

УДК 519.23+699.86

**А. Д. Жуков, Т. В. Смирнова, А. А. Еременко, Н. А. Копылов**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ**

Эксплуатационная стойкость изделий на основе каменной ваты во многом определяется условиями формирования структуры минераловатного ковра, а также равномерностью отверждения связующего вещества в объеме материала, характеристиками ковра и условиями его тепловой обработки. Для оптимизации параметров тепловой обработки разработан программный комплекс, опробованный в технологии слоистых изделий.

**Ключевые слова:** минеральная вата, компьютер, тепловая обработка, конвейер, плита двойной плотности, гидродинамика.

The operational resistance of mineral wool products is largely determined by the conditions of formation of the mineral wool structure, as well as the uniformity of binder curing in the volume of material, characteristics of the mat and its thermal processing conditions. To optimize the heat treatment the software system was created and tested on technology of layered products.

**Key words:** mineral wool, PC, heat treatment, conveyor, dual density slab, hydrodynamics.

Снижение эксплуатационной энергоемкости строительных объектов предполагает ориентацию на энергосбережение (экономия энергетических ресурсов) на всех стадиях жизненного цикла продукции. Разработка новых изделий (в том числе изоляционных) и технологий (производства, монтажа, утилизации) должна предполагать решение вопросов экономии на стадии эксплуатации (формирования изоляционной оболочки здания, соответствующей нормативным требованиям по энергоэффективности и эксплуатационной стойкости) и на стадии изготовления. Требования по энергосбережению нашли отражение в зарубежных нормах [1], а также отечественных стандартах и отраслевых документах: РД 50-374—82; Р 50-3—87; РД 11-0830—91; Р 50-605-89—94.

Для теплоизоляционных материалов фактор энергосбережения непосредственно связан с их эксплуатационной стойкостью [2]. Эксплуатационная стойкость изделий на основе минеральной ваты закладывается на стадии изготовления и определяется как свойствами исходного сырья, так и условиями формирования структуры и ее стабилизации в процессе тепловой обработки [3]. Свойства минеральных волокон (в частности, стойкость в агрессивных средах) оцениваются по модулю кислотности, который для минеральной ваты, полученной из природного камня (базальтов, габбро, порфирита), находится в интервале 1,8...2,2.

Условия формирования структуры материала должны обеспечивать максимальное переплетение волокон при сохранении сплошности структуры, что достижимо при объемной ориентации волокон. Стабилизация структуры достигается в процессе тепловой обработки за счет отверждения связующего. При этом проявляется значимость таких параметров процесса, как равномерное распределение связующего вещества, максимальное отверждение связующего, максимальная равномерность отверждения связующего.

Жесткие минераловатные плиты (МВП) применяют при теплоизоляции всех систем, работающих в условиях повышенных нагрузок (за исключением

фундаментов и подвалов, где требуется высокая водонепроницаемость), в частности в системах изоляции плоских кровель и фасадных систем. Для таких МВП регламентируется прочность на сжатие (или на сжатие при 10%-й деформации) и прочность отрыва слоев под равномерно распределенной нагрузкой, минимальная эрозия волокна.

МВИ, имеющие объемно-ориентированную и комбинированную структуру, в наибольшей степени отвечают этим условиям. В первую очередь речь идет о слоистых изделиях или изделиях двойной плотности. Толщина плотного слоя постоянная и составляет 15...20 мм, толщина нижнего слоя меняется в зависимости от общей толщины плиты и требований по тепловому сопротивлению. При этом слои, имеющие разную плотность, соединяются между собой в одно изделие за счет связующего компонента, содержащегося в общем минераловатном ковре. Все основные качественные характеристики декларируются для плиты целиком.

