

УДК 692.232.4

## **ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ АДГЕЗИИ МИНЕРАЛОВАТНОГО УТЕПЛИТЕЛЯ К ОСНОВАНИЮ**

**Бабий И.Н., к.т.н., доц., Волканов В.К., к.т.н., доц.,  
Борисов А.А., к.т.н., доц.**

*Одесская государственная академия строительства и  
архитектуры, г.Одесса*

**Актуальность.** С начала XXI века одной из основных проблем строительной отрасли, которая является основным потребителем энергоресурсов в стране, является энергосбережение. Одним из путей решения этой проблемы является снижение расхода энергоресурсов за счет эффективной наружной теплоизоляции фасадов зданий, которые подлежат термомодернизации и строящихся. В тоже время актуальность использования конструкций наружной теплоизоляции фасадов возникла также вследствие повышения требований по сопротивлению теплопередаче как в основном нормативном документе, так и потребителей помещений.

Сегодня, чаще всего, в больших объемах используют два типа систем теплоизоляции. Как известно, к ним относятся конструкции наружных стен с фасадной теплоизоляцией и отделкой штукатурками, так называемые, «мокрые» фасадные системы с утеплением. Вторым типом являются конструкции наружных стен с фасадной теплоизоляцией с отделкой индустриальными элементами и вентилируемым воздушным слоем. Их еще называют навесные «вентилируемые» фасады. Соотношение использования этих систем в строительстве составляет 2:1, соответственно. Причем вентилируемые фасады, в большинстве случаев, используют при возведении зданий, по потребительским меркам – VIP-уровня, а «мокрые» – для среднего уровня. Это объясняется тем, что затраты на устройство «мокрого» фасада с утеплением, в среднем, на 50 % меньше стоимости устройства вентилируемых систем [1, 2].

Несмотря на наличие нормативных документов по устройству этих систем, зачастую строительные организации в большей мере полагаются на свой опыт. Этот опыт не всегда приводит к положительным результатам, поскольку их задача устроить

систему, и при этом, особо не учитывая срок ее эффективной эксплуатации. Так согласно исследованиям[3] установлено, что срок эффективной эксплуатации «мокрых» фасадов, в зависимости от конструктивно-технологических особенностей устройства, составляет от 10 до 30 лет, а не так как декларируют многие производители таких систем – 50 лет. Следует отметить, что определяющую роль в таких системах кроме плотности материала теплоизоляции, играет адгезия клеевого состава на границе «стена+утеплитель».

**Цель работы.** Изучение влияния технологических факторов на величину адгезии минераловатного утеплителя к основанию в «мокрых» фасадных системах с утеплением.

**Результаты исследований.** Для решения цели разработана методика проведения исследований. В исследованиях использовался минераловатный утеплитель трех плотностей, 90, 140 и 180 кг/м<sup>3</sup>. Выбор минераловатного утеплителя в качестве исследуемого материала объясняется его лучшей, по сравнению с пенополистиролом, инфильтрацией паровоздушной среды. Основным показателем, который отражает достаточность сцепления на границе минераловатный утеплитель + клей, являлась адгезионная прочность на касательный сдвиг. При этом разработана уникальная схема испытаний [4].

Эксперимент проводился по несимметричному D-оптимальному трехфакторному плану D<sub>3</sub><sup>15</sup>, содержащему 15 экспериментальных точек. В качестве независимых факторов были приняты: угол нанесения клея – X<sub>1</sub>= 45±45°; размер зуба шпателя – X<sub>2</sub>= 8±4 мм; время твердения – X<sub>3</sub>= 8 ± 2 час.

Как известно, простой перенос результатов лабораторных испытаний на образцах небольшого размера с площадью 1,96×10<sup>-3</sup> м<sup>2</sup>, используемым на практике изделиям с размером 0,72 м<sup>2</sup> является некорректным, вследствие значительной погрешности испытаний. Следовательно при дальнейших исследованиях выбирались наиболее технологичные размеры минераловатных изделий, а именно 0,04 м<sup>2</sup>, что в 20 раз выше размеров образцов, предложенных в ДСТУ Б В.2.6-36:2008. Этим была достигнута необходимая точность исследований.

