

**НИКОЛАЕВСКИЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА**

На правах рукописи

Л И П И Н Валерий Григорьевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗОЛЯЦИИ
РЕФРИЖЕРАТОРНЫХ ТРЮМОВ ЗАЛИВОЧНЫМИ
ПЕНОПЛАСТАМИ**

Специальность 05.08.04 — «Технология судостроения,
судоремонта и организация судостроительного
производства»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Николаев — 1993



А 13 28.069

Робота виконана на кафедрі технології судостроєння
Николаєвського ордена Трудового Червоного Знамени кораблестроїтель-
ного інституту імені адмірала С.О.Макарова

- Научний керівник - доктор технічних наук,
професор РАШКОВСКИЙ А.С.
- Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор МИЛЬТО А.А.
- кандидат технічних наук
РАДИН В.В.
- Ведуче підприємство - ПО "Судостроїтельний завод"
ім.61-комунара

Захист дисертації состоится "27" *сентября* 1993 10 час.
за засідання Спеціалізованого Ради Д.057.04.01 при Николаєв-
ском ордена Трудового Червоного Знамени кораблестроїтельном інститу-
те імені адмірала С.О.Макарова по адресу: 327025, г.Николаев,
проспект Героев Сталинграда, 9, НКМ.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту.
"Автореферат" розіслан " _____ " _____ 1993 г.

УЧЕНИЙ СЕКРЕТАРЬ
Спеціалізованого Ради
доктор технічних наук,
професор

КВАСНИЦКИЙ В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Рост промысла рыбы и международной торговли вызывает увеличение выпуска судов, которое при острой нехватке рабочей силы происходит, в основном, за счет повышения уровня технологии и организации производства. Существенным тормозом в постройке судов являются достроечные работы и один из наиболее трудоемких видов этих работ - изоляционные, составляющие 5...8% общей трудоемкости постройки судна. Изоляция снижает тепловые потери через наружные поверхности корпуса судна и в рефрижераторных трюмах занимает значительные физические объемы, достигая по толщине 0,25... 0,3м, а ее монтаж производится длительное время с использованием малопродуктивного ручного труда, поэтому теплоизоляционные работы являются в настоящее время одним из узких мест в судостроении.

Разработка новых прогрессивных технологических решений, принципиально отличающихся от традиционно применяемых и позволяющих значительно снизить трудоемкость и повысить качество изоляции, является актуальной задачей при постройке судов.

Цель диссертационной работы является разработка и внедрение принципиально новой технологии производства теплоизоляционных работ, обеспечивающей снижение трудоемкости и повышение их качества.

В соответствии с поставленной целью основными задачами диссертационной работы являются:

1. Исследование по подбору технологичного материала и совершенствование его свойств для удовлетворения требований судостроения.
2. Теоретическое исследование влияния исполнителей на эксплуатационное увлажнение изоляционных заливочных пенопластов.
3. Исследование свойств заливочных пенопластов методами физического моделирования.
4. Исследование параметров технологического процесса получения изоляционного слоя.
5. Разработка промышленной технологии монтажа изоляционного слоя механизированным способом.
6. Внедрение разработанной технологии в судостроительное производство.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Научно обоснован выбор минеральных наполнителей, значительно снижающих влажностные показатели заливочного пенопласта.
2. Разработана математическая модель, описывающая зависимость теплового потока от влагосодержания и толщины изоляции.
3. В результате комплексного исследования параметров вспенивания разработана прессионная технология изоляции рефрижераторных трюмов заливочными пенопластами.

Практическая ценность работы заключается:

1. В разработке новой заливочной композиции для получения пенопласта (А.с. №36851).
2. В создании СТП 5.51-556-80 "Изделия теплоизоляционные из пенопласта Фенозол".
3. В разработке промышленной технологии изоляции рефрижераторных трюмов заливочными пенопластами (А.с. №698833).

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на семинарах: "Пенопласты, их свойства и применение", Ленинград, ДДНП, 1975, и "Технология и применение изделий из вспененных пластмасс" Москва, ВДНХ, 1979; на научно-технических конференциях НКИ в 1975-1979, 1982, 1983 годах.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ и получено 2 авторских свидетельства на изобретения.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, включающей 115 наименований и приложения. Она изложена на 148 страницах основного текста, содержит 26 рисунков и 17 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, дается описание цели и задач исследования и применяемых методов также выносимых на защиту результатов, определяющих научную новизну работы.

