

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ «МОКРОГО» ТИПА К ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Системы теплоизоляции «мокрого» типа с тонким штукатурным слоем в последние годы получили большое распространение на территории России. При строительстве новых зданий и сооружений, а так же при реконструкции используется большое количество систем, которые прошли необходимые лабораторные испытания, оценку пригодности и получили Техническое свидетельство РОССТРОЯ России. Такие системы являются сложным комплексным инженерным сооружением. В своем составе они содержат большое количество различных компонентов, согласованная работа которых определяет их долговечность и длительность безаварийной работы.

Комплексная работа материалов с определенными заданными свойствами является решающим звеном при формировании технических и технологических решений. Обязательным условием применения таких систем является наличие правильной технической документации, жесткое соблюдение заложенных требований в процессе монтажа, правильная привязка разработанных узлов к конструкциям и элементам здания.

Основным элементом таких систем, отвечающим за теплозащиту наружных стен здания является теплоизоляционный слой. В существующей практике в качестве теплоизоляционного материала на территории России получили широкое распространение минераловатные плиты на основе базальтового связующего, а так же плиты на основе вспененных полистиролов. В отдельных частях здания, таких как цоколи и места с постоянным скоплением и удержанием воды используются плиты из полистиролов, полученные методом экструзии.

На данный исторический момент, существующая нормативная документация не отражает всех нюансов применения и производства таких материалов. Например, в ней полностью отсутствуют нормативы по долговечности таких изделий, срокам службы и эксплуатационным требованиям в различных климатических условиях России.

В лаборатории НИИСФ проведена научно-исследовательская работа, направленная на изучение свойств многослойной конструкции, с использованием теплоизоляционных материалов различных типов. Фрагменты теплоизоляционных систем «мокрого» типа с тонким штукатурным слоем, в которых в качестве теплоизоляционной плиты были представлены четыре различных типа материала, подвергались циклическим температурно-влажностным воздействиям. В качестве теплоизоляционных материалов испытывались: минераловатная плита на основе базальтового волокна, экструдированный полистирол, блочный пенополистирол (ПСБС), пеностекло.





В процессе исследований оценивалась способность сохранения теплозащитных свойств, прочностных свойств конструкции при знакопеременных циклических воздействиях, способность согласованной работы с нанесенным армированным слоем с интегрированной стеклотканевой щелочестойкой сеткой и декоративным покрытием. Также при проведении исследования оценивалась совместная работа с установленным дюбельным креплением и герметизирующими материалами.

Необходимо отметить, что результаты данного исследования не подменяют существующие требования и разработанные нормативные документы, как по отдельным видам материалов, так и по системам теплоизоляции «мокрого» типа в целом. Данная работа направлена, как уже отмечалось выше, на прогнозирование эксплуатационных характеристик и параметров различных типов теплоизоляционных материалов, а также на оценку их долговечности.

Используемая методика основана на создании условий искусственного старения образцов в условиях циклических температурно-влажностных воздействий с регистрацией физико-технических характеристик исследуемых материалов. Исследования проводились на холодильно-дождевальной установке «Термоизоляция ХДУ-0,2» (свид. пов. №12674 ФГУ РОСТЕСТ-МОСКВА), снабженной поворотной обоймой, в которую были установлены исследуемые элементы стеновых конструкций.

Процесс подготовки фрагментов состоял из устройства кирпичной кладки, приклеивания образцов на основание, закрепления теплоизоляционных материалов тарельчатыми дюбелями, нанесения штукатурного армированного слоя с утопленной в него стеклотканевой щелочестойкой сеткой, нанесения грунтовочного слоя на водной основе, нанесения декоративного покрытия в виде однородно-шероховатой минеральной декоративной штукатурки с последующей герметизацией мест примыкания к строительным конструкциям. При подготовке фрагментов наружного утепления «мокрого» типа с тонким штукатурным слоем были использованы материалы системы теплоизоляции, прошедшей необходимый комплекс испытаний и имеющей Техническое свидетельство РОССТРОЯ России с привлечением аттестованных специалистов для её устройства.



