

В. В. Бухмиров, А. К. Гаськов
Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

В статье приведены результаты исследования эффективности использования тонкопленочных теплоизоляционных материалов, установленных на ограждающих конструкциях жилого здания, а также выполнено сравнение их физических характеристик с характеристиками традиционных теплоизоляционных материалов. Получены новые экспериментальные данные о температурных полях и тепловых потоках в теплоизоляционных слоях разной конструкции. Результаты эксперимента представлены в виде аппроксимационных зависимостей, которые могут быть использованы в расчетах тепловых потерь ограждениями зданий.

Энергосбережение, тонкопленочные покрытия, энергосберегающая краска, тепловая изоляция, утепление фасада, минеральная вата, мокрый фасад, тепловые потери.

The results of the research on efficiency of thin-film insulating materials installed on the enclosure structure of residential buildings, as well as comparison of their physical characteristics with the characteristics of traditional insulating materials are presented in the article. New test data on the temperature fields and heat flows in the heat-insulating layers of different designs are obtained. The empirical data are presented as approximation dependences that can be used in the calculation of heat losses building fences.

Energy-saving, thin-film coatings, energy-saving paint, thermal insulation, facade insulation, glass wool, wet facade, heat loss.

Введение.

Российская Федерация является одним из мировых лидеров по выработке и потреблению тепловой энергии на обогрев зданий и строений, но при этом удельные показатели потребления тепловой энергии на отопление, отнесенные к единице площади, в 2÷3 раза больше, чем в других странах, расположенных в той же климатической зоне, что и Россия (страны Скандинавии, Канада). По оценкам ряда авторов [5], [6], [7] потери тепла через стены оцениваются в 40÷45 % от общих тепловых потерь помещения, а для жилищ индивидуальной постройки эти потери в 2,5÷4 раза выше, чем у многоэтажных зданий. Поэтому увеличение термического сопротивления наружных ограждающих конструкций зданий и строений является актуальной задачей повышения энергетической эффективности жилищно-коммунального хозяйства страны.

Для снижения тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции применяют различные теплоизоляционные материалы, для которых коэффициент теплопроводности и плотность материала должны быть не выше 0,175 Вт/м·К и 500 кг/м³ соответственно. Теплоизоляционные материалы различают по виду сырья, структуре, форме выпуска, плотности, теплопроводности, жесткости, огне- и влагостойкости, способу применения и др. [1]. По виду сырья, из которого изготавливают теплоизоляционные материалы, их разделяют на органические (древесноволокнистые плиты, торфоплиты, камышит, эковата, пробка), неорганические (минеральная вата, стекловата, пено- и газбетон, пенопласты, пенополистирол), а так же композитные теплоизоляционные материалы, содержащие в своем составе органические и неорганические наполнители.

На рынке теплоизоляционных материалов представлен широкий ассортимент продукции, основная доля которой (~97 %) приходится на неорганические

материалы, в том числе: на изделия из минеральной ваты – 70 %, на пенопласты – 20 %, на другие виды утеплителей – 10 % [7]. Утепление наружных ограждающих конструкций зданий минеральной ватой и пенопластом, в основном, проводится по двум технологиям:

а) технология навесного «вентилируемого» фасада, при котором между слоем тепловой изоляции, наносимой на поверхность стен при помощи металлического каркаса, и облицовочными декоративными панелями остается воздушный вентиляционный зазор, предназначенный для удаления влаги от ограждающей конструкции, а также для повышения общего термического сопротивления всей конструкции;

б) технология «мокрого» фасада, когда стены утепляют плитами теплоизоляционного материала, которые укрепляют на поверхности стены при помощи специального клеевого состава и монтажных дюбелей, и последующим созданием на поверхности утеплителя армированного слоя с использованием сетки и специальной штукатурки.