В первой главе произведен обзор применяемых в настоящее время изоляционных материалов и технологии их монтажа в рефрижераторных трюмах. Показано, что в последнее время достроенному виду производства, являющемуся узким местом в общей продолжительности постройки судов, уделяется определенное внимание. Значительный вклад в решение теоретических и практических вопросов достроечных работ в судостроении внесли И.Я.Каменецкий, В.С.Кудрец, Н.П.Лукиянов, А.А.Мильто, В.С.Михайлов, М.В.Орлов, О.И.Рауш, А.С.Рашковский, В.В.Царынкин и др. Многие научные работы внедрены в судостроительное производство, однако вопросы механизации теплоизоляционных работ не решены еще в полной мере.

На базе анализа отечественных и зарубежных работ показано, что главным общим недостатком, применяемых в настоящее время волокнистых и плиточных изоляционных материалов является их низкая технологичность. Технические требования к монтажу судовой теплоизоляции изложены в ГОСТ 5.9138-73. В рефрижераторных трюмах применяются следующие виды теплоизоляционных конструкций: В-II, П-II, ВТ-II, Как войлочному, так и плиточному типам изоляции присущи следующие основные недостатки: необходимость подгонки плит и деталей изоляции по месту; наличие большого количества шпилек при монтаже войлочной изоляции; монтаж теплоизоляции производится малопроизводительным ручным трудом.

Пенопласты заливочного типа по сравнению с волокнистыми и плиточными материалами имеют следующие преимущества: процесс их нанесения на изолируемые поверхности можно механизировать; не нуждаются в дополнительной обработке; не требуют крепления к изолируемой поверхности.

С учетом выполненного анализа и обобщения отечественных и зарубежных источников определены цель работы и основные задачи исследований.

Во второй главе проведены исследования по совершенствованию заливочного пенопласта для снижения гигроскопичности. В эксплуатационных условиях изоляционные материалы в различной степени подвержены увлажнению. Увлажнение изоляции происходит со стороны судового помещения в основном вследствие поглощения парособразной влаги из воздушной среды - сорбции. Увлажнение изоляции увеличивает коэффициент теплоотдачи изоляционной конструкции и нагрузку

на холодильное оборудование, и приводит к преждевременному разрушению изоляции. Заливочные фенолформальдегидные пенопласты обладают повышенной гигроскопичностью вследствие преобладания открытопористой структуры, поэтому одной из задач работы являлось уменьшение гигроскопичности пенопласта.

В настоящее время существует три основных способа модификации пенопластов. Первый - модификация исходной смолы в процессе синтеза, основанная на изменении ее химической структуры. Второй - состоит в совместной полимеризации фенольных, кремнийорганических и эпоксидных смол. Третий способ основан на введении в состав полимерной композиции наполнителей. В литературе отмечается, что способы химической модификации и совместной полимеризации приводят к сильному удорожанию пенопластов, поэтому был принят третий способ модификации пенопластов. Введение в полимерную композицию наполнителей дает возможность не только целенаправленно изменять свойства, но также снижать стоимость и экономить ресурсы полимерного сырья.

Проведенные исследования по подбору наполнителей показали целесообразность добавки в полимерную композицию в качестве наполнителей недорогих и недефицитных минеральных веществ: золошлаковой муки ТЭС в сочетании с гидроксидом кальция. Золошлаковая мука ТЭС является продуктом сгорания угля в котлах электростанций и находится в больших количествах в золоотвалах.

Решение задачи отыскания оптимального соотношения компонентов с целью снижения гигроскопичности из-за сложности процессов протекающих при вспенивании теоретическим путем весьма затруднительно, поэтому задача решалась экспериментально при изобильном знании механизма процесса. При оптимизации состава полимерной композиции для сокращения числа опытов использована математическая теория планирования экспериментов. В результате экспериментов получена математическая модель зависимости гигроскопичности пенопласта от количества наполнителей в виде уравнения регрессии

$$y = 25,32 - 1,67X_1 - 0,57X_2,$$

где X_1 и X_2 - массовое содержание золошлака ТЭС и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, коэффициент парного взаимодействия оказался незначим. Поиск оптимального количества наполнителей осуществлен методом крутого восхождения.

Состав полученной полимерной композиции, % по массе

олигомер ФРВ-1А	- 59,8
катализатор ВАГ-3	- 15
золотшак ТЭС	- 22
Са (ОН) ₂	- 3,2

Пенопласт на основе данной композиции получил наименование фенозол. Полученный состав полимерной композиции защищен авторским свидетельством № 556854 при творческом участии автора диссертационной работы.

