

- баз данных, характеризующих разрабатываемый объект и его функционирование, и формирование моделей и алгоритмов прогнозируемых координатных перемещений;
- исследование разработанных моделей и на основе их результатов разработка технических требований; предварительный выбор прогнозируемых к использованию координатных и сервисных приводов, а также датчиков обратной связи, обоснования параметров конструктивных и иных элементов, определяющих жесткостные характеристики механической системы и функционирование подвижных соединений;
 - организация процесса управления качеством при разработке КД и ТД с использованием автоматизированных контроля и электронной регистрации его результатов;
 - проведение комплекса работ по обеспечению функциональной надежности оборудования в эксплуатации, включающего создание информативной системы мониторинга точностных параметров и прогнозирования остаточного ресурса оборудования и его основных компонентов по критерию точности;
 - формирование эффективной системы технического обслуживания оборудования и оперативно пополняемой электронной базы данных о результатах мониторинга и обслуживания оборудования и его узлов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Виноградов, М. В. Обеспечение нанометровой точности формообразующих перемещений рабочих органов прецизионных автоматизированных станков / М. В. Виноградов, А. А. Игнатьев, Е. А. Сигитов. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. – 100 с.
2. Ан, Ж. Датчики измерительных систем / Ж. Ан. – М.: Мир, 1992. – 560 с.
3. Проников, А. С. Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – М.: МГТУ им. И. Э. Баумана, 2002. – 560 с.
4. Пуш, А. В. Шпindelные узлы: качество и надежность / А. В. Пуш. – М.: Машиностроение, 1992. – 288 с.
5. Продольно-фрезерный станок с ЧПУ: пат. 63729 РФ; МПК В23С 1/06 / А. В. Чудин, А. Е. Пищулин, В. Ф. Гуров, Е. А. Кузнецов; заявитель ОАО «Станкон». – № а2006145337/22; заявл. 19.12.2006; опубл. 10.06.2007 // Фед. служба по интел. собственности РФ. – 2006. – Бюл. № 16.
6. Вертикальный фрезерно-сверлильно-расточной станок с ЧПУ: пат. 168927 РФ; МПК В23В 35/00, В23С 1/06 / Б. Е. Пинии, Ю. В. Максимов, А. В. Попов; заявитель ФГБОУ ВО «Московский политехнический ун-т». – № а2016107953/22; заявл. 04.03.2016; опубл. 28.02.2017 // Фед. служба по интел. собственности РФ. – 2017. – Бюл. № 7.
7. Конструкции современных автоматизированных станков как объектов управления в машиностроении: учеб. пособие / А. А. Игнатьев, В. А. Добряков, М. В. Виноградов, Е. А. Сигитов. – Саратов: СГТУ, 2010. – 56 с.
8. Кузнецов, В. Г. Приводы станков с программным управлением / В. Г. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1983. – 180 с.
9. Игнатьев, А. А. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков / А. А. Игнатьев, М. В. Виноградов, В. А. Добряков [и др.] – Саратов: СГТУ, 1999. – 124 с.

Материал поступил в редакцию 02.01.2019

BASINIUK U. L., ELOVOY O. M., SHKOLYK S. B., BULAVITSKY N. N., YERMAK A. O., VOLKOTRUB R. E. Methodical approaches to the creation of modern precision equipment for precise electronic machinery

The article gives an analysis of modern approaches to the creation of equipment for precision and precision engineering and the results of developing on their basis methodological approaches to the features of precision electronic engineering, including a complex of preliminary work and the implementation of quality assurance in the development of CD and TD, manufacturing and operation.

УДК 662.998

Гаврилова В. В., Воронцов А. С., Чаусова Т. А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ЕМКОСТЕЙ

Введение. Тепловая изоляция изотермических изделий в современной промышленности играет важную роль. Использование эффективных составов теплоизоляционных материалов позволяет решать вопросы жизнеобеспечения, организации технологических процессов, экономии энергоресурсов. Теплоизоляционные конструкции являются неотъемлемой частью защитных элементов промышленного оборудования, трубопроводов, частей промышленных сооружений. Благодаря изоляции значительно повышаются надежность, долговечность и эффективность эксплуатации зданий, сооружений и оборудования [1]. Теплоизоляционные материалы выполняют следующие функции: снижают тепловые потери в окружающую среду от объектов (здания, цистерны, оборудование, трубопроводы и др.), обеспечивают регулируемый технологический процесс в аппаратах, поддерживают заданные температурные параметры компонентов в технологических процессах, создают нормальные температурные условия для обслуживающего персонала, уменьшают температурные напряжения в металлических конструкциях, огнеупорной футеровке и т. д. Термоизоляция промышленного оборудования, помимо функций энергосбереже-

ния, обеспечивает возможность проведения технологических процессов при заданных параметрах, позволяет создать безопасные условия труда на производстве, снижает потери легко испаряющихся нефтепродуктов в резервуарах, позволяет хранить сжиженные газы в изотермических хранилищах [2].