		
Утапливание стеклотканевой сетки в армированный слой	Нанесение грунтовки на водной основе	Нанесение декоративного покрытия
Подготовка фрагментов системы теплоизоляции к испытаниям. Этапы подготовки: изготовление кирпичной кладки, приклеивание образцов каждого вида теплоизоляции, закрепление образцов тарельчатыми дюбелями, нанесение штукатурного армирующего слоя с утолщенной стеклотканевой щелочестойкой сеткой, грунтование поверхности, нанесение декоративного покрытия, герметизация мест примыкания.		

Цикл испытаний состоял из орошения водой поверхности смонтированных фрагментов при $t=+18^{\circ}\text{C}$ в течении 0,5 часа, замораживания при температуре $t= - 20\pm 2^{\circ}\text{C}$ в течении 3 часов, и оттаивания во время нагревания до $t=+48^{\circ}\text{C}$ в течении 2,5 часов. Нагревание поверхности производилось посредством лучистого действия нагревательного прибора моделирующего солнечное облучение инфракрасного спектра. Увлажнение моделировало атмосферные осадки, а замораживание воздействие отрицательных температур. Длительность и интенсивность воздействия переменных температур и увлажнения была подобрана таким образом, чтобы экспериментальное воздействие соответствовало, либо было более жестким, нежели реальные атмосферные воздействия на поверхность фасадов в средней полосе России.

		
Стадия обогрева до $+ 50^{\circ}\text{C}$. Нагревание инфракрасными лампами.	Стадия дождевания. Орошение водой.	Стадия замораживания до -20°C .
Проведение циклических испытаний фрагментов фасадной системы "мокрого" типа с различными утеплителями в холодильно-дождевальной установке «Термоизоляция ХДУ-0,2».		

Параметры климатических воздействий на образцы были подобраны по результатам обработки многолетних метеорологических данных обсерватории МГУ, лаборатории НИИМосстрой и лаборатории НИИСФ, проведенных проф. Фокиным К.Ф., проф. Хлевчуком В.Р. По обработанным данным количество обобщенных циклов заморозок-оттепель для климатических условий г. Москвы в среднем равно 14 (см. табл.1). При этом оттепель оценивалась как повышение температуры до $+1^{\circ}\text{C}$ продолжительностью не менее 12 часов, а заморозок – понижение температуры ниже -3°C продолжительностью не менее 12 часов, что обуславливает промерзание и оттаивание наружной поверхности фасадной системы на 20-25 мм. Таким образом, было проведено 700 циклов попеременного замораживания-оттаивания, что соответствует 50 условным годам эксплуатации.

Таблица 1

Средние данные об оттепелях и заморозках в Москве за 7 лет, с 1958 по 1964 г. включительно.

Год	Всего оттепелей и заморозков	Оттепели ¹				Заморозки ²	
		Всего	Более суток	С температурой выше 1°	С температурой более 1° и продолжительностью, более суток	Всего	С продолжительностью более суток
1958	17	15	4	8	2	2	1
1959	12	10	5	8	5	2	2
1960	15	5	4	3	3	9	6
1961	16	13	11	9	9	3	2
1962	12	9	11	7	5	3	1
1963	16	14	10	9	8	2	2
1964	13	11	4	9	7	2	2
Сумма за 7 лет	101	78	-19	53	39	23	16
Среднее за 1 год	14	11	7	5	6	3	2

¹ Оттепелью считалось повышение температуры до +1° продолжительностью не менее 12 часов.

² Заморозком считалось понижение температуры ниже —3,0° продолжительностью не менее 12 часов.

