



Гостиница «Полярная звезда». г. Якутск, пр. Ленина



Студенческое общежитие. г. Якутск, ул. Каладарышвили, 66

К особому региону с устойчивой низкой температурой наружного воздуха следует отнести обширную территорию республики Саха (Якутия). Конструктивную основу подавляющего большинства зданий, построенных в Якутии с применением ВФС, составляет монолитный каркас. Проемы, как правило, заполняются целевыми бетонными блоками толщиной 200 мм. Кладку снаружи защищают минераловатными плитами плотностью 100–125 кг/м<sup>3</sup> в два слоя общей толщиной 200 мм. Такое решение наружного ограждения обусловлено не только требованиями по обеспечению теплозащиты зданий в данных климатических условиях, но и отсутствием в республике собственных производств легких бетонных блоков. В данной ситуации особый интерес у специалистов проектных и строительных организаций вызывает работа вентилируемого фасада в условиях устойчивой особо низкой температуры. В связи с этим сотрудниками кафедры строительных конструкций Якутского госуниверситета в течение зимы 2006–2007 годов в г. Якутске был проведен натурный эксперимент на стенде, имитирующем различные варианты конструктивного решения наружной стены с установленной фасадной системой.

Для моделирования стены с применением ВФС и проведения натурного эксперимента использовался оконный проем (размером 2×2,4 м) в эксплуатируемом здании. При этом в качестве моделей испытывались наружные ограждения, выполненные в четырех вариантах:

#### Вариант 1:

- штукатурный слой 10 мм;
- кладка из щелевых бетонных блоков толщиной 200 мм;
- однородный теплоизоляционный слой общей толщиной 200 мм (минераловатная плита «Базалит-Венти» производства ОАО «Базалит», г. Хабаровск; фактическая плотность 116 кг/м<sup>3</sup>; фактическое значение коэффициента теплопроводности 0,037 Вт/(м·°C);

- воздушный зазор 40 мм;
- цементно-волоконная плита «Краспан-Колор» белого цвета.

#### Вариант 2:

- штукатурный слой 10 мм;
- кладка из бетонных блоков толщиной 200 мм;
- неоднородный теплоизоляционный слой общей толщиной 180 мм (минераловатная плита «Техно-Лайт» производства

## Об особенностях работы вентилируемого фасада в условиях устойчивой низкой температуры (По результатам натурного эксперимента)

В последние годы в Сибири и на Дальнем Востоке, включая регионы, где зимой температура наружного воздуха может опускаться ниже –40°C и в течение нескольких месяцев держаться в районе этой отметки, быстрыми темпами развивается жилищное и промышленное строительство. При этом в качестве ограждающих конструкций зданий с монолитным железобетонным каркасом очень часто применяются вентилируемые фасадные системы (ВФС). Однако результаты натурных обследований эксплуатируемых зданий с вентфасадами показывают, что не всегда фактическое исполнение фасадных систем отвечает предъявляемым к ним техническим требованиям [1]. Основные причины неудовлетворительного качества смонтированных фасадов — экономия средств на этапе подбора компонентов ВФС, использование в составе систем материалов неизвестного происхождения, недостаточный контроль над выполнением работ со стороны подрядных организаций и заказчиков. Негативно сказывается на качестве монтажа вентилируемых фасадов существенное ограничение по срокам производства строительного-монтажных работ, обусловленное климатическими особенностями региона. В некоторых случаях, особенно на первых объектах, построенных с применением навесных систем, допущены грубейшие ошибки на стадии проектирования, например, в качестве материала, обеспечивающего ветрозащиту утеплителя, применяется полиэтиленовая пленка.

ЗАО «Завод Минплита», г. Челябинск; фактическая плотность 49 кг/м<sup>3</sup>; фактическое значение коэффициента теплопроводности 0,032 Вт/(м·°C) толщиной 80 мм и минераловатная плита «Базалит-Венти» производства ОАО «Базалит», г. Хабаровск; фактическая плотность 116 кг/м<sup>3</sup>; фактическое значение коэффициента теплопроводности 0,037 Вт/(м·°C) толщиной 100 мм);



Жилой дом. г. Якутск, пр. Ленина



Корпус Гуманитарных факультетов. г. Якутск, пр. Ленина



Корпус Технические Факультетов. г. Якутск, ул. Кулаковского, 50

- воздушный зазор 40 мм;
- цементно-волоконная плита «Краспан-Колор» белого цвета.