В третьей главе теоретически исследовано влияние наполнителей на эксплуатационное увлажнение заливочной изоляции рефрижераторных трюмов. Рассмотрена судовая однослойная теплоизоляция из заливочного пенопласта типа ФРП-1, являющегося капиллярно-пористым телом, схематично изображенная на рис. I.

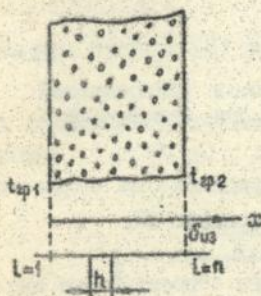


Рис. I. Схема однослойной изоляции

λ_m и λ - коэффициенты влаго- и теплопроводности; δ - термоградиентный коэффициент; ϵ - критерий испарения; Γ - удельная теплота парообразования; ρ - плотность сухого тела; τ - время увлажнения.

Для оценки одновременности протекания процессов тепло- и влагопереноса используется критерий

$$L_u = \frac{a_m}{a}$$

где $a_m = \frac{\lambda_m}{c_m \rho}$; $a = \frac{\lambda}{c \rho}$ - коэффициенты потенциалопереноса в процессах влаго- и теплопроводности.

В общем случае процессы теплопроводности и увлажнения капиллярно-пористого тела описываются системой уравнений

$$c_m \rho \frac{\partial u}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda_m \text{grad} u) + \delta \text{div}(\lambda \text{grad} t) \quad (I)$$

$$c \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda \text{grad} t) + \epsilon \Gamma \frac{\partial u}{\partial \tau}$$

с соответствующими начальными и граничными условиями.

В приведенной системе уравнений u и t - влагосодержание и температура;

c_m и c - влаго- и теплоемкость тела;

Для пенопластов типа ФП величина критерия L_u составляет $(0,2 \dots 1) \cdot 10^{-2}$, что значительно больше длительности увлажнения и позволяет принять $\frac{\partial t}{\partial t} = 0$

Принимаем допущение об одномерности процессов влаго- и теплопроводности:

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial u}{\partial z} = 0 ; \quad \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0$$

и отсутствии фазовых преобразований, то-есть происходит диффузия пара из воздуха и поэтому $\varepsilon = 0$.

С учетом допущений система уравнений (I) принимает вид

$$C_m \rho \frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_m \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) = 0$$

Начальные и граничные условия:

$$u|_{\tau=0} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0 ; \quad \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=\delta_{us}} = -u \tau_p \quad (3)$$

$$t|_{x=0} = t_{p1} ; \quad t|_{x=\delta_{us}} = t_{p2}$$

Приведенная форма граничных условий допустима для значений критериев

$$\beta_{um} = \frac{\alpha_m \delta_{us}}{\lambda_m} \quad \text{и} \quad \beta_l = \frac{\alpha \delta_{us}}{\lambda} , \quad \text{превышающих } 10.$$

Для более общего описания процессов введены относительные значения координаты $\bar{x} = \frac{x}{\delta}$ и свойств материалов. Вследствие переменности коэффициентов в системе уравнений (2) ее решение целесообразно выполнять численным методом. Первое уравнение решается разностным методом на равномерной сетке с шагом h . Для лучшей аппроксимации граничных условий разностная сетка на $\frac{h}{2}$ перекрывает расчетную область (рис. I). Процесс во времени рассматривается с шагом $\Delta \tau$, так что $\tau_j = \tau_{j-1} + \Delta \tau$.

Используя разностные аналоги производных

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_i - u_{i-1}}{h} ; \quad \frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{u_i^j - u_i^{\tau_{j-1}}}{\Delta \tau} ;$$

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{t_i - t_{i-1}}{h}$$

систему (2) и граничные условия (3) приведем к двум системам линейных уравнений с переменными коэффициентами:

$$\begin{aligned}
 u_1 - u_2 &= 0 \\
 A_i u_{i-1} - B_i u_i + C_i u_{i+1} &= F_i ; \quad i = 2, \dots, n-1 \\
 u_n + u_{n-1} &= 2 u_{sp} \\
 t_1 + t_2 &= 2 t_{sp1} \\
 A_i t_{i-1} - b_i t_i + c_i t_{i+1} &= 0 \\
 t_n + t_{n-1} &= 2 t_{sp2}
 \end{aligned} \tag{4}$$

где

$$\begin{aligned}
 A_i &= \frac{\lambda_{mi} + \lambda_{mi+1}}{2 h^2} ; \quad C_i = \frac{\lambda_{mi} + \lambda_{mi+1}}{2 h^2} ; \quad B_i = A_i + C_i + \frac{C_m \rho}{\Delta \tau} \\
 a_i &= \frac{\lambda_i + \lambda_{i-1}}{2} ; \quad b_i = \frac{\lambda_i + \lambda_{i+1}}{2} ; \quad c_i = a_i + b_i
 \end{aligned}$$

Решение системы (4) выполнено методом простой итерации.