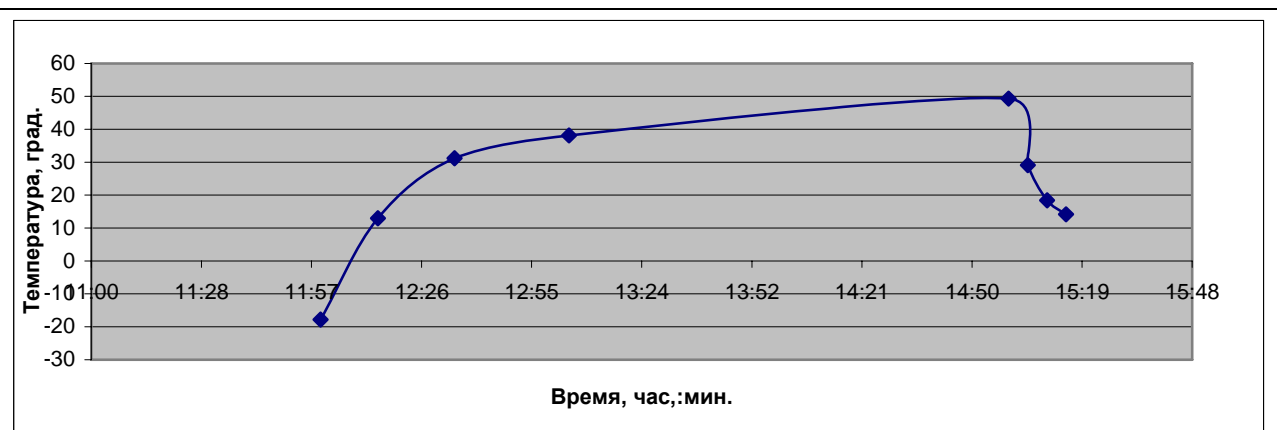




График типичного изменения температуры на поверхности штукатурного слоя

В ходе эксперимента оценивалось изменение внешнего вида и физико-технических качеств фрагментов конструкций с использованием приборов неразрушающего метода контроля. Текущая оценка осуществлялась визуально (с фиксацией цифровым фотоаппаратом), а так же с использованием контактного термометра ТК-50.05, влагомера ВСКМ-12У, измерителя прочности материалов ОНИКС-2.3 и экспресс-измерителя теплопроводности ИВТП-12.

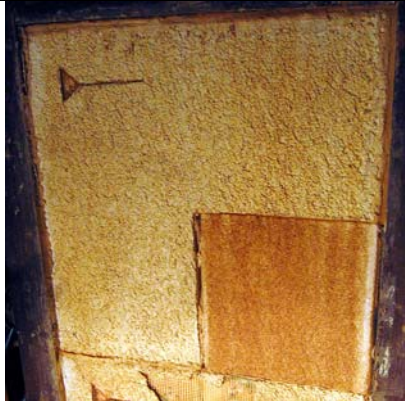


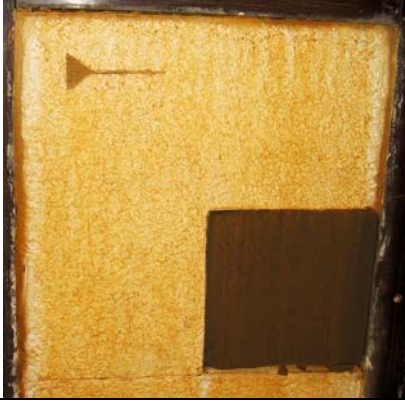
<p>Прибор ВСКМ – 12У для определения влажности строительных материалов диэлектрическим методом.</p>		<p>Изменение поверхностной прочности штукатурного слоя оценивалась посредством прибора ОНИКС-2.3, в соответствии с ГОСТ 22690</p>	

			
<p>Теплопроводность контролировалась прибором ИВТП-12 экспресс-измеритель влажности и теплопроводности, (разработка проф. Ройфе В.С., НИИСФ)</p>	<p>Контроль температурного режима с использованием контактного термометра ТК-50.05</p>		
<p>Текущая оценка осуществлялась визуально (с фиксацией цифровым фотоаппаратом), а так же посредством приборов методами неразрушающего контроля</p>			

При подготовке фрагментов после полного затвердевания декоративно-защитного слоя на поверхности штукатурки в зоне одного из образцов каждого фрагмента произвели разрез с переменным углублением от декоративного покрытия до плиты утеплителя в виде линии и выборку в виде треугольника до плиты утеплителя. Таким образом, были смоделированы «искусственная трещина и скол».