**Вариант 3:**

- штукатурный слой 10 мм;
- кладка из пенобетонных блоков толщиной 400 мм;
- однородный теплоизоляционный слой толщиной 100 мм (минераловатная плита «Базалит-Венти» производства ОАО «Базалит», г. Хабаровск; фактическая плотность 116 кг/м<sup>3</sup>; фактическое значение коэффициента теплопроводности 0,037 Вт/(м·°C) толщиной 100 мм);
- воздушный зазор 40 мм;
- цементно-волоконная плита «Краспан-Колор» белого цвета.

#### Вариант 4:

- штукатурный слой 10 мм;
- кладка из пенобетонных блоков толщиной 400 мм (фактическая плотность 542 кг/м<sup>3</sup>, фактическое значение коэффициента теплопроводности 0,101 Вт/(м·°C);
- неоднородный теплоизоляционный слой общей толщиной 120 мм (мягкий утеплитель на основе стекловолнока; фактическая плотность 12,7 кг/м<sup>3</sup>; фактическое значение коэффициента теплопроводности 0,032 Вт/(м·°C) толщиной 20 мм и минераловатная плита «Базалит-Венти» производства ОАО «Базалит», г. Хабаровск; фактическая плотность 116 кг/м<sup>3</sup>; фактическое значение коэффициента теплопроводности 0,037 Вт/(м·°C) толщиной 100 мм);
- воздушный зазор 40 мм;
- цементно-волоконная плита «Краспан-Колор».

Для выявления влияния теплопроводных включений на теплозащитные свойства ограждения были рассмотрены варианты стеновых ограждений типа 1\* и 4\* с кронштейнами. Крепление кронштейнов к кладке осуществлялось через паронитовую прокладку толщиной 3 мм. При проведении натурного эксперимента использовался измерительно-регистрационный комплекс «ТЕРЕМ-4», который может выполнять продолжительный мониторинг нескольких каналов температуры и тепловых потоков

по ГОСТ 25380. В комплексе «ТЕРЕМ-4» имеется одно центральное устройство, 9 адаптеров, к которым можно присоединить по 50 поверхностных датчиков температуры PT-100 и по 12 зондовых датчиков температуры фирмы Maxim-Dallass. Прибор имеет энергонезависимую флэш-память, на которую с заданным интервалом времени записываются показания датчиков. После этого данные можно перенести в компьютер и провести обработку результатов.

В ходе эксперимента было получено более 200,0 тыс. данных о распределении температуры в сечении стены с 29.12.06 по 04.05.07. Температура наружного воздуха за рассматриваемый период изменялась в интервале от –42,7 до +20°C. Каждые 30 мин. велась запись результатов измерений. Затем была проведена обработка данных распределения температуры в сечении стены и для удобства рассмотрения зависимости теплозащитных характеристик ограждения от его конструктивного решения построены графики. Ниже в качестве примера приведены характерные графики распределения температуры по толщине стенового ограждения для нескольких значений температуры наружного воздуха.

Большинство построенных графиков распределения температуры по толщине стенового ограждения, выполненного по схеме № 1, показывают, что температура в толще кладки из бетонных блоков распределяется равномернее, нежели в теплоизоляционном слое, образованном полужесткими минераловатными плитами. Кривая распределения температуры внутри минераловатных плит имеет характерный «провал» в средних слоях (рис. 1а). Причем подобная картина распределения температуры по толщине минплиты наблюдается во всем диапазоне значений температуры наружного воздуха в период эксперимента.

Эффективность теплоизоляции возрастает в случае применения в качестве внутреннего слоя менее плотной минераловатной плиты (49 кг/м<sup>3</sup>), что подтверждают графики распределения температур

в стеновом ограждении, выполненном по схеме № 2. Следует отметить, что средние фактические значения коэффициентов теплопроводности для минераловатных плит плотностью 49 кг/м<sup>3</sup> и 116 кг/м<sup>3</sup> отличаются незначительно и равны соответственно 0,032 Вт/(м·°C) и 0,037 Вт/(м·°C). При этом толщина внутреннего слоя теплоизоляции в результате его смятия составила 80 мм. Анализ графиков показывает, что температура на внутренней стороне кладки повышается и, например, при температуре наружного воздуха –40°C составляет для стен типа 1 и 2 соответственно +16,2°C и +17,3°C, а на наружной поверхности кладки соответственно +3,4°C и +7,8°C (рис. 1а; 1б). При этом практически не отличаются температуры на наружной поверхности теплоизоляции.