В настоящее время появился новый способ утепления зданий – окраска стен тонкопленочной энергосберегающей краской. Энергосберегающая краска – это эмульсия, состоящая из связующего компонента и микроскопических керамических или стеклянных пустотелых сфер диаметром 0,03÷0,1 мм. Энергосберегающие краски обладают свойствами красок – защищают поверхность от воздействия окружающей среды – и свойствами тепловой изоляции – снижают тепловые потери за счет своей пористой структуры. К достоинствам энергосберегающих красок можно отнести [1]:

- невысокую стоимость производства краски;
- хорошую адгезию к любым материалам, кроме полиэтилена;
- механическую прочность;

- антигрибковые и противогрибковые свойства;
- влаго- и паронепроницаемость покрытия;
- устойчивость к ультрафиолетовому излучению;
- хорошую колеруемость пигментами;
- низкую стоимость покрасочных работ;
- экологическую и пожарную безопасность;
- низкий вес и, как следствие, отсутствие дополнительных нагрузок на ограждающие конструкции;
- высокий эстетический облик окрашенных ограждающих конструкций.

Недостатком же данной технологии утепления фасадов является относительно низкие показатели тепловой защиты [2], [3], [4], [8], [9].

Основная часть.

В статье рассмотрен вопрос определения энергетической эффективности энергосберегающих покрытий и сравнение их теплозащитных свойств при утеплении фасадов зданий. Для этого был создан полномасштабный исследовательский полигон на фасаде частного жилого дома в Ивановской области для проведения натурных экспериментов и исследований энергосберегающих покрытий, а также для сравнения их теплозащитных свойств. Полигон представляет собой предварительно оштукатуренный цементным раствором толщиной 1 см участок стены жилого дома, разделенный на зоны с различными видами тепловой изоляции. Каждая зона стены представляет собой прямоугольник высотой 3,9 м и шириной 2 м.

Для исследования теплозащитных свойств были выбраны следующие виды покрытий:

1. На участке №1 полигона тепловая изоляция фасада выполнена по технологии «мокрого» фасада из негорючих, гидрофобизированных теплозвукоизоляционных плит минеральной ваты на основе горных пород базальтовой группы ($\delta=100$ мм, $\lambda=0,038\div0,042$ Вт/(м·К), $\rho=131\div135$ кг/м³). Выбор этого вида тепловой изоляции обусловлен наибольшей распространенностью данной технологии на рынке материалов и изоляционных работ. По данной

технологии также был теплоизолирован угол здания, примыкающий к полигону, для уменьшения тепловых потерь в торцевой части полигона.

2. На участках №2 и 3 тепловая изоляция выполнена путем окраски стены теплозащитной краской слоями в 1 и 3 мм соответственно. Для обеспечения одинаковой толщины слоев теплоизоляционного материала оштукатуренную стену покрасили энергосберегающей краской машинным способом при помощи краскопульта. Перед нанесением краски штукатурка была предварительно грунтована акриловым грунтом глубокого проникновения для повышения адгезии краски к цементному основанию. В ходе подготовительных работ по нанесению энергосберегающей краски было выявлено, что нерационально наносить слой краски толщиной более 3 мм за один раз, так как это приводит к растрескиванию покрытия в процессе высыхания. Рекомендуется последовательное нанесение краски слоями толщиной 0,7÷1,5 мм с последующей сушкой каждого слоя в течении минимум 24 часов в зависимости от температуры окружающего воздуха.

3. На участке №4 полигона нанесена только цементная штукатурка толщиной 10 мм без нанесения энергосберегающих покрытий.

Схема экспериментальных участков с указанием точек установки датчиков температур и тепловых потоков представлена на рис. 1.

В ходе проведения экспериментов были измерены тепловые потоки на поверхности экспериментальных участков, температуры между слоями покрытий и на поверхности, параметры микроклимата внутреннего и наружного воздуха.

