into the construction industry, taking into account the development of organizational and technological solutions, taking into account the conditions for the use of liquid insulation, types and condition of the treated surface.

Keywords: liquid thermal insulation, thermal paint, thermal properties of materials, thermal conductivity coefficient, construction control, laboratory control, testing of materials and structures

Обеспечение тепловой защиты зданий и сооружений является неотъемлемой частью программы энергосбережения в России. Гарантирование комфорта условий проживания человека, контроль потребления энергоресурсов, соблюдение экологической

и пожарной безопасности – вот одни из того множества условий, предъявляемых к современным строительным проектам. В связи с этим особо актуально стоит вопрос разработки, внедрения и мониторинга новых энергоэффективных теплоизоляционных

материалов в соответствии с нормативными требованиями «СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

Широкий спектр изоляционных изделий, представленный на современном рынке, охватывает собой волокнистые материалы (на основе стеклянного и базальтового волокна, минеральной и шлаковой ваты), жесткие виды утеплителей, теплоотражающие пленки и др. [1; 2].

Утеплители можно разделить на:

– отражающего типа. Этот вид теплоизоляции снижает расход тепла из-за уменьшения инфракрасного излучения. Материал состоит из двух слоев: основного и отражающего. Последний имеет высокий коэффициент отражающей способности (алюминиевая полированная фольга);

– предотвращающего типа. По виду исходного сырья они делятся на органические, неорганические и смешанные.

Предотвращающие виды утеплителей являются основным элементом отделки конструкций дома благодаря присущему им низкому коэффициенту теплопроводности. Материалы предотвращающего типа по агрегатному состоянию при монтаже подразделяются на жидкие (пеноизол, пенополиуретан), твердые (пеностекло, пенополистирол), мягкие (минвата), сыпучие (керамзит, шлак) [3]. Их выбор зависит от изолируемой поверхности сооружения (зачастую мягкая теплоизоляция применяется для вертикальных конструкций, жесткая и сыпучая – для горизонтальных).

Рассмотрим основные характеристики теплоизоляционных материалов, подлежащих обязательной сертификации на территории РФ согласно нормативному акту «О внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 1 декабря 2009 г. № 982» (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ теплоизоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Минеральная вага	Экструзионный пенополистерол	Пенополиизоцианурат (PIR) (модифицированный пенополиуретан)	Пеностекло
				
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ² *С)	0,038–0,047	0,03–0,034	0,021–0,025	0,04–0,065
Формы выпускаемой продукции	Плиты, маты, цилиндры, рыхлая вага	Плиты, подложки	Плиты, пена	Плиты, скорлупы, блоки, гранулы, щебень
Необходимая толщина теплоизоляционного покрытия при одинаковом показателе теплопроводности, мм	140	100	70	140
Средняя стоимость согласно конъюнктурному анализу рынка, 1 м ²	882	450	670	5600
Область применения	Тепловая защита стен и перекрытий, изоляция промышленного оборудования	Устройство теплоизоляции фундамента, кровли, полов, при утеплении фасадов	Используется в качестве утеплителя в составе сэндвич-панелей, конструктивного элемента с дополнительным покрытием. Подходит для утепления перекрытий, плоской кровли, климатического оборудования	Утепление стен, полов, горизонтальных крыш

Но основным критерием подбора теплоизоляции является коэффициент теплопроводности. От данного коэффициента напрямую зависит минимальная толщина применяемого теплоизоляционного материала. Так как современные тенденции развития рынка строительных материалов направлены на облегчение конструкций сооружений за счёт толщины конструкции, а также обеспечение значительной экономии технологических процессов возведения и обслуживания здания, стоит выделить относительно новый для строительной практики энергоэффективный материал с заявленным производителями низким коэффициентом теплопроводности и малой толщиной нанесения – жидкую теплоизоляцию (термокраску) [4; 5].

Материалы и методы исследования

Термокраска представляет собой жидкую композицию, состоящую из наполнителя, связующего и добавок (рис. 1).