Изготовление слоистых изделий базируется на современной технологии изготовления изделий из каменной ваты. Технология изготовления плит из каменной ваты основана на использовании шихты с модулем кислотности  $M_k = 1,8...2,2$ ; ее плавлении в модернизированных вагранках (оснащенных специальными устройствами для поддержания нормативной вязкости расплава). Волокно заданного диаметра и длины получают центробежно-валковым способом переработки расплава в волокно. Минераловатный ковер (первичный) формируется в наклонной или барабанной камерах волоконосаждения. В эти же камеры распылением подают водные растворы связующего и добавок. Окончательный ковер получают с помощью раскладчика и подпрессовщика (гофрировщика). Финальными переделами являются тепловая обработка ковra и форматирование его в изделия.

Объемно-ориентированная структура минераловатного ковra формируется на стадиях волоконосаждения, раскладки и подпрессовки (с гофрированием или без него) с последующим контактным омоноличиванием связующего (как правило, нейтрализованных фенолоспиртов).

Свойства минераловатного ковra (прочность, плотность, воздухопроницаемость, способность к упругому деформированию) зависят:

от свойств волокон (их прочности и плотности вещества, стойкости к агрессивным средам, диаметра и длины волокон);

количества контактов между волокнами (прочность свойлачивания, внутреннее трение).

На прочность волокон оказывает влияние их диаметр и длина, а также прочность вещества. Чем меньше диаметр, тем больше их удельная поверхность и тем больше точек контакта между волокнами. Это повышает устойчивость изделия к деформациям сжатия, которую можно рассматривать как увеличение внутреннего трения в структуре материала.

Особенностью технологии МВП двойной плотности является установка специального оборудования (рис. 1). Это оборудование размещается в технологической цепочке после подпрессовочного устройства (с гофрировщиком или без него) и перед камерой тепловой обработки. Подобные устройства работают на линиях ROCKWOOL (заводы в г. Железнодорожном и г. Выборге) и ориентированы на изготовление кровельных и фасадных теплоизоляционных слоистых плит.



*Параметры тепловой обработки*

Характеристика	Индекс	Область определения
Скорость теплоносителя в камере тепловой обработки, м/с	$X_1$	[0,4; 1,8]
Содержание связующего в минераловатном ковре, %	$X_2$	[0; 6]
Толщина слоя минераловатного ковра, м	$X_3$	[0,03; 0,12]
Содержание корольков в минераловатном ковре, %	$X_4$	[0; 10]
Средняя плотность минераловатного ковра, кг/м <sup>3</sup>	$X_5$	[50; 250]
Диаметр минерального волокна, мкм	$X_6$	[3; 6]
Температура теплоносителя на входе в минераловатный ковер, °С	$X_7$	[40; 240]
Влагосодержание минераловатного ковра, кг/кг	$X_8$	[0; 0,5]
Перфорация лент конвейера камеры тепловой обработки, %	$X_9$	[10; 60]
Масса 1 м <sup>2</sup> конвейера камеры тепловой обработки, кг	$X_{10}$	[20; 120]
Температура нагрева конвейера, °С	$X_{11}$	[20; 140]
Степень неравноплотности минераловатного ковра, %	$X_{12}$	[0; 50]
Производительность линии изготовления МВИ, кг/ч	$X_{13}$	[1500; 2500]

С помощью программы WD-22 осуществляется расчет гидравлического сопротивления каждого слоя многослойного минераловатного ковра. Общее гидравлическое сопротивление минераловатного ковра находят суммированием гидравлических сопротивлений отдельных слоев. Эта программа может быть также использована для оценки воздухопроницаемости минераловатных изделий, установленных в системах кровельной или фасадной изоляции.

С помощью программы WD-28 осуществляется расчет минимальной эффективной длины камеры тепловой обработки слоистого минераловатного ковра. С учетом технологических параметров и требуемой производительности линии определяется минимальная длина камеры тепловой обработки по каждому слою ковра. Минимальная эффективная длина камеры находится как сумма значений длин по каждому слою.

С помощью программы WD-25 осуществляется расчет продолжительности тепловой обработки многослойного минераловатного ковра. С учетом параметров технологического процесса, исходных свойств слоев минераловатного ковра определяется минимальное время, необходимое на тепловую обработку каждого слоя минераловатного ковра (на испарение из ковра воды и на отверждение связующего). Минимальное время тепловой обработки определяют как максимальное из времен тепловой обработки каждого из слоев.