Рассматривая последовательно все шаги по i и все моменты времени, определяем поля влагосодержания $u = f(\tau, x)$ и температуры $t = f(\tau, x)$, что позволяет также вычислить тепловой поток через теплоизоляцию

$$q = \frac{\left(\frac{t_1 + t_2}{2}, \frac{u_1 + u_2}{2} \right)}{h} (t_1 - t_2)$$

Исследование влияния наполнителей на увлажнение теплоизоляции судовых рефрижераторных трюмов выполнено в диапазоне параметров, характерных для условий эксплуатации:

- толщина теплоизоляции $\delta_{из} = 0,05 \dots 0,3 \text{ м}$;
- температура наружной поверхности $T_1 = 300 \dots 310 \text{ К}$;
- температура внутренней поверхности $T_2 = 230 \dots 270 \text{ К}$;
- граничное влагосодержание $u_{sp} = 0,001 \dots 0,05 \text{ кг/кг}$.

Влияние температуры и влажности учитывалось по обобщенным зависимостям:

$$\lambda(u, t) = \lambda(t) \exp (At^2 + Bt + C) u$$

$$\lambda_m(u, t) = a_m \frac{\partial u}{\partial \rho}$$

$$u = u \left(\frac{u}{u_n} \cdot T_0 \right) \left[1 - 0,332(T-293) \text{ вкр } 2,8 \left(1 - \frac{u}{u_n} \right) \right]$$

где A, B, C - экспериментальные коэффициенты; $t = T - 273$;

$u = \left(\frac{u}{u_n} \cdot T_0 \right)$ - изотерма сорбции пенопласта при $T_0 = 293$ К;

u_n - максимальное влагосодержание при данных температуре и давлении.

Значения влагосодержания по толщине теплоизоляции в зависимости от времени определены при $T_1 = 230$ К; $T_2 = 300$ К; $\delta_{из} = 0,15$ м; $u_{из} = 0,01$ кг/кг (рис. 2, а). Из приведенных данных следует, что процесс увлажнения нестационарен.

Влияние толщины теплоизоляции на изменение влагосодержания на наружной поверхности ($\bar{x} = 0$) исследовано при значениях $T_1 = 230$ К; $T_2 = 300$ К; $u_{из} = 0,05$ кг/кг; (рис. 2, б). Увеличение толщины теплоизоляции от 0,05 до 0,3 м увеличивает время до $\bar{u} = 0,5$ в 38...40 раз, а до $\bar{u} = 1$ примерно в 50 раз

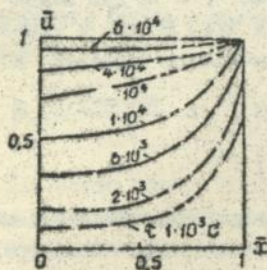


Рис. 2, а. Поле относительного влагосодержания судовой изоляции

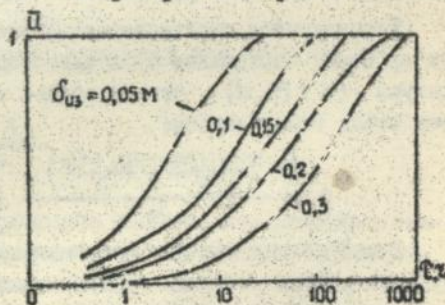


Рис. 2, б. Поле относительного влагосодержания при $\bar{x} = 0$

Увлажнение теплоизоляции приводит к увеличению теплопритоков в рефрижераторный трюм. Среднее за время увлажнения относительное увеличение теплового потока

$$\bar{q}_{\text{ср}} = \int_0^{\tau_{\text{убл}}} \frac{\bar{q}(\tau) - 1}{q_{\text{max}} - 1} \cdot d\tau$$

где $\bar{q}(\tau) = \frac{q(\tau)}{q_{\text{сух}}}$; $q_{\text{max}} = \frac{q(\mu_{\text{ср}})}{q_{\text{сух}}}$

текущее и максимальное значения относительного теплового потока. Выполненная оценка показала, что в зависимости от толщины теплоизоляции значения $\bar{q}_{\text{ср}}$ составляют 0,838...0,836. Влияние наполнителей на процесс эксплуатационного увлажнения исследовалось путем сравнения длительности увлажнения изоляции пенопластами ФРП-I и Фенозол в рассматриваемом диапазоне параметров. Полученные результаты представлены в виде:

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_{\text{мод}}}{\tau_{\text{исх}}} = f(\mu_{\text{ср}})$$

где $\tau_{\text{исх}}$ и $\tau_{\text{мод}}$ - время полного увлажнения исходного и наполненного пенопластов (рис.3).