В основу производства термокраски заложена стандартизированная технология внедрения полых микросфер и микросфер с вакуумом в состав связующего. При смешивании всех компонентов кластеры, скрепленные между собой при помощи полимера, образуют структурированную суспензию. В результате полимерная основа приобретает теплоизоляционные свойства. Несмотря на простоту принципа производства, данная схема требует достаточно сложных соотношений компонентов, правильный баланс которых и позволяет получить высокие адгезион-

ные свойства и долговечность готовых покрытий. Особенно важно проследить за процентным содержанием наполнителя (80–85%) в теплоизоляционной краске, который является основным элементом состава, препятствующим передаче тепла через утепляемую конструкцию: микросферы наполнителя обладают свойством вакуума и имеют коэффициент теплопроводности 0,0012 Вт/м*К, за счёт чего и достигается максимальный теплоизоляционный эффект. Именно эту цифру зачастую приводят производители термокраски как коэффициент теплопроводности. Но стоит уточнить, что суммарное значение коэффициента в конечном продукте, согласно проведённым экспериментам, составляет от 0,053 до 0,082 Вт/м*К, значительно уступая по данному показателю таким классическим утеплителям, как минеральная вата, пенополистерол и др. (табл. 1).

Для лучшего ознакомления с материалом рассмотрим и другие его усредненные показатели (табл. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

Чтобы иметь возможность произвести объективную оценку целесообразности использования жидкой теплоизоляции, были проведены испытания. Рассмотрим работу краски в качестве барьера, предотвращающего теплопотери при бетонировании и подогреве буронабивных свай с использованием обсадных труб в условиях Крайнего Севера [6].

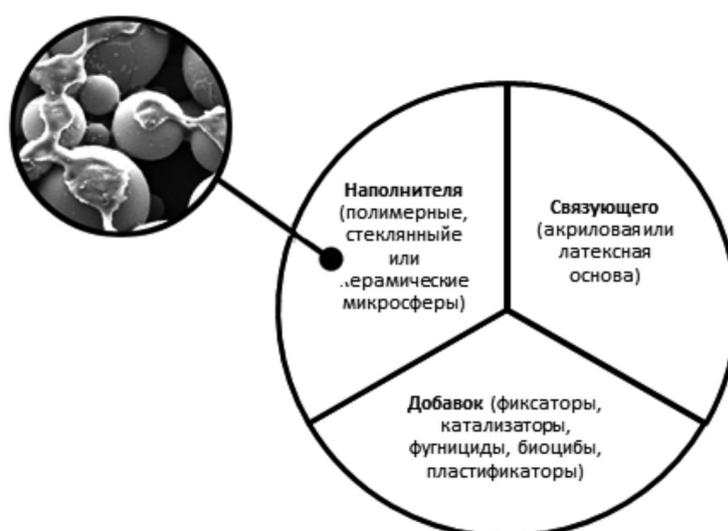


Рис. 1. Состав жидкой теплоизоляции

Таблица 2

Усредненные характеристики жидкой теплоизоляции

Показатель	Характеристика
Теплопроводность	0,053–0,082 В/м*К
Влагоустойчивость	Не пропускает и не впитывает воду. Водопоглощение покрытия в течение 24 часов составляет $\leq 15\%$
Паропроницаемость	Коэффициент паропроницаемости $\leq 0,02$ мг(м*ч*Па)
Огнестойкость	Группа В2; низкая степень горючести (Г1); умеренное дымообразование (Д2)
Диапазон рабочих температур	-50 +200 °С
Прочность на разрыв	8,7 кг/см ²
Плотность	Жидкий 800 кг/см ³ Твердый 500 кг/см ³
Адгезия	Коэффициент адгезии: сталь – 0,6 МПа; бетон – 1,0 МПа
Время полной полимеризации	8–24 ч
Биологическая устойчивость	Препятствует развитию колоний микроорганизмов
Экологичность	Нет токсичных компонентов. Возможность работы с материалом на водной основе в помещениях без вентиляции, не применяя СИЗ. На лаковой основе – при хорошей вентиляции.
Трудоемкость устройства (ТСН-2001), (на 100 м ² изолируемой поверхности)	9,2 чел.-ч
Срок эксплуатации	более 7 лет

Задачи, поставленные при проведении эксперимента:

1. Проведение серии лабораторных испытаний с фиксацией контролируемых величин с помощью профильного оборудования.