Тепловые потоки и температуры на поверхностях экспериментальных участков были определены измерителем теплового потока ИТП-МГ4.03/Х(1) «Поток» с функцией фиксации показаний. Датчики тепловых потоков и температур закреплялись в центре измерительных участков. Погрешность измерения прибора ИТП «Поток» по паспорту равна для теплового потока – $\pm 6\%$, для температуры – $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

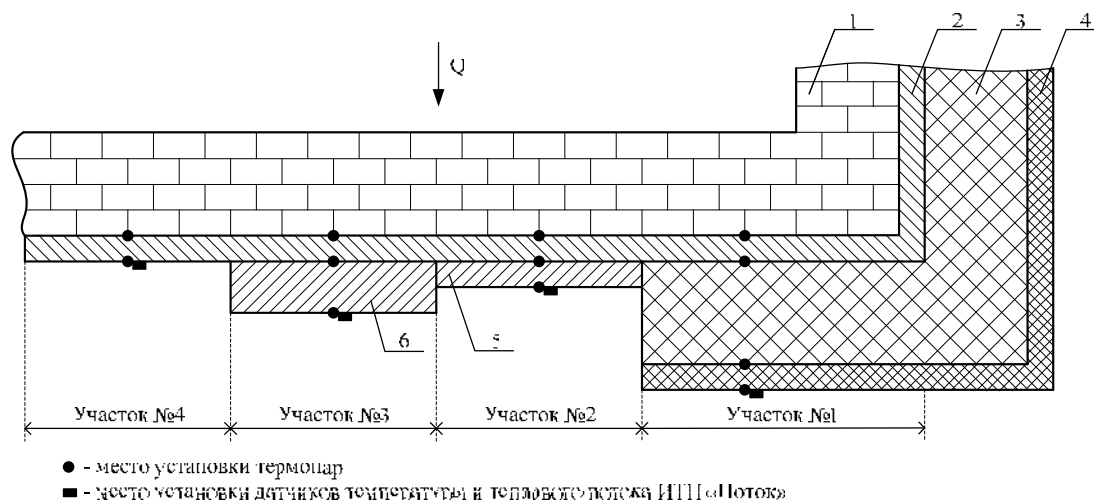


Рис. 1. Схема экспериментальных участков:

1 – кирпичная кладка, 2 – слой цементной штукатурки, 3 – слой минеральной ваты толщиной 100 мм, 4 – слой декоративной штукатурки, 5 – слой энергосберегающей краски толщиной 1 мм, 6 – слой энергосберегающей краски толщиной 3 мм

Температуры между слоями покрытий и температуры наружных поверхностей каждого экспериментального участка измерены при помощи термодатчиков типа «Т». В качестве вторичного прибора использовался накопитель данных ADAM-4000. Погрешность измерения температуры при помощи термодатчиков составила $\pm 1^\circ\text{C}$.

Климатические параметры внутреннего и наружного воздуха (температура, давление, влажность,

скорость) определены при помощи метеостанции Davis AdvantagePro2.

Эксперимент длился в течение трех месяцев: с февраля по апрель 2013 г. Показания измерительных приборов фиксировались в автоматическом режиме и заносились в электронную базу данных через 1 час. Статистическая обработка результатов эксперимента выполнена в программе Microsoft Excel. Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3.