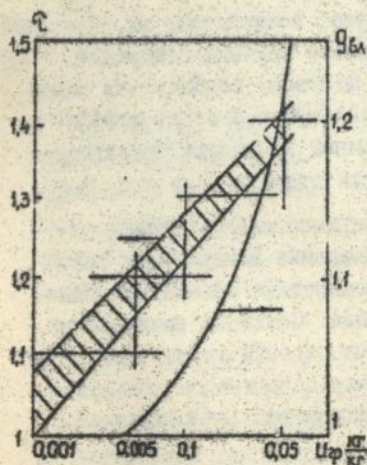


Рис.3. Влияние наполнителей на продолжительность увлажнения теплоизоляции

В результате теоретического исследования процесса увлажнения теплоизоляции рефрижераторных трюмов заливочными пенопластами:

1. Разработана математическая модель процесса увлажнения теплоизоляционных заливочных пенопластов в рефрижераторных трюмах, учитывающая зависимость коэффициентов тепло- и влагопереноса от параметров, которая реализована на ЭВМ ЕС-1033.

2. На базе математической модели определены поля температуры и влагосодержания в судовой теплоизоляции и показано, что увеличение потерь тепла за счет увлажнения теплоизоляции может достигать 25% в зависимости от граничного влагосодержания.

3. Введение наполнителей увеличивает время до полного увлажнения теплоизоляции на 8...42% в зависимости от толщины изоляции и граничного влагосодержания.

В четвертой главе экспериментально исследованы следующие физико-механические свойства заливочных пенопластов ФРП-I и Фенозол: зависимость коэффициента теплопроводности заливочных пенопластов от кажущейся плотности и весовой влажности; прочность при сжатии, огнестойкость и санитарно-гигиенические свойства.

Методика испытаний заливочных фенольных пенопластов имеет некоторые особенности. Поскольку ячейки данного типа пенопластов имеют преимущественно вытянутую в направлении вспенивания форму, то для них характерна анизотропия свойств. Кроме того, степень отверждения фенольных пенопластов с течением времени повышается, поэтому перед испытаниями образцы следует выдержать в течение 3...4 нед. С учетом этих особенностей сформулированы общие требования к методам испытаний пенопластов. Оценка точности результатов измерений производилась статистическим методом.

Влага, проникающая в материал, оказывает воздействие на различные свойства, поэтому были экспериментально изучены следующие влажностные свойства пенопластов ФРП-I и Фенозол: сорбционная влажность, паропроницаемость, водо- и влагопоглощение, а также коэффициент диффузии влаги. Определение сорбционной влажности производилось эксикаторным методом. Изотермы сорбции приведены на рис. 4.

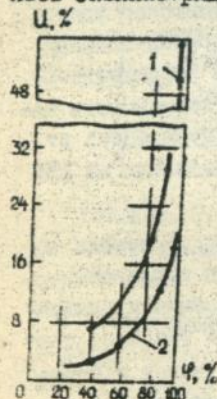


Рис. 4. Изотермы сорбции пенопластов

1 - ФРП-I
2 - Фенозол

Результаты экспериментальных исследований показали, что введение минеральных наполнителей снижает влажностные показатели пенопласта почти в 2 раза. Снижение влажностных характеристик при наполнении происходит вследствие увеличения поверхности контакта высокодисперсных гидрофобных наполнителей с влагой.

Основной тепловой характеристикой изоляции является коэффициент теплопроводности. Исследование коэффициента теплопроводности проводилось методом стационарного теплового режима на λ - приборе конструкции Института технической теплофизики АН УССР. Испытания увлажненных образцов (до $\varphi = 100\%$) при температуре воздуха 20°C показали, что увеличение коэффициента теплопроводности пропорцио-

нально степени увлажнения и происходит по закону насыщения (рис.5). Увеличение теплопроводности связано с тем, что вода, проникая в поры материала, имеет теплопроводность на порядок выше, чем вытесняемый ею воздух.