2. Создание модели для испытаний, которая имеет максимально схожие характеристики с реальными условиями эксплуатации.

3. Обработка полученных результатов.

4. Формирование вывода о целесообразности применения термокраски на основе проведенных испытаний.

Вид работ – устройство свайного основания из буронабивных свай с использованием обсадных труб на вечномерзлых грунтах [7].

Параметры среды:

- температуры прогреваемой бетонной смеси – 15 °С;

- средняя температура грунта у стенок обсадной трубы – 0 °С;

- параметры обсадной трубы:

- материал – сталь;

- диаметр – 920 мм;

- толщина стенки – 12 мм.

Испытательные образцы (с учетом особенностей реальных условий) представляют собой две стальные трубы диаметром 210 мм и толщиной стенок 5 мм. Чтобы приблизить условия к тем, в которых в дальнейшем подразумевается использование жидкой теплоизоляции, при проведении эксперимента используем климатическую камеру, которая поддерживает температурный режим на уровне 0 °С. Для моделиро-

вания тепловых излучений, возникающих при гидратации бетона, применяется тепловой излучатель светового типа, который подключен к реостату для регулирования интенсивности тепловых излучений. Следовательно, получаем перепад температуры воздуха внутри и снаружи трубы – 15 °С, что соответствует реальным условиям [8; 9].

Первый образец обрабатываем согласно рекомендациям по нанесению жидкой теплоизоляции, указанным производителем. Кистью или аппаратом безвоздушного распыления наносим краску в один слой на предварительно подготовленную поверхность (сухую, чистую, прочную). Перед применением тщательно перемешиваем продукт, добавляя воду объеме 10 % от номинального объема использования материалов.

Второй образец испытывается без обработки. Помещаем образцы в климатическую камеру, предварительно установив в каждой трубе по одному тепловому излучателю светового типа, чтобы контролировать повышение температуры внутри трубы [10]. Используя небольшие обрезки плит утеплителя, закрываем торцевые стороны труб во избежание появления мостиков холода. Затем в течение 25 минут испытываем образцы. Далее с помощью тепловизора с интервалом в 1 минуту фиксируем 20 показаний температуры на внешней поверхности обсадной трубы. Таким образом, через 45 минут после начала испытания последняя съемка завершается.

По окончании испытаний источники теплового излучения отключаются и из холодильных камер извлекаются образцы.

Осуществляем обработку результатов испытания. Таким образом, определяем разность температур наружных поверхностей труб на двух образцах: с использованием термокраски и без ее применения (рис. 2).

В течение 20 минут температура на внешней поверхности трубы, которая не обработана термокраской, постоянно растет. Ниже представлен график измене-

ния температуры образца при проведении испытания (рис. 3).

Из графика видно, как вследствие внутреннего подогрева трубы температура ее поверхности изменилась более, чем на 6 градусов [11].

Ниже представлены итоги съемки тепловизором образца, покрытого термокраской. Если сравнивать результаты съемок, можно заметить разницу в изменении температуры. Также видно, что в образце без обработки присутствует ярко выраженное пятно подогрева (рис. 4).