		
<p>Спустя 7 суток после нанесения декоративного покрытия на поверхности штукатурки в зоне образца №1 каждого из четырех фрагментов устроен т.н. «искусственный скол» до плиты утеплителя.</p>		

По результатам проведено эксперимента, необходимо сказать, что состояние «искусственных дефектов» на образцах всех четырех фрагментов, а также прилегающие зоны вполне удовлетворительны. Развития трещин в зоне искусственно смоделированных сколов штукатурного слоя на исследуемых фрагментах в течение 700 циклов испытаний не произошло. Искусственные дефекты не явились центром разрушения.

	
Фрагмент образца с пенополистиролом после 700 циклов испытания перед демонтажем.	Фрагмент образца с экструдированным пенополистиролом перед демонтажем.
	
Внешний вид фрагмента фасадной системы с теплоизоляцией из минераловатных плит.	Внешний вид фрагмента фасадной системы с теплоизоляцией из пеностекла после 700 циклов воздействия перед демонтажем.

По завершении циклов воздействий были оценены внешний вид смонтированных фрагментов, состояние элементов и определены показатели влажности, прочности, а также теплопроводности теплоизоляционных слоев. По результатам исследований был проведен сравнительный анализ изменения свойств материалов по отношению к контрольным образцам.

После 500 циклов испытаний поверхность декоративно-штукатурного слоя на образце с минераловатной плитой имела фрагментарные отслоения декоративного покрытия. В некоторых местах произошло «выпирание» армированного слоя и было обнаружено бухтение штукатурки. На образце с блочным пенополистиролом после 100 циклов, было отмечено появление зон с вышелушиванием декоративной штукатурки. Далее развития видимых дефектов нет. На фрагменте с пеностеклом после 75 циклов произошло появление звездообразной трещины в зоне установки тарельчатого дюбеля. Дальнейшего развития и видимых дефектов нет. Образец с экструдированным полистиролом претерпел самые значительные изменения. После 300 циклов на нем появились трещины на штукатурном слое. После 400 цикла произошло разрушение декоративного покрытия и обсыпание штукатурки. В последующем произошло отслоение армированного слоя от поверхности плиты и его обрушение.

После 700 циклов фрагмент с пеностеклом представляет из себя единую систему. На нем выявлена наилучшая адгезия между декоративно-защитным покрытием и утеплителем. Система: декоративное покрытие - наружный армированный слой - стеклотканевая армирующая сетка – базовый армированный слой - поверхность утеплителя, сохранилась единой, не расслоившись. На образце с минераловатной плитой произошло фрагментарное расслоение декоративного и армирующего слоев по интегрированной сетке. На образцах с блочным и экструзионным полистиролами обнаружено видимое разрушение тканной сетки как по основе, так и по утку.

Поверхностная прочность фрагментов с теплоизоляцией после 700 циклов испытаний составила для: экструзионного пенополистирола – декоративно-защитный слой разрушен на 40%, данных нет; блочного пенополистирола – 1,0 МПа; минераловатных плит – штукатурка «бухтит», данных нет; пеностекла – 3,1 МПа.

Влажность декоративно-защитного слоя после 700 циклов испытаний составила: экструзионный полистирол – 11%; пеностекло – 12%; блочный полистирол – 15%; минераловатная плита – 25%.

Изменение теплопроводности в сухом состоянии по отношению к контрольным образцам составило для пеностекла – 1,8%; экструзионного полистирола - 2,6%; блочного пенополистирола – 2,6%; минераловатных плит – 4,5%.

Приращение теплопроводности на 1% влажности по объему составило для пеностекла – 0,0038 Вт/(м°С%); экструзионного полистирола - 0,0075 Вт/(м°С%); минераловатных плит – 0,011 Вт/(м°С%); блочного пенополистирола – 0,018 Вт/(м°С%).

Увеличение теплопроводности образца №2 (находился в открытом, не защищенном декоративно-армированным слоем, состоянии) через 700 циклов (снижение теплозащиты) составило для экструзионного полистирола - 31%, пеностекла – 37%; блочного пенополистирола – 51%; минераловатных плит – 443%.