Одной из причин аварий на морских судах являются пожары. В соответствии с правилами Регистра СССР все судостроительные материалы подразделяются на негорючие и горючие. Фенольные пенопласты относятся к горючим материалам и испытываются по "Методике испытаний судостроительных материалов на распространение пламени".

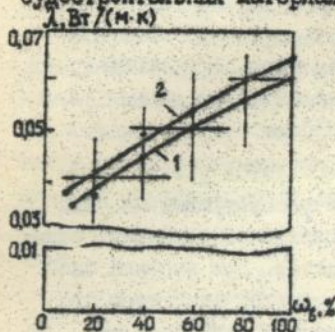


Рис.5. Зависимость коэффициента теплопроводности пенопластов от степени увлажнения: 1- ФРП-I; 2- Фенозол

Горючие материалы подразделяются на материалы с быстрым и медленным распространением пламени. Проведенные сравнительные испытания показали, что индекс распространения пламени у пенопластов ФРП-I и Фенозол соответственно составляют $J=20$ и $J=0$. Поскольку Регистр СССР в рефтрамах допускает применение горючих материалов с медленным распространением пламени, то пенопласт Фенозол в еще большей степени чем пенопласт ФРП-I удовлетворяет этим требованиям.

Одними из основных требований Регистра СССР к пенопластам является отсутствие токсичности для сохранения перевозимых в рефтрамах грузов.

Испытания показали, что данные минеральные наполнители способствуют снижению токсичности до следовых количеств. Снижение горючести и токсичности происходит за счет уменьшения доли олигомера в составе полимерной композиции.

Основным видом напряженного состояния при работе теплоизоляционных материалов на судах является сжатие. Экспериментально найдено, что прочность при 10%-ном сжатии у наполненного пенопласта на 5...7% выше.

Таким образом, добавка данных минеральных наполнителей способствует улучшению эксплуатационных свойств пенопласта.

В пятой главе разработаны основы технологии изоляции рефрижераторных трюмов залилочными фенольными пенопластами.

Получение качественного изоляционного слоя возможно только при знании закономерностей пенообразования и умении регулировать технологический процесс его получения. По теории пенообразования имеются публикации, но теоретических основ получения фенолоформальдегидных пенопластов пока нет. На основе теории образования зародышей новой фазы в гетерогенных системах разработанной В.К.Ламером и обобщения литературных данных представляется, что образование фенолоформальдегидных пенопластов по аналогии с пенополиуретанами происходит в несколько стадий.

В первый (индукционный) период при взаимодействии газообразователя (тонкодисперсного порошка алюминия) с кислотным катализатором в жидкую композицию начинает выделяться газ. При концентрации газа в реакционной смеси, превышающей равновесную концентрацию насыщения начинается зарождение газовой фазы.

Второй период (гелеобразования) характеризуется резким повышением температуры и кратности пены и может рассматриваться как основной. Продолжительность периода гелеобразования оказывает большое влияние на структуру и свойства пенопластов. При высокой скорости процесса происходит быстрая фиксация ячеистой структуры, что обуславливает получение материалов с равномерной мелкопористой структурой и высокими физико-механическими показателями. Замедление процесса гелеобразования приводит к глубоким изменениям структуры пены, вследствие ее диффузионного расширения. Скорость поликонденсации в значительной степени зависит от многих параметров: температуры и давления, доли тепла идущего на процесс разложения газообразователя, поверхностного натяжения, вязкости, концентрации газа и агрегативной устойчивости пены.

Завершающий период характеризуется незначительным ростом пены вследствие расширения газа в ячейках при достижении максимального экзотермического эффекта в процессе отверждения смолы. После прекращения выделения газа устанавливается равновесная концентрация насыщения композиции. С этого момента рост пузырьков идет за счет диффузии газа из меньших в большие. После этого пузырьки газа теряют свободу перемещения, превращаясь преимущественно в полиэдрические ячейки разделенные тонкими стенками отверждающейся смолы.

Разработка рациональной технологии получения изоляционного слоя заливочными пенопластами требует изучения влияния на процесс

пенообразования совокупности кинетических, температурных и технологических параметров. Для исследования параметров вспенивания была создана экспериментальная установка. Определение оптимального значения изучаемого параграфа производилась по оценке однородности макроструктуры пенопласта. Критерием оценки вспенивающей способности полимерной композиции служит кратность вспенивания, определяемая отношением объема пенопласта к объему жидкой композиции. Кратность вспенивания возрастает с повышением температуры композиции (рис.6).

Экспериментально выявлено, что наиболее равномерная структура пенопласта получается при кратности вспенивания $K = 25$.