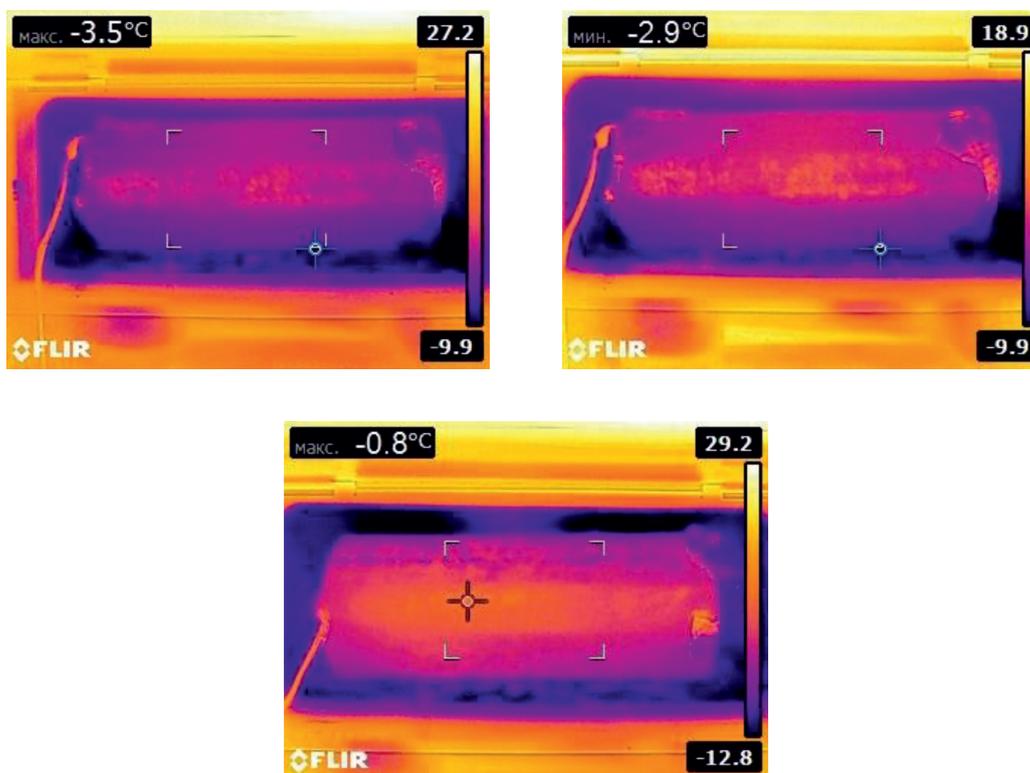


Рис. 2. Данные фотосъемки тепловизором образца трубы без обработки жидкой теплоизоляцией

