

Черноиван В.Н., Самкевич В.А.

## К ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЫПУЧИХ УТЕПЛИТЕЛЕЙ, ИСПОЛЗУЕМЫХ В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СОВМЕЩЕННЫХ КРОВЛЯХ С ПРЯМЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ СЛОЕВ

### ВВЕДЕНИЕ

Более 70% всех эксплуатируемых жилых и общественных зданий в Республике Беларусь имеют совмещенные утепленные рулонные рубероидные кровли с прямым размещением слоев (рис. 1).

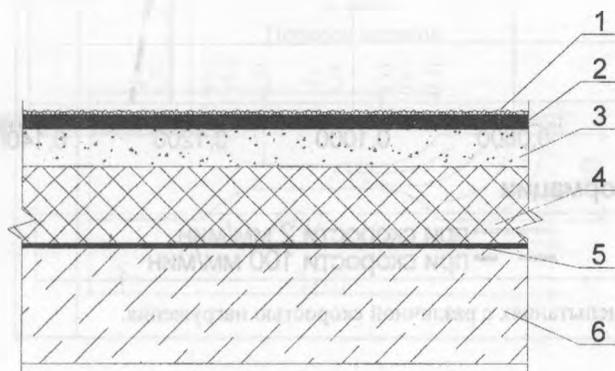


Рисунок 1 – Совмещенная кровля с прямым размещением слоев:

- 1 – защитный слой;
- 2 – водоизоляционный ковер;
- 3 – цементно-песчаная стяжка;
- 4 – теплоизоляционный слой;
- 5 – пароизоляция;
- 6 – несущая конструкция.

Анализ проектной документации показал, что почти 35% населения Республики Беларусь в настоящее время проживает в домах, где в качестве теплоизоляции в совмещенных рулонных кровлях с прямым размещением слоев применен гравий керамзитовый. Следует отметить, что гравий керамзитовый использован для создания уклонов кровли практически во всех эксплуатируемых зданиях с совмещенными кровлями.

С введением в действие с 01.01.2001 года СНБ 5.08.01-2000 [1] применение засыпных утеплителей из керамзита, аглопорита, перлита, дробленых природных материалов для жилых и общественных зданий и сооружений запрещается. Применение засыпных утеплителей допускается только для создания уклона кровли с укладкой на него плитного утеплителя.

Основной причиной введения ограничений на использование засыпных утеплителей в кровлях вновь возводимых и реконструируемых жилых и общественных зданий, является снижение теплотехнических характеристик совмещенных покрытий в эксплуатируемых зданиях, что приводит к существенному увеличению расходов на отопление зданий и поддержанию в рабочем состоянии несущих конструкций кровли (многopустотного железобетонного настила).

Накопленный опыт эксплуатации совмещенных утепленных кровель показал, что одной из основных причин снижения теплотехнических характеристик совмещенных покрытий является переувлажнение утеплителя и как следствие этого:

увеличение коэффициента теплопроводности материала ( $\lambda$ ), существенно зависящего от его влажности ( $W$ ) и насыпной плотности ( $\rho_n$ ).

Изучение литературных источников [2, 3, 4] показало, что на сегодня отсутствуют данные о физических свойствах сыпучих утеплителей, используемых длительное время в эксплуатируемых совмещенных кровлях с прямым расположением слоев. Отсутствие такой информации не позволяет дать объективную оценку состояния эксплуатируемых совмещенных покрытий и разработать мероприятия по выполнению работ по их доутеплению.

В настоящей статье изложены основные результаты исследований по оценке состояния физических свойств (влажности и насыпной плотности) гравия керамзитового, длительное время используемого в качестве утеплителя в кровлях и подвергавшегося атмосферным воздействиям и расчетным нагрузкам, а также приведены полученные численные значения коэффициента теплопроводности материала при различных значениях его влажности.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов для проведения натурных исследований были взяты эксплуатируемые совмещенные утепленные рулонные рубероидные кровли зданий, отвечающие следующим требованиям:

- срок эксплуатации утеплителя в кровле без его замены составляет не менее 15 лет, что соответствует минимальному сроку эксплуатации большинства возведенных зданий;
- водоизоляционный ковер и выравнивающая цементно-песчаная стяжка находятся в удовлетворительном состоянии; протечки в кровле отсутствуют;
- насыпная плотность утеплителя на момент его укладки в кровлю составляла  $500 \text{ кг/м}^3$ .