Образцы дюбельной техники установленной на испытуемых образцах, а также герметизирующий состав, использованный для герметизации соединений, сохранились в очень хорошем состоянии и не были подвергнуты каким либо значительным разрушениям.

Как показали экспериментальные исследования состояние щелочестойкой стеклотканевой сетки, в части сохранения её основных функциональных качеств, при прочих равных условиях, зависит, в том числе, и от вида теплоизоляционного материала, применяемого в системе.

Применяемые в системах сетки представляют собой стеклянную ткань с прямоугольными ячейками фиксированных размеров, получаемую перевивочным переплетением основы и утка, или систему стеклянных комплексных нитей, скрепленных между собой крученой прошивной стеклянной комплексной нитью, пропитанную полиакрилатными дисперсиями или другим, аналогичным пропиточным составом. Конструкционные стеклотканевые сетки предназначены для армирования штукатурных и защитно-декоративных покрытий, снижения нагрузок, вызванных перепадами температур и влажности и, в конечном итоге, для увеличения сроков эксплуатации зданий без косметических и капитальных ремонтов.

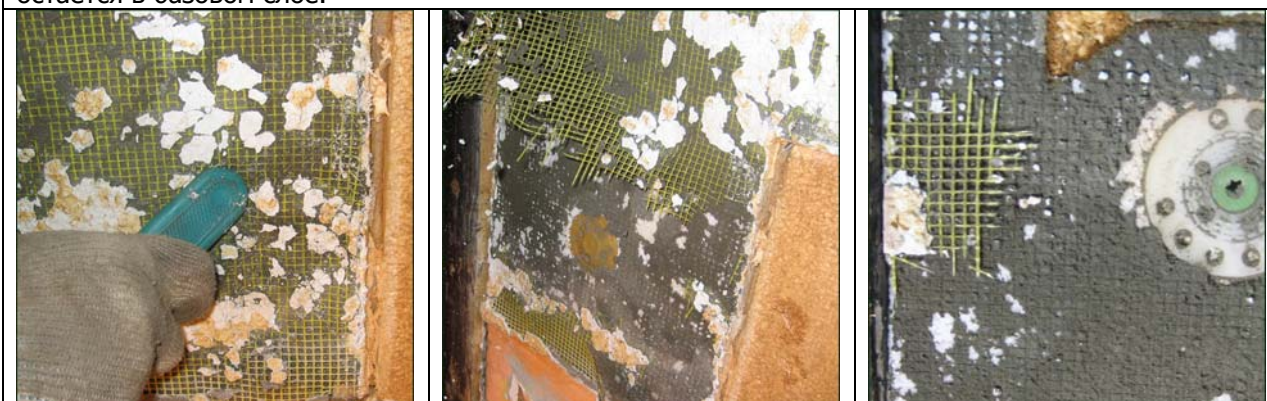
Качество сетки контролируется по физико-механическим характеристикам согласно требованиям технических условий разработчиков, а так же руководства по применению, утвержденного в установленном порядке. Контролируются такие показатели как – содержание пропиточного состава (от 15 до 20%), толщина нити (от 0,13 до 0,6 мм), масса на единицу площади (от 60 до 340 г/м²), номинальный размер ячеек (от 2,5x2,5 мм до 10x10 мм), разрывная нагрузка по основе (от 640 до 3140 Н/5см), разрывная нагрузка по утку (от 340 до 1860 Н/5см), разрывная нагрузка после 28 суток выдерживания в 5%-ном растворе NaOH при температуре 18 - 30°С (по основе от 320 до 1570 Н/5см, по утку от 170 до 930 Н/5см), разрывная нагрузка после «быстрого» теста - 6 часов выдержки в растворе, содержащем 0,88 г NaOH, 3,45г КОН и 0,48г Са(ОН)₂ в 1 литре дистиллированной воды при температуре 75-80°С - (по основе от 350 до 1800 Н/5см, по утку от 185 до 1000 Н/5см) и потеря прочности при проверке морозостойкости (не более 10-15%).