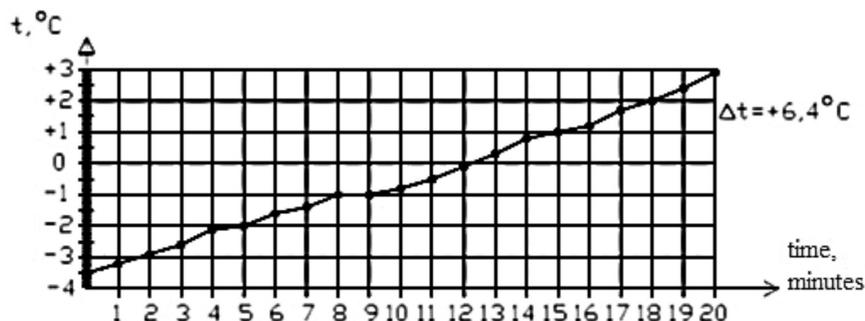


Рис. 3. График изменения температуры образца трубы без жидкой теплоизоляции

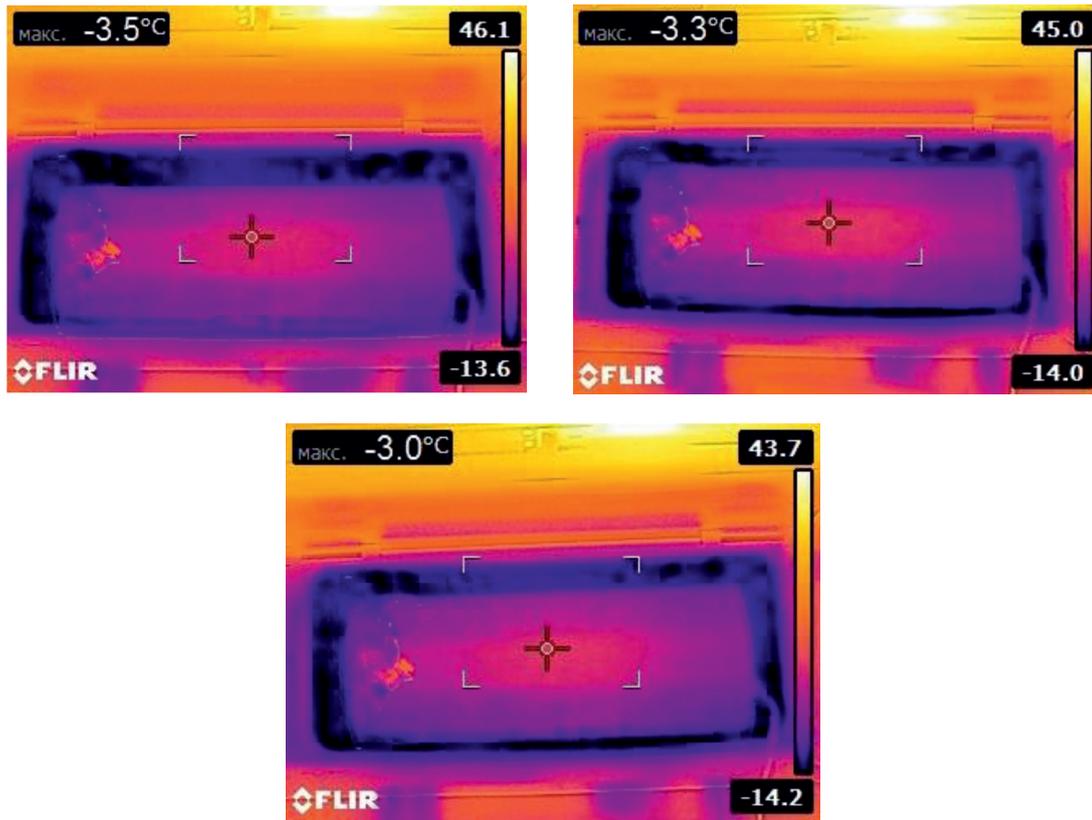


Рис. 4. Данные фотосъемки тепловизором образца трубы с обработкой жидкой теплоизоляцией

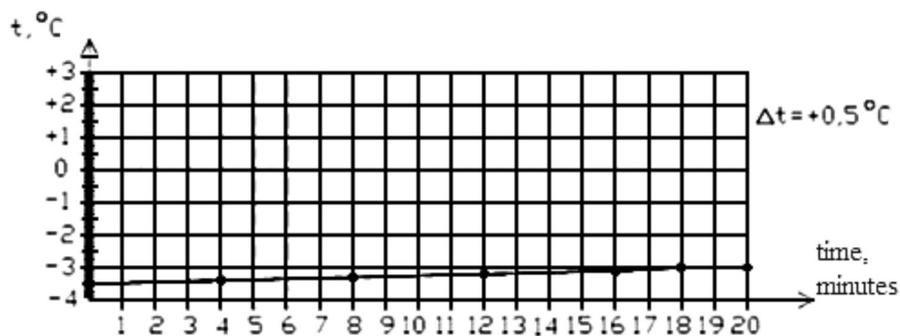


Рис. 5. График изменения температуры образца трубы с жидкой теплоизоляцией

Аналогично строим график изменения температуры трубы во втором случае (рис. 5).

С технологической точки зрения обосновано использование жидкой теплоизоляции при устройстве буронабивных свай в условиях Крайнего Севера, так как термокраска обладает хорошей адгезией по отношению к стали, легко наносится на поверхность и не нуждается в дополнительных мерах по уходу за поверхностью, которую обработали [12]. Кроме того, эксперимент показал, что жидкая теплоизоляция предотвратила теплопотери в образце.