Отбор проб гравия керамзитового для проведения исследований был осуществлен в полном соответствии с требованиями действующих нормативных документов [1] на совмещенных кровлях следующих зданий:

- жилой дом по ул. К.Маркса № 77 в г. Бресте (введен в строй в 1974 году);
- жилой дом по ул. Парковая № 1 в г. Пинске (введен в строй в 1979 году);
- учебный корпус №2 БГТУ в г. Бресте (введен в строй в 1976 году);
- сборочный цех Брестского завода «Цветотрон» (введен в строй в 1975 году).

Отобранные пробы гравия керамзитового были использованы для определения следующих физических свойств утеплителя:

- влажности, зернового состава и насыпной плотности материала;
- численных значений коэффициента теплопроводности материала при различной его влажности.

Черноиван Вячеслав Николаевич. К.т.н., профессор, зав. каф. ТСП Брестского государственного технического университета.

Самкевич Виталий Анатольевич. Ассистент каф. ТСП Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ УТЕПЛИТЕЛЯ**

Влажность гравия керамзитового определялась согласно ГОСТ 9758-86.

Обработанные результаты проведенных исследований по определению влажности утеплителя приведены в таблице 1.

Анализ полученных результатов натурных исследований (табл. 1), позволяет сделать следующее заключение: влажность засыпного утеплителя во всех эксплуатируемых совмещенных рулонных рубероидных кровлях достигает значений, превышающих более чем в 6...8 раз допустимые для засыпных утеплителей (2...3 %) [4].

Исследования показали, что влажность утеплителя на различных участках кровли одного и того же здания, не имеющего протечек, существенно различается. Особенно значительны эти различия в жилых зданиях: наибольшая влажность утеплителя (от 18,8% до 20,6%) зафиксирована над кухнями, ванными комнатами и санузлами и существенно меньшая (от 9% до 12%) – над другими помещениями.

Таблица 1 – Результаты исследований по определению влажности утеплителя.

Наименование объекта, на котором взяты пробы	Зафиксированные значения влажности утеплителя $W$ , %	
	максимальные	минимальные
Жилой дом, г. Брест, ул. К. Маркса, 77	20,6	9,1
БГТУ, 2-й учебный корпус	18,4	6,2
Жилой дом г. Пинск, ул. Парковая, 1	18,8	12,2
Сборочный цех завода «Цветотрон», г. Брест	25,8	9,4

Проведенные рядом авторов [5, 6, 7] натурные исследования состояния эксплуатируемых совмещенных рулонных кровель не имеющих протечек, показали что основными источниками переувлажнения теплоизоляционного слоя являются:

- устройство монолитной выравнивающей стяжки из цементно-песчаного раствора по слою утеплителя;
- эксплуатационное увлажнение водяными парами, диффундируемыми через несущие конструкции покрытия (многопустотный железобетонный настил) из помещений.

В литературе отсутствуют данные позволяющие оценить изменения влажности сыпучих утеплителей, в том числе и гравия керамзитового, при устройстве выравнивающей стяжки из цементно-песчаного раствора.

С целью получения необходимой информации были выполнены следующие исследования.

В специально изготовленный лабораторный ящик с размерами в плане 1000×1000 мм и высотой 500 мм, стенки которого были выполнены из стекла, был уложен гравий керамзитовый влажностью 1%, толщиной слоя 140 мм. По слою гравия керамзитового была выполнена выравнивающая цементно-песчаная стяжка толщиной 40 мм. Определение влажности гравия керамзитового после устройства выравнивающей стяжки проводилось по ГОСТ 9758-86.