Кинетическим параметром является индукционный период вспенивания. На индукционный период значительное влияние оказывает начальная температура полимерной композиции (рис.6). Температуру композиции следует выбирать такой, чтобы индукционный период превышал время перемешивания компонентов. Оптимальным является индукционный период в пределах 2 мин.

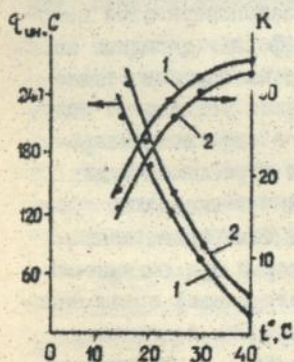


Рис.6. Зависимость кратности вспенивания (K) и времени индукции ($t_{ин}$) от температуры композиции
1- ФРП-I; 2- Фенозсл

с образованием однородной мелкопористой структуры.

Важным параметром является температура окружающей среды, а поскольку удаляемое вспенивание происходит при темпера-

На кинетику вспенивания решающее влияние оказывают температурные параметры. Так при низких температурах вследствие замедления процесса газовыделения, скорость образования зародышей газовой фазы будет мала по сравнению со скоростью их роста, что приводит к неоднородности ячеистой структуры пенопласта. При высокой температуре компонентов скорость образования зародышей газовой фазы и их рост будут одинаковыми, что приводит к образованию относительно крупных ячеек. Оптимальной температурой композиции можно считать 25°C , поскольку в этом случае обеспечивается синхронность процессов вспенивания и отверждения

рах выше 15°C , то при низких температурах необходим предварительный подогрев изолируемых участков судовых конструкций для компенсации теплопотерь в полимерной композиции. Поскольку теплоизоляционные работы производятся круглогодично, возникла необходимость выбрать эффективный способ нагрева. Нагрев металла осуществляется в основном двумя методами: теплообменом или теплогенерацией. Нагрев теплогенерацией осуществляется быстрее чем теплообменом из-за меньших потерь тепла конвекцией и излучением. При электроконтактном нагреве сложно в условиях строящегося судна осуществить надежный контакт с металлом. При терминдукционном нагреве не требуется контактных устройств и его легче осуществить в условиях строящихся судов, поэтому для решения данной задачи был выбран индукционный метод нагрева. Специфика поставленной задачи вызвала необходимость проектирования терминдукционного нагревателя. Спроектированный нагреватель на токе промышленной частоты не требует высокочастотного генератора. В качестве источника питания можно использовать стандартный сварочный трансформатор. Скорость нагрева $25^{\circ}/\text{мин}$. удовлетворяет данный техпроцесс.

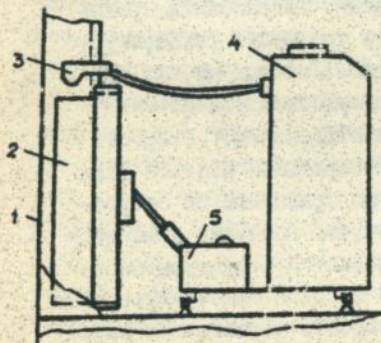


Рис.7. Схема изоляционной установки

- 1- борт; 2-нагреватель;
3- заливочная головка;
4- заливочная машина;
5- механизм передвижения

Исследование закономерностей пенообразования фенолоформальдегидных заливочных пенопластов на опытном отсеке позволило разработать технологию получения изоляционного слоя механизированным способом на строящихся судах. Сформулированы общие технические требования и приведен техпроцесс монтажа теплоизоляции, который при положительных температурах окружающей среды включает следующие операции: подготовку полимерных компонентов; их дозировку; смешение и подачу композиции в изолируемое пространство, образованное пясками зашивки высотой 1200-1500 мм. После окончания изоляции нижнего пояса монтируется следующий пояс и операция заливки повторяется вплоть до подволока судового помещения.

При отрицательных температурах окружающей среды необходим подогрев изолируемого участка судовой конструкции до температуры 30°C для компенсации тепловых потерь полимерной композиции в окружающую среду. Изоляция при этом может осуществляться с помощью специальной установки (рис.7). Изоляционная установка размещается в судовом трюме вблизи изолируемой поверхности (борта или переборки). Формующая опалубка подводится к набору, образуя замкнутый объем. Производится нагрев изолируемого участка индуктором, смонтированным в формующей опалубке. После нагрева индуктор убирается в опалубку и производится заливка композиции, которая вспенивается с образованием изоляционного слоя. После этого опалубка передвигается выше и процесс заливки повторяется вплоть до подволока судового помещения. А.с.№ 698833.