Влияние теплопроводного включения — кронштейна — хорошо видно на рис. 1в. Например, при наружной температуре воздуха –40°C на наружной поверхности кладки температура в зоне расположения кронштейна (датчик № 3) составляет –2,3°C, что ниже, чем на участке без теплопроводного элемента (+3,4°C). Температура внутри стенового ограждения отличается значительно. Так, при наличии кронштейна положение отметки с нулевой температурой смещается в толщу кладки (рис. 1в). Вместе с тем анализ многочисленных графиков распределения температуры показал, что при особо низкой температуре наружного воздуха (ниже –40°C) присутствие кронштейна незначительно сказывается на температурном режиме (рис. 1а и 1в).

Для общей оценки теплозащитных свойств вариантов ограждающих конструкций по многочисленным экспериментальным данным определены расстояния от внутренней поверхности стенового ограждения до точки с нулевой температурой и получены экспериментальные распределения данных расстояний в зависимости от температуры наружного воздуха (рис. 2). Во всех полученных графиках для ограждающих конструкций вариантов 1; 2 и 1\* наблюдается одинаковый характер зависимости этого

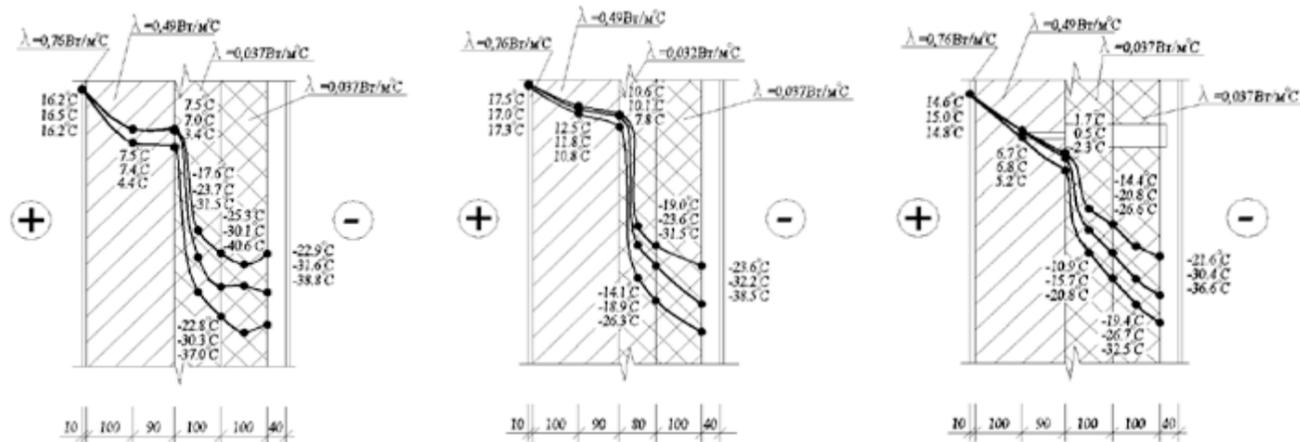


Рис. 1. Распределение температуры по толщине ограждения с использованием в качестве основы бетонных блоков

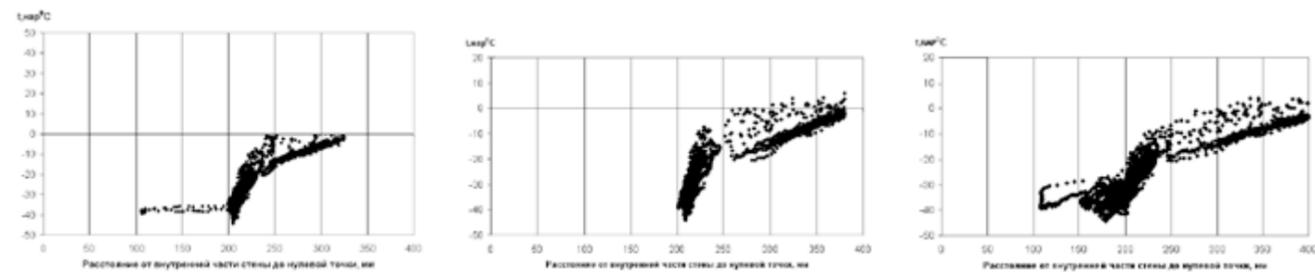


Рис. 2. Экспериментальные зависимости расстояния до точки с нулевой температурой от температуры наружного воздуха для стеновых ограждений вариантов 1, 2 и 1\*

параметра от температуры наружного воздуха.