Проведенные исследования показали, что влажность гравия керамзитового после устройства выравнивающей цементно-песчаной стяжки достигла 4...5%.

Таким образом, принятая технология устройства выравнивающей цементно-песчаной стяжки по слою гравия керамзитового хотя и приводит к увеличению влажности материала теплоизоляции более чем в 1,6 раза по сравнению с допустимыми значениями, но она существенно ниже зафиксирован-

Таблица 2. – Результаты исследований по определению насыпной плотности утеплителя.

Наименование объекта, на котором взяты пробы	Насыпная плотность гравия керамзитового $\rho_H$ , кг/м <sup>3</sup>
Жилой дом, г. Брест, ул. К. Маркса, 77	790
БГТУ, 2-й учебный корпус	760
Жилой дом г. Пинск, ул. Парковая, 1	730
Сборочный цех завода «Цветотрон» г. Брест	820

Таблица 3 – Рекомендуемые значения коэффициента теплопроводности гравия керамзитового при  $\rho_H=500$  кг/м<sup>3</sup>.

Влажность материала $W$ , %	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×°С)	Влажность материала $W$ , %	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×°С)
0	0,130	8	0,197
1	0,136	9,5	0,198
2	0,145	13,5	0,206
3	0,170	14,5	0,214
4,5	0,188	17,5	0,233
7,5	0,196	19,5	0,247

Таблица 4 – Рекомендуемые значения коэффициента теплопроводности гравия керамзитового при  $\rho_H=600$  кг/м<sup>3</sup>.

Влажность материала $W$ , %	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×°С)	Влажность материала $W$ , %	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×°С)
0	0,140	8,5	0,247
1	0,142	10,0	0,249
2,0	0,170	15,0	0,252
3,0	0,200	21,0	0,258
4,5	0,227		

Таблица 5 – Рекомендуемые значения коэффициента теплопроводности гравия керамзитового при  $\rho_H=800$  кг/м<sup>3</sup>.

Влажность материала $W$ , %	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×°С)	Влажность материала $W$ , %	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×°С)
0	0,18	15,0	0,281
2	0,21	17,0	0,282
3	0,23	19,0	0,286
5,0	0,25	20,5	0,288
9,5	0,265	25,5	0,290

ной в эксплуатируемых кровлях, не имеющих протечек (табл. 1).

Следовательно, основным источником увлажнения теплоизоляционных материалов в кровле является водяной пар, диффундируемый из помещений через конструкции покрытия. Наблюдения за состоянием конструктивных слоев кровли показали, что увлажнение материала теплоизоляционного слоя происходит на протяжении всего периода эксплуатации зданий. Установлено, что эксплуатационное увлажнение и

Таблица 6.

Насыпная плотность материала $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	Влажность материала $W$ , %	Математические выражения для определения численных значений коэффициента теплопроводности $\lambda$ [Вт/(м×°С)] гравия керамзитового
500	от 0 до 3	$0,0029 \times W^3 - 0,0085 \times W^2 + 0,0131 \times W + 0,13$
	от 3 до 19,5	$4 \times 10^{-5} \times W^3 - 0,0011 \times W^2 + 0,0136 \times W + 0,1425$
600	от 0 до 3	$0,0018 \times W^3 - 0,004 \times W^2 + 0,016 \times W + 0,14$
	от 3 до 21	$4,1 \times 10^{-5} \times W^3 - 0,00174 \times W^2 + 0,023854 \times W + 0,14636$
800	от 0 до 3	$0,00167 \times W^2 + 0,01167 \times W + 0,18$
	от 3 до 25,5	$1,065 \times 10^{-5} \times W^3 - 0,00061 \times W^2 + 0,01123 \times W + 0,20769$

конденсация диффундируемых из помещений водяных паров приводит к приросту влажности материалов покрытия на 30...35% в год [7, 8].

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛА

Насыпная плотность гравия керамзитового определялась согласно ГОСТ 9758-86.