Практика изоляции заливкой при низких температурах окружающей среды показала, что наиболее простым способом подогрева изолируемых участков судовых конструкций является нагрев горячим воздухом заводской магистрали.

Разработанная принципиально новая технология теплоизоляционных работ позволяет механизировать монтаж теплоизоляционного слоя, исключив при этом операции по механической обработке изоляционного материала и крепления к изолируемой поверхности, сократить длительность и трудоемкость работ и обеспечивает практически безотходную технологию производства работ даже при отрицательных температурах окружающей среды.

Результаты исследований диссертационной работы использованы в отчетах по хозяйственным темам, СТП и в Украинском научно-исследовательском институте технологий судостроения при разработке промышленной технологии монтажа изоляции заливочными пенопластами, внедренной в судостроительном заводе им.61 коммунара при постройке серии рефрижераторных судов с годовым экономическим эффектом 90 тыс.руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Проведенные в диссертационной работе исследования и полученные результаты позволяют сделать следующие основные выводы:

1. В результате проведенного анализа обоснована возможность применения заливочных композиций для механизации изоляционных работ.

2. Научно обоснован выбор минеральных наполнителей, снижающих влажностные показатели заливочного пенопласта на 50%.

Введение минеральных наполнителей способствует снижению индекса распространения пламени с 20 до 5, токсичности на 20% и стоимости на 25%. Возрастание коэффициента теплопроводности при увлажнении происходит по закону насыщения. Увеличение прочности при сжатии с возрастанием кажущейся плотности пенопластов происходит по линейному закону.

3. Разработана математическая модель увлажнения изоляции, на базе которой показано, что увеличение тепловых потерь за счет увлажнения может достигать 25%.

4. Экспериментально определены параметры вспенивания фенольных пенопластов. Оптимальная структура пенопластов получается при кратности вспенивания 25, вязкости смолы $5 \cdot 10^3$ мПа.с, времени индукции 2 мин., температурах полимерной композиции и нагрева изолируемой конструкции соответственно 25°C и 30°C.

5. Разработан принципиально новый технологический процесс, позволяющий механизировать и снизить трудоемкость и продолжительность изоляционных работ.

6. Разработанный технологический процесс монтажа изоляции заливочными пенопластами внедрен в ПО "Судостроительный завод им. 61 Коммунара" и с годовым экономическим эффектом 90 тыс.руб. Доля творческого участия автора в выполненных разработках составляет 25%, что соответствует экономическому эффекту в сумме 22,5 тыс.руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Д и п и н В.Г., Р а ш к о в с к и й А.С. О применении заливочных и напыляемых пенопластов для изоляции судовых помещений //Технология судостроения и сварочного производства: Сб.научных тр., - Николаев, НКИ, 1975. -С.15-18.

2. Д и п и н В.Г. Физические свойства наполненного фенольного пенопласта ФРП-I //Технология судостроения и сварочного производства: Сб.научн.тр. - Николаев, НКИ, 1977. - С.24-27.

3. Гаврилова Р.И., Микшер А.М., Липин В.Г. Исследование влажностных свойств теплоизоляционных материалов типа ФРП //Технология судостроения и сварочного производства: Сб. научн. тр.- Николаев, НКИ, 1977. - С.27-32.

4. А.С. № 566854 СССР. Композиция для получения пенопласта /А.С.Рашковский, А.Д.Ковтун, В.Г.Липин, / Н.Руденко и др.(СССР). - Оpubл.30.07.77. Булл.№ 28.

5. А.С. № 698833. Способ изоляции судовых помещений /В.Г.Липин, А.С.Рашковский. -Оpubл.25.II.79. Булл.№ 43.

6. Липин В.Г. Об одном способе нанесения судовой теплоизоляции //Технология судостроения и сварочного производства: Сб. научн.тр. - Николаев, НКИ, 1979. - С.48-50.

7. Липин В.Г. Экспериментальные исследования параметров вспенивания заливочных пенопластов //Технология судостроения и сварочного производства: Сб. научн.тр.- Николаев, НКИ, 1985. -С.20-23.

8. Липин В.Г., Ткач М.Р. Оценка влияния модифицирующих добавок на время увлажнения пенопластов типа ФРП //Прогрессивная технология судостроения и сварочного производства: Сб. научн. тр.- Николаев, НКИ, 1988. - С.16-21.

Липин

462967

№ 28.069

AB 28.069