В случае, если стеновое ограждение выполнено по варианту № 1, при температурах наружного воздуха выше  $-40^{\circ}\text{C}$  зона отрицательных температур находится внутри теплоизоляционного слоя. При дальнейшем понижении температуры положение точки с нулевой температурой смещается внутрь кладки из бетонных блоков. Когда температура  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже держалась в течение нескольких суток, зона отрицательных температур переместилась в толщу кладки, в результате в период с конца декабря до начала января расстояние от внутренней поверхности стены до нулевой отметки достигло 110 мм. При этом температура на внутренней поверхности стенового ограждения остается практически неизменной — порядка  $+16^{\circ}\text{C}$ , что отчасти объясняется увеличением температуры теплоносителя в отопительных приборах в период особо низкой температуры наружного воздуха.

Эффективность применения менее плотной минераловатной плиты ( $49 \text{ кг/м}^3$ ) в качестве внутреннего теплоизоляционного слоя еще раз подтверждает график, представленный на рис. 2б. Даже при устойчивой температуре наружного воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже в течение нескольких

суток зона отрицательных температур находится в теплоизоляционном слое. Следует отметить, что на качество наружной теплоизоляции влияет плотность контакта минераловатных плит с поверхностью кладки из бетонных блоков. На теплозащитных характеристиках негативно сказывается наличие даже небольших щелей между основой и минераловатными плитами при особо низких температурах наружного воздуха.

Отрицательное воздействие кронштейна на теплозащитные свойства стены четко прослеживается на рис. 2в. Температура наружного воздуха, при которой отрицательная температура смещается в толщу кладки, значительно выше, чем для стены варианта 1, и составляет порядка  $-30^{\circ}\text{C}$ . Однако при дальнейшем снижении температуры наружного воздуха картина проникновения отрицательных температур в толщу кладки для варианта 1 и 1\* становится одинаковой, что объясняется снижением влияния кронштейна как теплопроводного включения по отношению к более массивной части конструкции — бетонным блокам.

В вариантах 3 и 4 в качестве основы фасадной конструкции использовались пенобетонные блоки плотностью  $542 \text{ кг/м}^3$ . Общеизвестно, что по теплозащитным свойствам пенобетонные блоки

гораздо эффективнее, чем традиционно применяемые бетонные блоки. Соответственно картина распределения температуры внутри стеновых конструкций вариантов 3 и 4 значительно отличается от рассмотренных вариантов стен с использованием бетонных блоков.

Для варианта 3 стеновой конструкции с применением в качестве основы пенобетонных блоков распределение температуры по всей толщине более равномерное для всего диапазона рассматриваемых температур наружного воздуха (рис. 3а). По толщине минераловатной плиты график распределения температуры имеет также небольшую кривизну в средней части.

При использовании в качестве внутреннего слоя теплоизоляции материалов на основе стекловолокна картина распределения температуры резко изменяется, особенно во внешнем слое. Здесь следует отметить, что в результате смятия рулонного материала марки КТ-40 наружным слоем из минераловатной плиты фактическая толщина составила 20 мм. Если по толщине пенобетонного блока рассматриваемый график имеет линейный характер, то в теплоизоляционном слое из материалов двух видов график температуры становится резко нелинейным. На значительное повышение