Теплоизоляционные материалы при монтаже и во время эксплуатации подвергаются температурным, климатическим, механическим, вибрационным воздействиям. Чтобы получить достаточный эффект от применения тепловой изоляции, в инженерных проектах производятся соответствующие тепловые расчеты, в которых применяются конкретные разновидности теплоизоляционных материалов и учитываются их теплофизические характеристики, в первую очередь коэффициент теплопроводности. Эти мероприятия позволяют успешно решать проблему экономии топливно-энергетических ресурсов [3].

На предприятии ОАО «Гродненский механический завод» производится термоизоляция цистерн для перевозки пищевых жидкостей, сжиженного газа, нефтепродуктов и др. В качестве теплоизоляционного материала применяется пенополиуретан (ППУ). Пенопо-

Гаврилова Валентина Владимировна, ст. преподаватель кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий Гродненского государственного университета им. Янки Купалы.

Воронцов Александр Сергеевич, к. т. н., доц. заведующий кафедрой материаловедения и ресурсосберегающих технологий Гродненского государственного университета им. Янки Купалы.

Беларусь, 230023, г. Гродно, ул. Э. Ожешки, 22.

Чаусова Татьяна Анатольевна, ст. преподаватель кафедры профессионального образования и педагогики Карагандинского государственного технического университета.

Казахстан, г. Караганда, бул. Мира, 56.

лиуретановый бесшовный слой материала обладает достаточно низким коэффициентом теплопроводности по сравнению с другими теплоизоляционными материалами. Термоизоляция происходит путем формовки пены. Такая технология гарантирует качественное заполнение всего пространства между внешней обшивкой и внутренней оболочкой цистерны, а отсутствие перемычек между оболочками исключает мостики холода. Обладая отличной адгезией к металлу, полиуретановая пена прекрасно фиксируется на внутренней поверхности емкости, обеспечивает дополнительную гидроизоляцию и противостоит возникновению конденсата. Утеплитель выступает эффективным воздушным барьером, препятствует прохождению теплого воздуха через конструкцию, предупреждает развитие коррозионных процессов металлических поверхностей и развитие грибка и плесени внутри емкости.

По технологии ОАО «Гродненский механический завод» при заполнении межстенного пространства изотермических емкостей вспененным полиуретаном предварительный нагрев «водяной рубашки» составляет 35 °С. Однако при эксплуатации с течением времени пенополиуретан даёт большую усадку, что приводит к ухудшению теплоизоляционных характеристик и неблагоприятно сказывается на качестве транспортируемой продукции. Исходя из изложенного, цель работы состояла в оптимизации технологических режимов стадии теплоизоляции автоцистерн.

Материалы и методы эксперимента. В качестве объекта исследования выбрали пенополиуретан марки ППТ-331. Образцы изготавливали путем смешивания компонентов А и Б в соотношении 1:1,4. Компонент А предназначен для теплогидроизоляции и представлен маркой «Трубная 005» в соответствии с ТУ ВУ 809000487.004-2012. Компонент Б имеет изоцианатный состав марки «ONGRONAT 2100». Заполнение компонентами А и Б заливно-смесительной установки осуществляли в соответствии с базовым технологическим процессом предприятия ОАО «ГМЗ». В качестве регулируемого параметра контролировали температуру «водяной рубашки» на стадии смешивания компонентов А и Б. Температуру подогрева «водяной рубашки» по обеим сторонам емкостей с компонентами А и Б варьировали в диапазоне от 35 °С до 85 °С с шагом изменения температуры 10 °С. На стадии отверждения сформировали шесть образцов для испытаний:

- Образец № 1 – ППУ при температуре «водяной рубашки» 35 °С;
- Образец № 2 – ППУ при температуре «водяной рубашки» 45 °С;
- Образец № 3 – ППУ при температуре «водяной рубашки» 55 °С;
- Образец № 4 – ППУ при температуре «водяной рубашки» 65 °С;
- Образец № 5 – ППУ при температуре «водяной рубашки» 75 °С;
- Образец № 6 – ППУ при температуре «водяной рубашки» 85 °С.