Хотя термокраска не подходит в качестве универсального материала и не может претендовать на первенство среди современных утеплителей с точки зрения физических свойств, в некоторых случаях использование жидкой теплоизоляции экономически и технологически оправданно. Зачастую применяется в тех местах, где невозможно или затруднительно обойтись традиционными теплоизоляционными материалами. Рассмотрим возможные сферы использования термокраски: это транспортная и нефтяная промышленность, объекты ЖКХ, строительство и конструкции иного назначения (рис. 6).



Рис. 6. Области применения жидкой теплоизоляции

В настоящий момент производители отображают только общие положения по эксплуатации термокраски в выпускаемых ими инструкциях [13; 14]. Вследствие того что краска имеет достаточно обширную сферу использования, зачастую предоставленных данных оказывается недостаточно для потребителя. Поэтому для массового внедрения продукта на рынок возникает необходимость создания типовых технологических карт (ТТК), которые смогли бы привлечь во внимание все нюансы использования термокраски. Разработка ТТК позволит грамотно применять жидкую теплоизоляцию с учетом особенностей окружающей среды и утепляемых поверхностей.

Примерный состав технологических операций:

1. Контроль качества.

1.1. Подготовка поверхности.

Согласно заявлениям производителя, жидкая теплоизоляция имеет высокий показатель адгезии, благодаря чему возможно использование продукта на различных по свойствам поверхностях. Основой под термокраску могут служить различные материалы (табл. 3).

Таблица 3

Усредненные характеристики жидкой теплоизоляции

Сфера применения термокраски по материалам	металл
	дерево
	бетон
	пластик
	кирпич
	стекло и др.

При разработке ТТК для сохранения адгезивных свойств продукта необходимо обозначить процедуру подготовки основания под покраску (в зависимости от вида и состояния обрабатываемой поверхности) [15].

1.2. Подготовка изоляционного покрытия.

Важно учесть изменения характеристик краски и особенности ее работы в зависимости от следующих условий:

- осадки;
- температура изолируемой поверхности;
- температура окружающего воздуха;
- излучения;
- влажность и др.

2. Инструкция по нанесению.

Необходимо подробно описать, с помощью каких приспособлений и инструментов (валик, малярная кисть, пульверизатор и т.д.) возможно осуществление нанесения продукта. А также указать рекомендации по их использованию с учетом площади обрабатываемой поверхности.

3. Техника безопасности.

Чтобы организовать безопасные условия труда при работе с жидкой теплоизоляцией, важно акцентировать внимания на исследованиях, подтверждающих экологичность термокраски [16]. Таким образом, необходимо провести лабораторные испытания и проверить продукт на выделение опасных веществ, сравнив полученные значения с предельно допустимыми согласно «Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (с изменениями на 10 мая 2018 года)» (табл. 4).

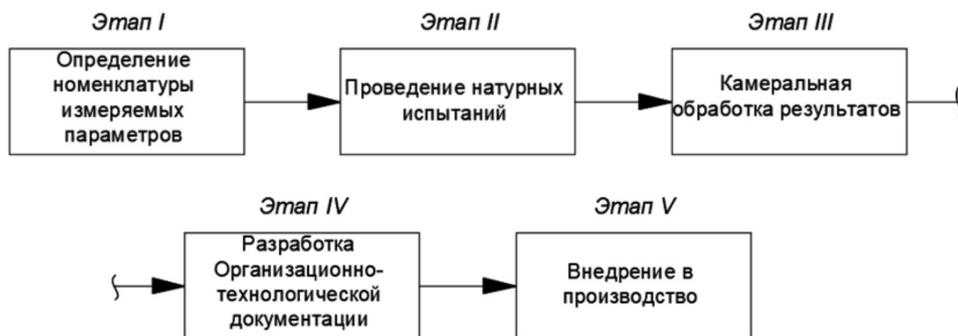


Рис. 7. Этапы внедрения жидкой теплоизоляции в массовое производство

Таблица 4
Допустимый уровень миграции веществ в окружающую среду

Вещество	Допустимый уровень миграции в воздушную среду, мг/м ³
Стирол	0,002
Аммиак	0,04
Фенол	0,003
Формальдегид	0,01
Диоксид серы	0,05

4. Обслуживание.