Для удобства интерпретации результатов исследований в качестве наглядных диаграмм использовались однофакторные зависимости.

Экспериментально-статистическое моделирование результатов лабораторных исследований технологических систем с

минераловатным утеплителем плотностью 90 кг/м<sup>3</sup>, и анализ построенных по ним аналитических зависимостей показал следующее.

На величину адгезионной прочности склейки на границе раздела «клей - утеплитель» влияние факторов неоднозначно в факторном поле. Закономерность изменения адгезионной прочности склейки  $R_{a\{90\}}$  (кПа), адекватно описывается моделью (1) при  $s_3 = 0.0002$ .

$$R_{a\{90\}} = \begin{matrix} 9.533 & -1.245x_1 & +0.5x_1x_2 & -0.188x_2x_3 \\ & -3.237x_2 & -0.358x_1x_3 & +0.522x_2^2 \\ & * & & -0.843x_3^2 \end{matrix} \quad (1)$$

Анализ модели 1 позволяет сделать вывод о том, что увеличение размера зуба шпателя отрицательно сказывается на адгезии утеплителя (адгезия уменьшается) при ранних сроках твердения клея. В свою очередь, увеличение угла нанесения до 90 градусов (перпендикулярно к линии горизонта), напротив – положительно сказывается на адгезии клея к утеплителю (прочность склейки увеличивается).

Однофакторные зависимости, отражающие влияние факторов на адгезию клея к утеплителю в зоне максимальных ( $R_{a,max} = 18.101$  кПа,  $x_1 = -1, x_2 = -1, x_3 = +1$ ) и минимальных ( $R_{a,min} = 2.434$  кПа,  $x_1 = +1, x_2 = +1, x_3 = -1$ ) значений представлены на рисунке 1.а.

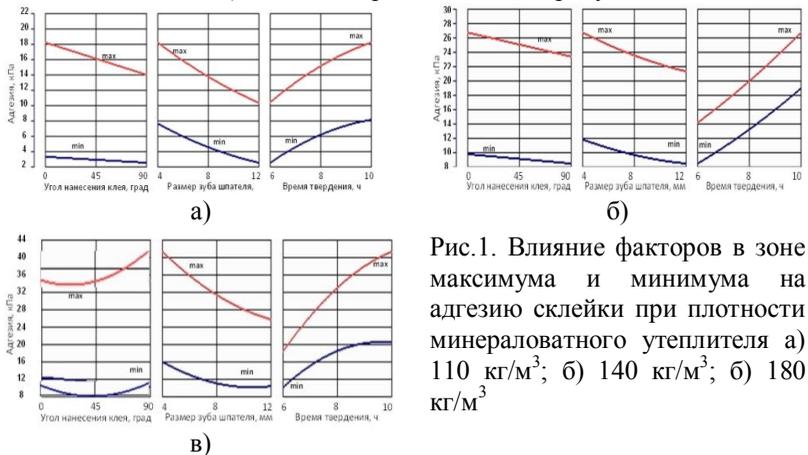


Рис.1. Влияние факторов в зоне максимума и минимума на адгезию склейки при плотности минераловатного утеплителя а) 110 кг/м<sup>3</sup>; б) 140 кг/м<sup>3</sup>; в) 180 кг/м<sup>3</sup>

На рис.1.а видно, что адгезия клея к утеплителю при изменении угла нанесения клея с 0 до 90 градусов изменяется в среднем по

полям  $\max$  и  $\min$  на 32 %. В свою очередь увеличение размера зуба шпателя с 4 до 12 мм, приводит к уменьшению адгезии с 7.8 до 2.43 кПа т.е. в 3.2 раза в поле  $\min$  и на 70% в поле  $\max$  (с 18.1 до 10.4 кПа).

Интересно отметить тот факт, что в период твердения с 6 до 8 часов адгезия увеличилась в течении двух часов в 2.5 раза (с 2.43 до 6.1 кПа), а уже при дальнейшем твердении по истечению 10 часов, т.е. с 8 до 10 часов, адгезия увеличилась на 30% в поле  $\min$ .