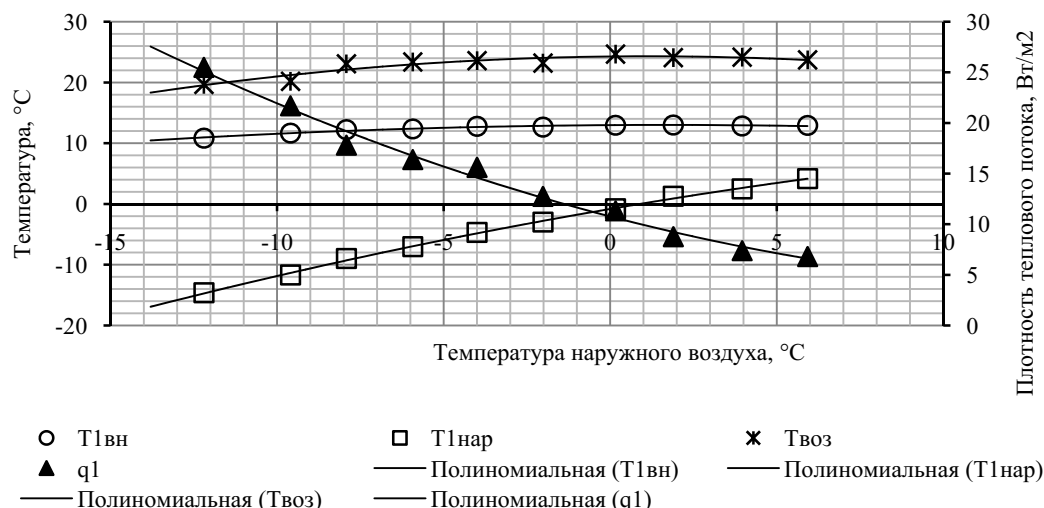


Рис. 2. Зависимость температуры и теплового потока на участке №1 от температуры наружного воздуха
 $T_{1вн}$ – температура под штукатурным основанием на участке №1; $T_{1нар}$ – температура поверхности участка №1;
 $T_{воз}$ – температура воздуха внутри помещения; q_1 – плотность теплового потока на поверхности участка №1