Единый для всех программ алгоритм представлен на рис. 2.

Программы осуществляют расчет коэффициентов, зависящих от параметров технологического процесса (в том числе характеристик теплоносителя) и исходных свойств минераловатного ковра. С учетом этих коэффициентов определяется гидравлическое сопротивление волокнистого слоя, время тепловой обработки и минимальная длина камеры. Программы позволяют решать интерполяционные задачи технологического моделирования и оптимизировать режимы тепловой обработки минераловатного ковра, а также решать задачи управления технологическими процессами с применением ЭВМ.



Рис. 2. Алгоритм расчета параметров тепловой обработки минераловатного ковра

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hall C. A. Introduction to Special Issue on New Studies in EROI (Energy Return on Investment) // Sustainability. 2011. 3(10). Pp. 1773—1777. URL: [www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773](http://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773) (дата обращения : 21.06.2014).

2. Бессонов И. В., Старостин А. В., Оськина В. М. О формостабильности волокнистого утеплителя // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 134—139.

3. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Математическая модель и инженерный метод расчета влажностного состояния ограждающих конструкций // Архитектура и строительство. 2006. № 2. С. 60—63.

4. Буянтюев С. Л., Дамдинова Д. Р., Султимова В. Д. Технология получения эффективной базальтовой теплоизоляции с помощью низкотемпературной плазмы // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2006. № 12. С. 30—31.

5. Жуков А. Д., Смирнова Т. В., Гудков П. К. Тепловая обработка минераловатного ковра двойной плотности // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 3(23). URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/> (дата обращения : 21.06.2014).

6. Thermal treatment of the mineral wool mat / A. D. Zhukov, T. V. Smirnova, D. B. Zelenshchikov, A. O. Khimich // Advanced Materials Research (Switzerland). 2014. Vols. 838—841. Pp. 196—200.

1. Hall C. A. Introduction to Special Issue on New Studies in EROI (Energy Return on Investment) // Sustainability. 2011. 3(10). Pp. 1773—1777. URL: [www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773](http://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773) (data obrashcheniya : 21.06.2014).

2. Bessonov I. V., Starostin A. V., Os'kina V. M. O formostabil'nosti voloknistogo uteplitelya // Vestnik MGSU. 2011. № 3. S. 134—139.

3. Gagarin V. G., Kozlov V. V. Matematicheskaya model' i inzhenernyi metod rascheta vlazhnostnogo sostoyaniya ograzhdayushchikh konstruksii // Arkhitektura i stroitel'stvo. 2006. № 2. S. 60—63.

4. Buyantuev S. L., Damdinova D. R., Sul'timova V. D. Tekhnologiya polucheniya effektivnoi bazal'tovoi teploizolyatsii s pomoshch'yu nizkotemperaturnoi plazmy // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2006. № 12. S. 30—31.

5. Zhukov A. D., Smirnova T. V., Gudkov P. K. Teplovaya obrabotka mineralovatnogo kovra dvoynoi plotnosti // Internet-Vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2012. Vyp. 3(23). URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/> (data obrashcheniya : 21.06.2014).

6. Thermal treatment of the mineral wool mat / A. D. Zhukov, T. V. Smirnova, D. B. Zelenshchikov, A. O. Khimich // Advanced Materials Research (Switzerland). 2014. Vols. 838—841. Pp. 196—200.

© Жуков А. Д., Смирнова Т. В., Еременко А. А., Копылов Н. А., 2014

*Поступила в редакцию  
в октябре 2014 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Технологические аспекты обеспечения эксплуатационной стойкости эффективной теплоизоляции / А. Д. Жуков, Т. В. Смирнова, А. А. Еременко, Н. А. Копылов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 4(35). Ст. 6. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

*For citation:*

Zhukov A. D., Smirnova T. V., Eremenko A. A., Kopylov N. A. [Technological aspects of operational resistance of effective thermal insulation]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 4(35), paper 6. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>