Следует обратить внимание, что изменение исследуемого показателя в поле  $\max$  протекало несколько иначе. В период твердения с 6 до 8 часов, т.е. за 2 часа, адгезия увеличилась на 45% (с 10.4 до 15.1 кПа). Но уже при дальнейшем твердении, по истечении 10 часов, адгезия увеличилась уже на 19% (с 15.1 до 18.1 кПа).

Таким образом, в начальный период твердения (с 6 до 8 часов) происходит резкий набор прочности самим полимерцементным клеем, что в свою очередь отражается на увеличении адгезионной прочности на границе раздела «клей - утеплитель».

В дальнейшем процесс твердения происходит медленнее в силу того, что большее количества минералов полимерцементного клея вступило во взаимодействие с водой затворения в начальный период твердения. Это подтверждается и результатами, полученными при исследовании кинетики нарастания пластической прочности клея [4].

В свою очередь экспериментально-статистическое моделирование результатов лабораторных исследований технологических систем с минераловатным утеплителем плотностью  $140 \text{ кг/м}^3$ , и анализ построенных по ним аналитических зависимостей показал, практически, аналогичные зависимости с утеплителем плотностью  $90 \text{ кг/м}^3$ . Закономерность изменения адгезионной прочности склейки  $R_{\text{адг}}$  (кПа), адекватно описывается моделью (2) при  $s_3 = 0.0002$ .

$$R_{a\{110\}} = 15.730 - 1.167x_1 + 0.256x_1x_2 - 0.256x_2x_3 - 2.197x_2 - 0.256x_1x_3 + 0.489x_2^2 + 5.767x_3 + 0.489x_3^2 \quad (2)$$

Однофакторные зависимости, отражающие влияние факторов на адгезию клея к утеплителю в зоне максимальных ( $R_{a,\max} = 26.607$  кПа,  $x_1 = -1$ ,  $x_2 = -1$ ,  $x_3 = +1$ ) и минимальных ( $R_{a,\min} = 8.347$  кПа,  $x_1 = +1$ ,  $x_2 = +1$ ,  $x_3 = -1$ ) значений представлены на рисунке 1.б. Анализ рис.1.б позволяет сделать вывод о том, что увеличение размера зуба шпателя отрицательно сказывается на адгезии

утеплителя с клеем (адгезия уменьшается) при ранних сроках твердения клея. В свою очередь, увеличение угла нанесения до 90 градусов, приводит к увеличению адгезии клея к основанию.

В свою очередь увеличение размера зуба шпателя с 4 до 12 мм, приводит к уменьшению адгезии с 12 до 8.3 кПа т.е. на 43% в поле min и на 12% в поле max.

Интересно отметить тот факт, что в период твердения с 6 до 8 часов адгезия увеличилась в течении двух часов с 8.3 до 13.3 кПа, а уже при дальнейшем твердении по истечению 10 часов, т.е. с 8 до 10 часов, адгезия в поле min увеличилась на 42%. В свою очередь изменение исследуемого показателя в поле max протекало по сходной зависимости. Исходя из полученных результатов, можно утверждать, что в начальный период твердения (с 6 до 8 часов) набор когезионной прочности происходит не так резко, как в случае с использованием минераловатного утеплителя плотность 90 кг/м<sup>3</sup>, но все же интенсивнее, чем в период с 8 до 10 часов. Это, в свою очередь, подтверждает влияние плотности минераловатного утеплителя на кинетику набора адгезионной прочности.

Для технологических систем с минераловатным утеплителем плотностью 180 кг/м<sup>3</sup>, получена зависимость  $R_{a\{180\}}$  (кПа), которая описывается моделью (3) при  $s_3 = 0.0002$ .

$$R_{a\{180\}} = 23.113 - 2.267x_1 - 2.487x_2x_3 - 5.300x_2 - 1.115x_1x_3 + 2.149x_2^2 + 7.897x_3 + 3.206x_3^2 \quad (3)$$

Однофакторные зависимости, отражающие влияние факторов на адгезию клея к утеплителю в зоне максимальных ( $R_{a,max} = 41.121$  кПа,  $x_1 = -1$ ,  $x_2 = -1$ ,  $x_3 = +1$ ) и минимальных ( $R_{a,min} = 9.937$  кПа,  $x_1 = +1$ ,  $x_2 = +1$ ,  $x_3 = -1$ ) значений представлены на рисунке 1.в.