Коэффициент теплопроводности образцов измеряли сравнительным методом [4]. В данном методе рассматривается прохождение тепла через пакет из трех дисков, толщина которых мала по сравнению с его диаметром. Это позволяет пренебречь потерями тепла через боковые поверхности дисков. Для определения коэффициента теплопроводности изготовили образцы диаметром 60 мм и толщиной 20 мм. По стандартизированным методикам определяли плотность (ГОСТ 15139-69), влагопоглощение (ГОСТ 20869-75) и усадку составов (ГОСТ 18616-80). Деформационно-прочностные испытания проводили на разрывной машине ИР 5047-50 с наибольшей нагрузкой 50 кН. Предел прочности при сжатии и относительное перемещение образцов определяли в соответствии с ГОСТ 4651-2014. Форму и размеры пор исследовали с помощью инверсного оптического микроскопа ММР 1600Т.

Результаты исследований. Теплопроводность является одной из важнейших характеристик теплоизоляционного материала. Чем ниже показатель теплопроводности, тем выше его способность препятствовать передаче тепла. Количественно эта характеристика определяется коэффициентом теплопроводности λ , выражающим количество теплоты, проходящее за единицу времени через образец материала толщиной 1 м и площадью 1 м² при разности температур на противоположных поверхностях один градус. Единицей измерения величины λ служит Вт/(м·К). Результаты теплофизических испытаний (рисунок 1) отражают тот факт, что самый низкий коэффициент теплопроводности наблюдается у образца, полученного при температуре подогрева «водяной рубашки» при 65 °С.

На величину теплопроводности составов теплоизолирующих материалов оказывают влияние объемная усадка, плотность сформированного материала, а также вид, размеры, расположение и форма пор.

Усадка изделий из термопластичных материалов изменяется в зависимости от технологических параметров. Это объясняется тем, что при переработке происходит переход полимера из одного физического состояния в другое. Значения величины усадки образцов представлены на рисунке 2. Усадка образцов уменьшается при повышении температуры «водяной рубашки» на стадии формирования теплоизоляционного слоя.

Известно, что усадка материала зависит от плотности полимеризующихся компонентов. С течением времени материалы низкой плотности могут дать усадку, что будет оказывать негативное влияние на теплоизоляционные свойства конструкции в целом. Как следует из данных рисунка 3, изменение технологических режимов запенивания, в первую очередь температурных, приводит к увеличению плотности образцов. Более высокая плотность материала обеспечивает стабилизацию структуры теплоизоляционного слоя.

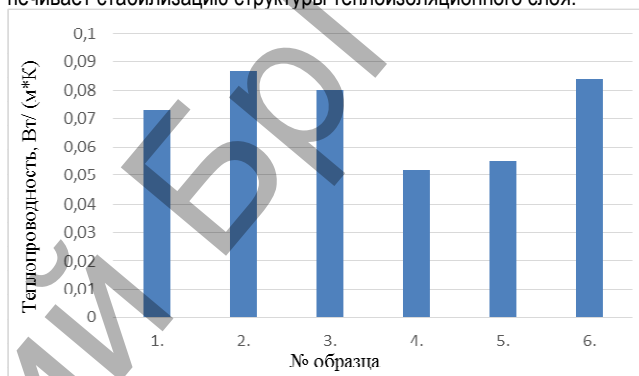


Рисунок 1 – Зависимость значений коэффициента теплопроводности образцов на основе пенополиуретана от характера нагрева составов под действием «водяной рубашки»

Значительное влияние на теплопроводность вспененной массы оказывает также температура компонентов и особенно их гидрофильность. Повышение влажности пористых материалов увеличивает теплопроводность, так как коэффициент теплопроводности воды почти в 25 раз больше коэффициента теплопроводности воздуха. **Влагопоглощение** – это способность материала впитывать и удерживать в порах влагу при прямом контакте с водой. Определяется количеством воды, поглощаемым материалом с нормальной влажностью, когда он находится в воде, к массе сухого материала. Способность насыщаться теплоизоляционному материалу влагой ухудшает его основное свойство – теплопроводность. Кроме того, влажный материал теряет прочностные и эксплуатационные характеристики. Испытания образцов на влагопоглощение показали, что образец, полученный по технологическому режиму № 4, демонстрирует наиболее высокую устойчивость к воздействию влаги (рисунок 4).