Обработанные результаты исследований по определению насыпной плотности гравия керамзитового приведены в таблице 2.

Анализ полученных результатов (табл. 2) позволяет сделать следующее заключение:

насыпная плотность гравия керамзитового, эксплуатирующегося в качестве утеплителя в совмещенных кровлях имеет тенденцию к увеличению по сравнению с начальной плотностью. Проведенные исследования зернового состава проб гравия керамзитового показали, что при длительной эксплуатации в качестве утеплителя в совмещенных кровлях с прямым размещением слоев гравий керамзитовый переходит в новую разновидность керамзита – песок гравелистой формы.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛА

Исследования по определению коэффициента теплопроводности гравия керамзитового проводились согласно действующей методике [9].

Для проведения исследований использовалась установка-измеритель теплопроводности марки ИТ-1. Данная установка позволяет проводить измерения теплопроводности в диапазоне от 0,04 до 1,0 Вт/(м×°С) с допустимой погрешностью измерений не более 10%. Температурный диапазон измерения от -30°С до +40°С.

Коэффициент теплопроводности гравия керамзитового определялся для следующих отобранных проб:

«серия 1» — насыпная плотность материала – 500 кг/м<sup>3</sup>; значения коэффициента теплопроводности определялись при влажности материала в интервале от 0% до 19,5%;

«серия 2» — насыпная плотность материала – 600 кг/м<sup>3</sup>; численные значения коэффициента теплопроводности определялись при влажности материала в интервале от 0% до 21%;

«серия 3» — насыпная плотность материала – 800 кг/м<sup>3</sup>; значения коэффициента теплопроводности определялись при влажности материала в интервале от 0% до 25,5%.

Результаты исследований были обработаны статистически с доверительной вероятностью  $P=0,954$  [11].

Полученные численные значения коэффициента теплопроводности материала приведены в таблицах 3...5.

Определение численных значений коэффициента теплопроводности гравия керамзитового при известной влажности и насыпной плотности материала предлагается производить по следующим полученным математическим выражениям (табл. 6).

### ВЫВОДЫ

1. В процессе эксплуатации сыпучего утеплителя из гравия керамзитового в совмещенных кровлях происходят существенные изменения его физических свойств:

а) влажность материала достигает величины его влагопоглощения и в 6...8 раз превышает ее допустимые значения;

б) насыпная плотность утеплителя в результате разрушения гранул материала, возрастает в 1,45...1,6 раза по сравнению с зафиксированной на момент укладки его в кровлю;

в) коэффициент теплопроводности материала увеличивается в 1,6...1,9 раза, что существенно снижает теплотехнические характеристики покрытия.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- СНБ 5.08.02-2000 Кровли. Технические требования и правила приемки/ Мн., 2000. – 26 с.
- Гервидс И.А. Керамзит. – М.: Госстройиздат. 1957.
- Могилат А.Н., Кривобок Э.Н. Проектирование теплозащиты покрытий гражданских зданий. – Киев: "Будівельник", 1982.
- СНБ 2.04.01-97 Строительная теплотехника/ Мн., 1997. – 32 с.
- Минх А.А. Методы гигиенических исследований. М.: Медгиз, 1954. – 339 с.
- Сокова С.Д., Фомина П.Г. Влияние влаги подкровельного ковра на гидроизоляцию// Жилищное строительство. – 1997. – №9. – С. 9–11.
- Штейн И.И. Устройство крупнопанельных крыш. – Л.: Стройиздат, 1973. – 159 с.
- Аврутин Ю.Е., Кричевская Е.И., Фоломин А.И. Железобетонные крыши жилых и общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1971. – 151 с.
- ГОСТ 30256-94 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом/ М., 1994. – 15 с.
- ГОСТ 9758-86 Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний. Издание официальное. Государственный строительный комитет СССР. М., 1987. – 60 с.
- И.И.Елисеева, М.М.Юзбашев. Общая теория статистики. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 368 с.