Из рис.1.в видно, что адгезия клея к утеплителю при изменении угла нанесения клея с 0 до 90 градусов изменяется в среднем по полям max и min на 21 %, (поле min с 9.9 до 11.8, поле max с 34.0 до 41.5 кПа).

В свою очередь, увеличение размера зуба шпателя с 4 до 12 мм, приводит к уменьшению адгезии в среднем на 60% по полям max и min (с 16.0 до 9.9 кПа в поле min и с 41.5 до 26.0 кПа в поле max).

Интересно отметить тот факт, что в период твердения с 6 до 8 часов адгезия увеличилась в течении двух часов практически в 2 раза (с 9.9 до 19.0 кПа). При дальнейшем твердении, по истечению 10 часов, адгезия увеличилась на 7% (с 19.0 до 20.5 кПа) в поле min.

Следует обратить внимание, что изменение исследуемого

показателя в поле тах протекало несколько иначе, в период твердения с 6 до 8 часов. За 2 часа адгезия увеличилась на 70% (с 19.0 до 33.0 кПа). При дальнейшем твердении по истечении 10 часов, адгезия увеличилась с 33.0 до 41.5 кПа. Таким образом, в начальный период твердения (с 6 до 8 часов) происходит резкий набор адгезионной прочности, так же как и в случае с минераловатным утеплителем плотностью  $90 \text{ кг/м}^3$ , что в свою очередь отражается на увеличении адгезионной прочности на границе раздела «клей - утеплитель». В дальнейшем процесс твердения происходит медленнее в силу того, что большее количества минералов полимерцементного клея вступило во взаимодействия с водой затвердения в начальный период твердения.

Интересно отметить тот факт, что при использовании одного и того же клея адгезия на границе «утеплитель-основание» для минераловатных плит различных плотностей отличается в среднем по полям минимальных и максимальных значений в 1,2-1,5 раза. Анализ полученных результатов показал, что во всех случаях при увеличении плотности минераловатного утеплителя растет и адгезионная прочность склейки. Причем, максимальной адгезией к основанию, характеризуется минераловатный утеплитель с плотностью  $180 \text{ кг/м}^3$ . По всей вероятности, это можно объяснить более прочными связями волокон ваты, т.е. большей когезионной прочностью, которая в процессе испытаний выдерживала сжимающее усилие.

### ***Выводы***

1. Оптимальным технологическим параметром приклеивания минераловатного утеплителя в системе наружной фасадной теплоизоляции, является сплошное нанесение клея под углом 90 градусов к горизонту.

2. Для получения максимальной адгезии клеевого соединения на границе «утеплитель-основание» необходимо использование шпателя с размером зуба 4 мм.

### **Summary**

**The article discusses the adhesive strength of the adhesive composition on the border of mineral wool insulation, wall insulation facade systems with finishing plaster. It is shown that optimal technological parameters of bonding mineral wool insulation system facade insulation is continuous application of glue**

**at an angle of 90 degrees to burn umbrellas, using a spatula to the size of the tooth 4 mm.**

*Литература*

1. Карапузов Є.К. Утеплення фасадів / Карапузов Є.К., Соха В.Г. // К.: Вищаосвіта, 2007. – 318 с.
2. Меньлюк А.И. Современные фасадные системы / Меньлюк А.И., Дорофеев В.С., Лукашенко Л.Э., Соха В.Г. и др.// ОсвітаУкраїни.- 2008.- 339 с.
3. Меньлюк А.И. Анализ эффективности применения систем теплоизоляции «Cegesit WM» в натуральных условиях / А.И. Меньлюк, В.Г. Соха, И.Н. Бабий // Строительные материалы и изделия, 2010, № 2. – С. 27-28.
4. Меньлюк А.И. Совершенствование методики определения адгезионной прочности клеевого соединения наружной теплоизоляции фасадов с основанием/ А.И. Меньлюк, И.Н. Бабий, А.А. Борисов, В.К. Волканов //«Вісник» ДонНАБА–Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. Випуск 2012-6(98), Макіївка.- С. 3-7.