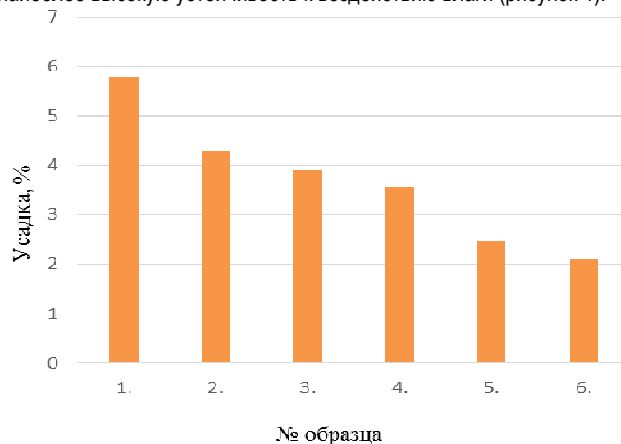


Рисунок 2 – Зависимость величины усадки образцов на основе пенополиуретана от характера нагрева составов под действием «водяной рубашки»

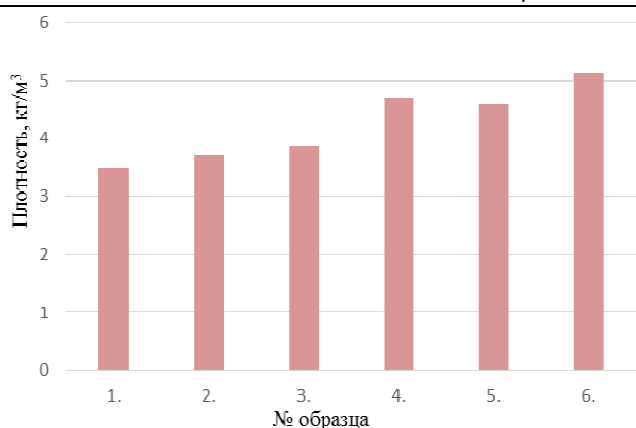


Рисунок 3 – Зависимость плотности образцов на основе пенополиуретана от характера нагрева составов под действием «водяной рубашки»

Анализ результатов, полученных в ходе исследования физических характеристик образцов, свидетельствует о том, что усадка образцов на основе полиуретана при повышении температуры водяной рубашки уменьшается, а плотность увеличивается. При этом самый низкий коэффициент влагопоглощения и самая высокая плотность наблюдаются у образца № 4.

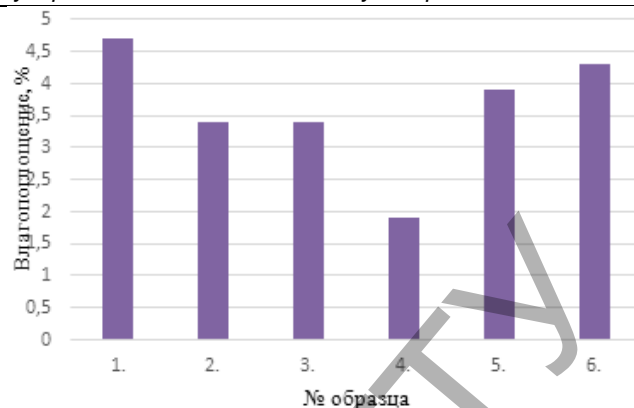


Рисунок 4 – Зависимость влагопоглощения образцов на основе пенополиуретана от характера нагрева составов под действием «водяной рубашки»

В ходе оптических исследований составов вспененного пенополиуретана проводили анализ размеров и формы пор. Были рассмотрены образцы в 10 различных позициях, при разном освещении и увеличении. Полученные результаты исследования структуры пор образцов, при увеличении в 10 раз, представлены на рисунке 5. Известно, что на теплопроводность большое влияние оказывает вид пористой структуры материала [4, 5].