Необходимо отметить, что стеклотканевая сетка на образцах с минеральными утеплителями сохранилась по результатам эксперимента в удовлетворительном состоянии. При этом на образцах с пенополистиролами стеклотканевая сетка при демонтаже рвалась и имела места разложения.

Производителям армирующих стеклосеток необходимо продолжать поиски в области составов стеклянных нитей, полимерных пропиток и т.д.; вводить дополнительные требования к физико-техническим параметрам готовых сеток. Вероятно, следует рекомендовать для систем наружного утепления с разными видами утеплителя различные виды сеток, что необходимо отразить в рекомендациях по их применению.



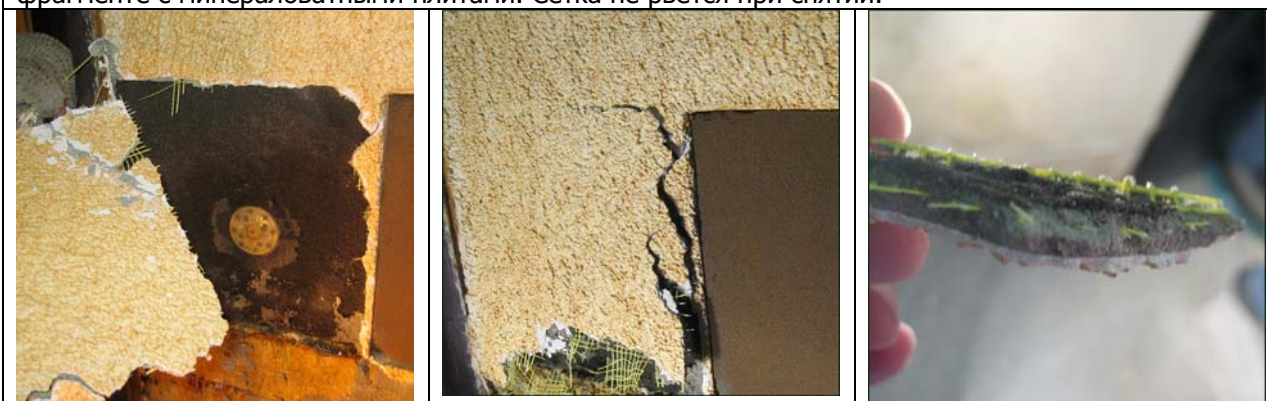
Процесс демонтажа фрагментов системы после 700 циклов воздействия. Состояние сетки на фрагменте с экструзионным пенополистиролом. Сетка частично отрывается при снятии, частично остается в базовом слое.







Процесс демонтажа фрагментов системы после 700 циклов воздействия. Состояние сетки на фрагменте с блочным пенополистиролом. Сетка легко рвется при снятии.



Процесс демонтажа фрагментов системы после 700 циклов воздействия. Состояние сетки на фрагменте с минераловатными плитами. Сетка не рвется при снятии.



Процесс демонтажа фрагментов системы после 700 циклов воздействия. Состояние сетки на фрагменте с пеностеклом. Сетка не рвется и не отслаивается от декоративной и базовой штукатурки.

	
Состояние сетки после демонтажа фрагмента с блочным пенополистиролом	Состояние сетки после демонтажа фрагмента с экструзионным пенополистиролом
	
Состояние сетки после демонтажа фрагмента с минераловатными плитами. Сетка практически пострадала, внешне сохранила свой первоначальный вид.	Состояние сетки после демонтажа фрагмента с пеностеклом НЕОПОРМ. Сетка не отслоилась, осталась в теле сохранившейся системы тонкого штукатурного слоя.
Образцы сеток, снятых при демонтаже фрагментов.	

Полученные результаты указывают на необходимость продолжения исследований в области долговечности комплексной системы наружного утепления "мокрого" типа с тонким штукатурным слоем.