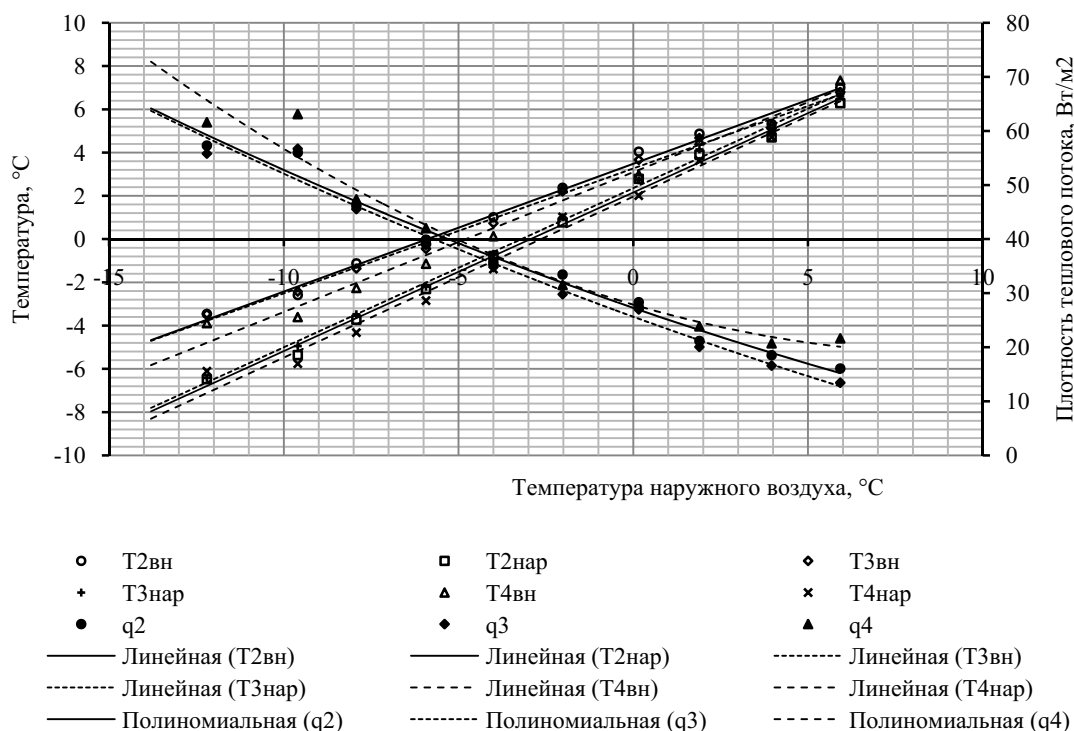


Рис. 3. Зависимость температуры и теплового потока на участках №2–4 от температуры наружного воздуха
 $T_{2вн}$, $T_{3вн}$, $T_{4вн}$ – температура под штукатурным основанием на участках №2–4 соответственно; $T_{2нар}$, $T_{3нар}$, $T_{4нар}$ – температура поверхности участков №2–4 соответственно; q_2 , q_3 , q_4 – плотность теплового потока на поверхности участков №2–4 соответственно

Анализ обработки экспериментальных данных показал, что за период наблюдения

1. Температура наружного воздуха изменялась в диапазоне $-12,2 \div 5,9^\circ\text{C}$ и в среднем составила $-3,0^\circ\text{C}$.

2. Температура воздуха внутри помещения изменялась в диапазоне $19,7 \div 24,7^\circ\text{C}$ и в среднем составила $23,0^\circ\text{C}$.

3. Температура под штукатурным основанием исследуемых участков составила:

– на участке №1 в диапазоне $10,8 \div 13^\circ\text{C}$ (среднее значение $12,4^\circ\text{C}$);

– на участке №2 в диапазоне $-3,5 \div 7,0^\circ\text{C}$ (среднее значение $1,7^\circ\text{C}$);

– на участке №3 в диапазоне $-3,5 \div 6,8^\circ\text{C}$ (среднее значение $1,5^\circ\text{C}$);

– на участке №4 в диапазоне $-3,9 \div 7,3^\circ\text{C}$ (среднее значение $1,2^\circ\text{C}$).

4. Температура поверхности исследуемых участков составила:

– на участке №1 в диапазоне $-14,6 \div 4,2^\circ\text{C}$ (среднее значение $-4,3^\circ\text{C}$);

– на участке №2 в диапазоне $-6,5 \div 6,3^\circ\text{C}$ (среднее значение $0,0^\circ\text{C}$);

– на участке №3 в диапазоне $-6,4 \div 6,6^\circ\text{C}$ (среднее значение $0,2^\circ\text{C}$);

– на участке №4 в диапазоне $-6,1 \div 6,6^\circ\text{C}$ (среднее значение $-0,2^\circ\text{C}$).

5. Перепад температур между температурой под штукатурным основанием и температурой поверхности исследуемых участков составил:

– на участке №1 в диапазоне $8,8 \div 25,5^\circ\text{C}$ (среднее значение $16,7^\circ\text{C}$);

– на участке №2 в диапазоне $0,6 \div 3,0^\circ\text{C}$ (среднее значение $1,7^\circ\text{C}$);

– на участке №3 в диапазоне $0,2 \div 3,0^\circ\text{C}$ (среднее значение $1,4^\circ\text{C}$);

– на участке №4 в диапазоне $0,6 \div 2,2^\circ\text{C}$ (среднее значение $1,4^\circ\text{C}$).

6. Тепловой поток с одного квадратного метра на исследуемых участках равен:

– на участке №1 в диапазоне $6,8 \div 25,5 \text{ Вт/м}^2$ (среднее значение $14,4 \text{ Вт/м}^2$);

– на участке №2 в диапазоне $16,1 \div 57,3 \text{ Вт/м}^2$ (среднее значение $35,2 \text{ Вт/м}^2$);

– на участке №3 в диапазоне $13,4 \div 56,7 \text{ Вт/м}^2$ (среднее значение $33,9 \text{ Вт/м}^2$);

– на участке №4 в диапазоне $20,7 \div 63,1 \text{ Вт/м}^2$ (среднее значение $37,6 \text{ Вт/м}^2$).