На рисунках видно, что основными элементами структуры образцов пенополиуретана являются деформированные пористые

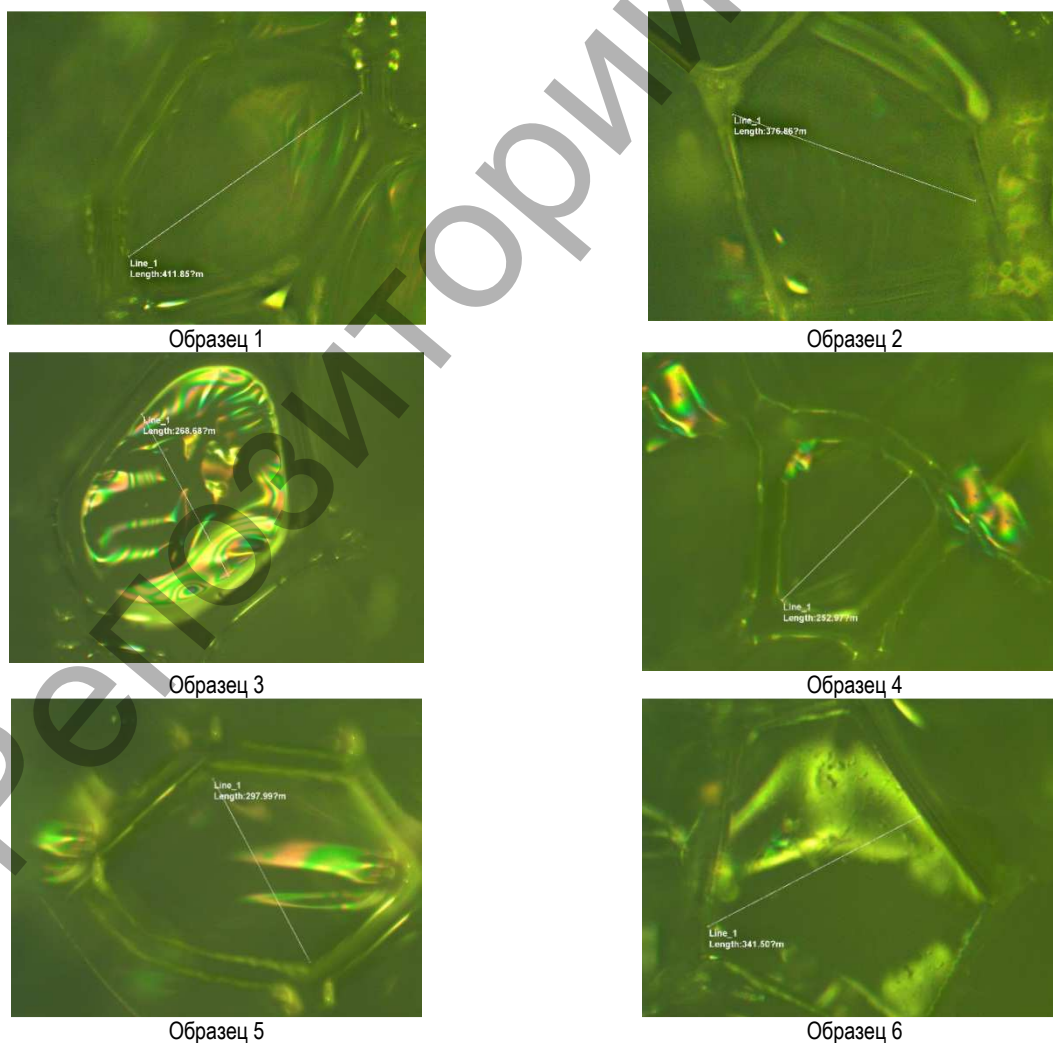


Рисунок 5 – Характерный вид единичной поры в структуре образцов пенополиуретана в зависимости от условий теплового воздействия со стороны «водяной рубашки»

образования, представляющие собой замкнутые ячейки. Размер пор по мере увеличения температуры «водяной рубашки» уменьшается. У образцов № 1 и № 2 поры неправильной формы и вытянуты (средний диаметр пор 411,85 мкм и 376,86 мкм соответственно). Это приводит к изменению направления теплового потока, что может негативно отразиться на теплоизоляционных характеристиках материала. Равномерно распределенная мелкопористая сферическая структура приводит к уменьшению коэффициента теплопроводности. У образцов № 3 и № 4 форма пор ближе к сферической (средний диаметр пор 268,68 мкм и 252,97 мкм соответственно). При дальнейшем увеличении температуры водяной рубашки размер пор увеличивается. У образцов № 5 и № 6 значение среднего диаметра пор составляет 297,99 мкм и 341,50 мкм соответственно.