Условия проведения эксперимента не позволяли учитывать различные масштабные факторы, такие как, объемная площадь стен с наружным утеплением, ориентация фасада по сторонам света, влияние ультрафиолетового облучения на органические утеплители и компоненты системы, ветровая нагрузка. Также не учитывались возможные подвижки фундамента, осадка здания с наружным утеплением и другие натурные явления, снижающие срок службы фасадной системы до капитального ремонта.

Обоснование коэффициентов, учитывающих перечисленные факторы, не входило в рамки данной работы. Мероприятия по анализу и разработке вышеперечисленных факторов, а также оценка всех нюансов применения, как отдельных компонентов, так и систем в целом должно лечь в основу работ, направленных на всестороннее изучение и прогнозирование эксплуатационных сроков фасадов с системами теплоизоляции «мокрого» типа с тонким штукатурным слоем. При этом такие исследования должны быть дополнены и сопоставлены с натурными испытаниями и обследованиями фасадных систем. Полный объем данных по комплексным исследованиям эксплуатационных свойств фасадных систем «мокрого» типа с тонким штукатурным слоем позволит не только более точно определять сроки их службы, а также поможет правильно оценить и доработать существующие технические требования и решения, позволит разработать новые решения с учетом климатических параметров России и разработать требования по эксплуатации.

Таблица 2. Результаты экспериментальных определений и прогнозируемый срок службы фасадных систем «мокрого» типа с различными видами теплоизоляционных материалов (на основании обработки метеорологических данных)

Материал теплоизоляционного слоя фасадной системы	Состояние слоя защитно-декоративной штукатурки	Снижение теплозащитных качеств фасадной системы после 700 циклов, %.	Ориентировочный срок службы до капитального ремонта, с учетом влияния природных факторов, условные годы
Пенополистирол экструзионный	Разрушилась после 400 циклов	- (штукатурка осыпалась)	10
Пенополистирол блочный	Сохранилась после 700 циклов. Расслоение декоративного и армированного слоев. Сетка сгнила	51	20
Минераловатная плита	Разрушилась после 500 циклов. Сетка легко отделяется от армированного слоя	- (штукатурка отслоилась)	20
Пеностекло НЕОПОРМ	Сохранилась после 700 циклов. Декоративный слой, наружный штукатурный слой, стеклотканевая армирующая сетка и приклеивающий слой сохранились, представляют собой единую систему. Расслоения нет	37	40

Таблица 3

Основные характеристики фрагментов фасадных систем с различными видами теплоизоляции по исследуемым параметрам

Фрагмент фасадной системы с теплоизоляцией из плит:	Внешний вид	Поверхностная прочность на 700 циклов, МПа	Влажность штукатурного слоя на 700 циклов, % масс.	Состояние наружной штукатурки	Увеличение теплопроводности образца №2 через 700 циклов (снижение теплозащиты), %	Изменение теплопроводности в сухом состоянии по отношению к контрольным образцам, %	Приращение теплопроводности на 1% влажности по об., Вт/(м°С%)
экструзионный пенополистирол	После 300 цикла – появление и развитие трещин пот штукатурке. После 400 цикла разрушение декоративного слоя, обсыпание штукатурки.	Нет данных. Разрушение штукатурки	11	Расслоение декоративного и приклеивающего слоев. Сетка сгнила	31	2,6	0,0075
блочный пенополистирол	После 100 цикла отмечено появление зон вышелушивания отделочного слоя, далее развития видимых дефектов нет	1,0	15	Расслоение декоративного и приклеивающего слоев. Сетка сгнила	51	2,6	0,018
минераловатная плита	После 500 цикла отслоение декоративного слоя до грунтовки. Продолжающееся «выпирание» штукатурки, «бухтение» штукатурки	Нет данных. Штукатурка «бухтит»	25	Расслоение декоративного и приклеивающего слоев по сетке	443	4,5	0,011
пеностекло	После 75 цикла – появление звездообразной трещины (3-4см) в зоне дюбеля, дальнейшего развития видимых дефектов нет.	3,1	12	Декоративный слой, наружный штукатурный слой, полимерная армирующая сетка и приклеивающий слой сохранились, представляют собой единую систему. Расслоения нет	37	1,8	0,0038