Заметим, что температура поверхности участка №1 отличается от температуры наружного воздуха на $\sim 1,3^\circ\text{C}$, а температуры поверхностей участков №2–4 отличаются от температуры наружного воздуха на $\sim 2,7 \div 3,1^\circ\text{C}$. Температуры поверхностей участков №2–4 отличаются друг от друга не более, чем на $0,7^\circ\text{C}$ за весь период наблюдения.

Принимая за базовое значение потерь тепловой энергии с квадратного метра поверхности стены поверхностьную плотность теплового потока от оштукатуренной поверхности (участок №4) получим, что среднее снижение тепловых потерь составило:

– на участке №1 – 62 %;

– на участке №2 – 8,3 %;

– на участке №3 – 11,8 %.

Для использования информации о температурных полях и тепловых потоках от ограждений зданий при различной конструкции и типе тепловой изоляции в расчетах теплового баланса зданий были получены полиномиальные зависимости. При этом минимальная погрешность аппроксимации тепловых потерь и температур на участке с минераловатной изоляцией в зависимости от температуры наружного воздуха была получена при параболической аппроксимации. Температуры на поверхности и на границе кирпичной кладки и энергосберегающей краски в зависимости от температуры наружного воздуха изменяются практически линейно.

Результаты аппроксимации зависимостей температуры и теплового потока от температуры наружного воздуха приведены в таблице.

Таблица

Результаты аппроксимации экспериментальных данных

Параметр	Участок	Уравнение	Погрешность аппроксимации, %
Температура воздуха внутри помещения	-	$T_{\text{воз}} = -0,0268 \cdot T_{\text{нв}}^2 + 0,0601 \cdot T_{\text{нв}} + 24,275$	12,3
Температура под штукатурным основанием исследуемых участков	№1	$T_{1\text{вн}} = -0,0107 \cdot T_{\text{нв}}^2 + 0,0355 \cdot T_{\text{нв}} + 12,987$	3,5
	№2	$T_{2\text{вн}} = 0,591 \cdot T_{\text{нв}} + 3,4811$	0,8
	№3	$T_{3\text{вн}} = 0,5774 \cdot T_{\text{нв}} + 3,2662$	0,7
	№4	$T_{4\text{вн}} = 0,6463 \cdot T_{\text{нв}} + 3,0961$	1,3
Температура поверхности исследуемых участков	№1	$T_{1\text{нар}} = -0,0165 \cdot T_{\text{нв}}^2 + 0,9385 \cdot T_{\text{нв}} + 0,8082$	0,2
	№2	$T_{2\text{нар}} = 0,7333 \cdot T_{\text{нв}} + 2,1588$	0,6
	№3	$T_{3\text{нар}} = 0,7359 \cdot T_{\text{нв}} + 2,3585$	0,3
	№4	$T_{4\text{нар}} = 0,7443 \cdot T_{\text{нв}} + 1,9639$	1,6
Плотность теплового потока на поверхности исследуемых участков	№1	$q_1 = 0,0261 \cdot T_{\text{нв}}^2 - 0,8563 \cdot T_{\text{нв}} + 10,777$	1,3
	№2	$q_2 = 0,0322 \cdot T_{\text{нв}}^2 - 2,2278 \cdot T_{\text{нв}} + 27,293$	1,9
	№3	$q_3 = 0,0299 \cdot T_{\text{нв}}^2 - 2,3466 \cdot T_{\text{нв}} + 25,65$	2,4
	№4	$q_4 = 0,0983 \cdot T_{\text{нв}}^2 - 1,8981 \cdot T_{\text{нв}} + 27,904$	4,1

Выводы.

1. Проведены натурные исследования энергетической эффективности применения различных видов покрытий для утепления фасадов зданий. Получены новые данные о температурах и тепловых потоках в ограждающих конструкциях при использовании в качестве энергосберегающего покрытия «мокрого» фасада и энергосберегающей краски. Найдены аппроксимационные зависимости температур и тепловых потоков от температуры наружного воздуха, которые могут быть использованы в расчетах тепловых потерь зданий.