К механическим свойствам теплоизоляционных материалов относят прочность (на сжатие, изгиб, растяжение). Прочность теплоизоляционных материалов зависит от структуры, плотности и пористости. Жесткий материал с мелкими порами более прочен, чем материал с крупными неравномерными порами. Результаты определения прочности образцов при сжатии представлены на рисунке 6.

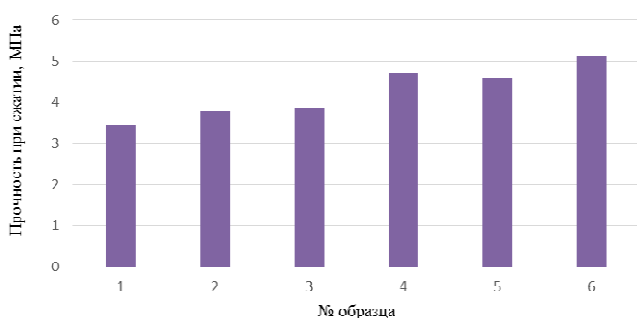


Рисунок 6 – Зависимость параметра прочности образцов при сжатии от характера нагрева составов под действием «водяной рубашки»

Анализируя результаты, полученные в ходе механических испытаний, можно сделать следующий вывод: прочность образцов вспененного пенополиуретана увеличивается при повышении температуры «водяной рубашки» на стадии полимеризации. Результаты механических испытаний коррелируют с испытаниями физических характеристик ППУ и с оптическими исследованиями структуры пор.

На основании проведенных экспериментальных исследований для осуществления теплоизоляции автоцистерн на ОАО «Грод-

ненский механический завод» целесообразно использовать пенополиуретановые составы, подготовленные в соответствии с режимами для образца № 4, для которых отмечено оптимальное сочетание теплофизических и эксплуатационных характеристик:

- коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,052$ Вт/(м·К);
- плотность $\rho = 49,92$ кг/м³;
- влагопоглощение $W = 1,9$ % по объему;
- прочность на сжатие $\sigma_{сж} = 4,7$ МПа.

Оптимизирование технологического режима традиционной схемы термоизоляции цистерн предполагает использование подогрева «водяной рубашки» до температуры около 65°C.

Заключение. Основные эксплуатационные характеристики сформированного теплоизоляционного материала (низкий коэффициент теплопроводности, высокая плотность, малая усадка и повышенная прочность) возможны к реализации при корректировке режимов термоизоляции автоцистерн, осуществляемая по предложенному технологическому режиму, предполагающему предварительный нагрев компонентов А и Б на стадии полимеризации пенополиуретана. Разработанная технология обеспечивает комплексное улучшение эксплуатационных характеристик теплоизолированного слоя и способна обеспечить более продолжительный срок службы конструкции в целом.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бобров, Ю. Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учебник для средних профессионально-технических учебных заведений / Ю. Л. Бобров [и др.]; под общ. ред. Ю. Л. Боброва. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
2. Горлов, Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: учебник для вузов / Ю. П. Горлов – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
3. Китайцев, В. А. Технология теплоизоляционных материалов: учебник для студентов вузов / В. А. Китайцев – М.: Высшая школа, 1970. – 379 с.
4. Шашков, А. Г. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / А. Г. Шашков [и др.]; под ред. А. В. Лыкова. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.
5. Фокин, В. М. Теоретические основы определения теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности материалов по тепловым измерениям на поверхности методом неразрушающего контроля / В. М. Фокин, А. В. Ковылин // Вестник. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. – 2009. – № 14(33). – С. 123–127.

Материал поступил в редакцию 13.11.2018

GAVRILOVA V. V., VORONTOV A. S., CHAUSOVA T. A. Optimization of the technological modes of production of iso-termicheskih of capacities

The technological regimes of the process of insulating tank trucks with foamed polyurethane have been studied. Based on the experimental studies carried out, the preheating temperature of the water jacket of the containers with components, which is 65 °C, is recommended. It is established that such a heating mode will allow obtaining a high-quality thermal insulation with an optimal combination of thermal and operational characteristics.