В разрабатываемых ТТК следует привести рекомендации по обновлению теплоизоляционного покрытия и уходу за ним в процессе эксплуатации. К широкому внедрению жидкой теплоизоляции в современное строительное производство можно прийти, соблюдая пять этапов (рис. 7).

Выводы

На основании проведенного анализа можем сделать следующие выводы.

1. Краску целесообразно применять при осуществлении строительства и капитального ремонта гражданских зданий (в том числе подземных частей) в силу ее теплоизоляционных свойств, низких трудозатрат.
2. Для массового внедрения жидкой теплоизоляции на рынок необходимо провести исследования по следующим направлениям:
 - 2.1. Провести испытания, доказывающие безопасность и экологичность продукта.
 - 2.2. Разработать типовые технологические карты с учетом разнообразия сфер применения жидкой теплоизоляции.

Список литературы

1. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петрухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции. М.: ИНФРА-м, 2003. 267 с.
2. Плотников В.В., Ботаговский М.В. Современные технологии повышения теплозащиты зданий. Брянск: БГИТА, 2010. 199 с.
3. Oleinik P., Yurgaytis A. Optimization of the annual construction program solutions. MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 117. DOI: 10.1051/mateconf/201711700130.

4. Topchiy D., Shatrova A., Yurgaytis A. Integrated construction supervision as a tool to reduce the developer's risks when implementing new and redevelopment projects. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. DOI: 10.1051/mateconf/201819305032.

5. Oleinik P., Yurgaytis A. The method of forming solutions for non-critical activities in the preparation and optimization of the construction complex organizations' annual program. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. DOI: 10.1051/mateconf/201819305010.

6. Rogalska M., Bozejko W., Hejducki Z. Time/cost optimization using hybrid evolutionary algorithm in construction project scheduling. Automation in Construction. 2008. Vol. 18. P. 24–31.

7. Дружинина Т.Я., Копылова А.А. Актуальность применения жидкой сверхтонкой теплоизоляции в строительстве и эксплуатации промышленных и гражданских объектов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 2(73). С. 101–105.

8. Чумадова Л.И., Скориков М.Ю., Степанян Т.Г., Морозов М.В., Вестников Д.М. Теплотехнические характеристики жидкого керамического теплоизоляционного материала на основе алюмосиликатных и натриево-боросиликатных микросфер // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 1 (57). С. 129–140.

9. Чеснокова О.Г., Тухарели В.Д., Тухарели А.В. Возможность использования сверхтонкой жидкой теплоизоляции для защиты несущих железобетонных элементов в многослойной наружной стене // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2(45). С. 105.

10. Жуков А.Н., Перехоженцев А.Г. Исследование свойств жидкой керамической теплоизоляции и область её применения // Межрегиональный форум «Энергосбережение и энергоэффективность. Волгоград-2012». 2012. С. 378–380.

11. Пучкина П.С., Ким А.О., Морозов В.И., Мижарёв Р.С. Сравнение соотношения цены и качества современной теплоизоляции // Молодой учёный. 2016. № 27 (131). С. 146–149.

12. Клявлин М.С., Халфина Д.А., Сукаева А.И. Изучение возможности использования термокраски для утепления здания // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2017. Т. 20. № 2 (65). С. 43–52.

13. Ермолаев Т.В., Кондратьев А.Е. Применение нанотехнологий в тепловой изоляции // Наука и образование: новое время. 2018. № 6 (29). С. 137–140.

14. Лосева Ю.В., Хачатурян Ф.А. Особенности жидкой теплоизоляции // Проблемы и достижения в науке и технике: сборник научных трудов по итогам III международной научно-практической конференции. 2016. С. 127–131.

15. Талипова А.Р., Шарипова Л.Р. Сравнительный анализ свойств жидкой теплоизоляции с традиционными видами // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии: материалы Международной научно-практической конференции молодых учёных. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2017. С. 32–36.

16. Абрамян С.Г., Ишмаматов Р.Х. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии в строительстве. Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2018. 233 с.