2. Экспериментально установлено, что тепловые потери при теплоизоляции фасада здания по технологии «мокрого» фасада из минераловатных плит толщиной 100 мм снижаются на 62 %, при нанесении энергосберегающей краски слоями в 1 и 3 мм – тепловые потери снижаются на 8,3 и 11,8 % соответственно.

3. Применение энергосберегающих красок для утепления фасадов зданий эффективно только при их совместном использовании с другими видами классической тепловой изоляции.

Литература

1. Антонова, А. М. К выбору материалов для нетрадиционной тепловой изоляции оборудования ТЭС и АЭС: Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность» / А. М. Антонова, А. В. Воробьев, Б. А. Ляликов. – Томск, 2008. – С. 59–62.
2. Бухмиров, В. В. Исследование энергосберегающих покрытий: Сборник научных трудов Международной на-

учно-практической конференции «Состояния и перспективы развития электротехнологий» (XVI Бенардосовские чтения) / В. В. Бухмиров, А. К. Гаськов, Е. А. Орищенко. – Иваново, 2011. – Т. 2. – С. 164–165.

3. Бухмиров, В. В. Сравнение способов утепления фасадов зданий. Теплоэнергетика / В. В. Бухмиров, А. К. Гаськов, А. Н. Чугунова // VIII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2013»: Материалы конференции: в 7 т. – Иваново, 2013. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 86–88.

4. Губинский, М. В. Исследование теплофизических свойств керамического жидкого теплоизоляционного покрытия / М. В. Губинский, Г. М. Затопляев, Р. Ю. Радченко // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика : збірник наукових праць. – Вип. 3. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 94–101.

5. Данилов, О. Л. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов / О. Л. Данилов. – М., 2006.

6. Завадский, В. Ф. Технология изоляционных строительных материалов и изделий: в 2 ч. Ч. 1: Стеновые материалы и изделия / В. Ф. Завадский. – М., 2012.

7. Игнатова, О. А. Технология изоляционных строительных материалов и изделий: в 2 ч. Ч. 2: Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия / О. А. Игнатова. – М., 2012.

8. Кисляк, С. М. Исследование теплозащитных свойств теплоизоляционного покрытия Re-Therm / С. М. Кисляк, П. К. Сеначин // Ползуновский вестник. – 2014. – №1. – С. 64–67.

9. Образцов, Д. В. Исследование прочностных и теплофизических свойств наномодифицированных строительных и теплозащитных материалов / Д. В. Образцов, В. М. Фокин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т.18. – № 4. – С. 1051–1061.

УДК 542.63:621.929

С. О. Кожесвииков, Е. Н. Калинин*Ивановский государственный политехнический университет*

К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОЙ СРЕДЫ В ТРУБКЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

В статье представлены результаты моделирования движения жидкой среды в трубке переменного сечения вращающейся в центробежном поле перемешивающего устройства. Для исследуемого процесса выполнен расчет однородного винтового потока в трубке переменного сечения.

Компьютерное моделирование, перемешивающее устройство, трубка переменного сечения.

The article presents the results of the simulation of the movement of the fluid rotating in a centrifugal field mixing device in the variable cross section tube. Calculation of a pure helical flow in a variable cross section tube for this practice is accomplished.

Computer modeling, a mixing device, a variable cross section tube.

Введение.

Существующие конструкции перемешивающих устройств для получения материалов высокой дисперсности характеризуются небольшим разнообразием рабочих органов. Анализ конструкций аппаратов, предназначенных для получения материалов высокой дисперсности, показал, что требуется даль-

нейшее совершенствование их рабочих органов [3], [4]. Кроме этого, применяемые для этой цели конструкции имеют высокие показатели потребляемой мощности и металлоемкости [3].

Исследования [3], проведенные нами в лабораторных условиях, показали, что для получения высокодисперсных суспензий можно использовать прин-