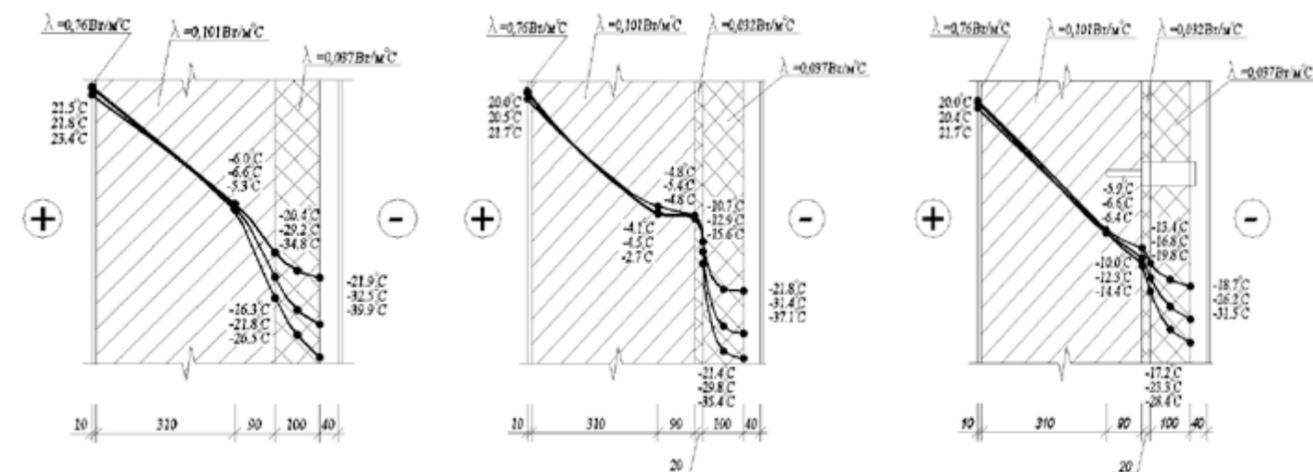


Рис. 3. Распределение температуры по толщине ограждения с использованием в качестве основы пенобетонных блоков

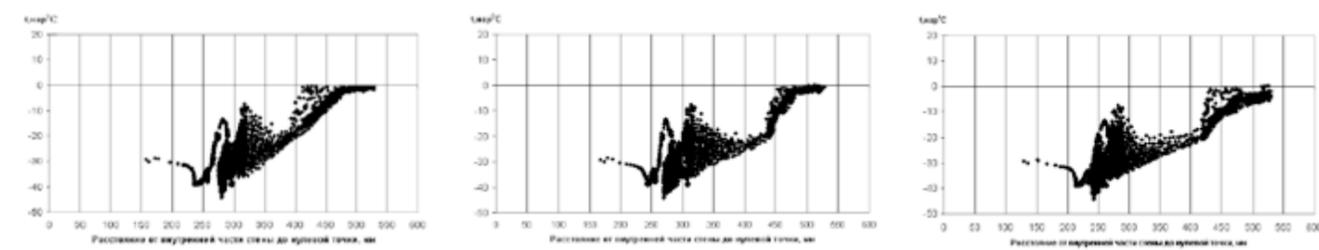


Рис. 4. Экспериментальные зависимости расстояния до точки с нулевой температурой от температуры наружного воздуха для стеновых ограждений вариантов 3, 4 и 4\*

эффективности применения двухслойной теплоизоляции с разной плотностью указывают абсолютные значения температур. Например, при температуре наружного воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$  температура по отдельным точкам (рис. 3а и б) составляет:

- в точке 3 (наружная поверхность пенобетонного блока)  $t_3 = 26,5^{\circ}\text{C}$  для стены типа 3 и  $t_3 = -4,8^{\circ}\text{C}$  для варианта 4;
- в точке 2 (внутри блока)  $t_2 = -5,3^{\circ}\text{C}$  для варианта 3 и  $t_2 = -2,7^{\circ}\text{C}$  для варианта 4.

Несмотря на большую разницу значений температуры внутри стены, на внутренней поверхности стены температура практически совпадает и при температуре наружного воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$  составляет в точке 1 (внутренняя поверхность блока)  $t_1 = +23,4^{\circ}\text{C}$  для варианта 3 и  $t_1 = +21,7^{\circ}\text{C}$  для варианта 4.

В местах расположения кронштейнов наблюдается значительное влияние наличия теплопроводного включения на распределение температурного поля внутри конструкции. Например, при температуре наружного воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$  в точке 3 (наружная поверхность пенобетонного блока)  $t_3 = -4,8^{\circ}\text{C}$  для варианта 4 и  $t_3 = -14,1^{\circ}\text{C}$  для варианта 4\*. Далее наблюдается стабилизация температуры и на внутренней поверхности пенобетонных блоков значения температуры практически совпадают ( $+21,72^{\circ}\text{C}$  и  $+21,67^{\circ}\text{C}$ ).

По многочисленным экспериментальным данным также определены расстояния от внутренней поверхности стенового ограждения до отметки с нулевой температурой в зависимости от температуры наружного воздуха. Во всех полученных графиках для вариантов 3; 4 и 4\* наблюдается одинаковый характер зависимости этого параметра от температуры наружного воздуха. Следует отметить интересный факт, что для варианта 3 отметка с нулевой температурой располагается внутри пенобетонного блока при постепенном повышении температуры наружного воздуха в весенний период вплоть до значения  $t_н = -5^{\circ}\text{C}$ . Это объясняется тем, что рассматриваемая ограждающая конструкция обладает большой тепловой инерцией и соответственно при повышении температуры воздуха идет медленное изменение температуры внутри конструкции (рис. 4а).

Подводя итоги проведенного натурного эксперимента по определению распределения температуры по толщине стены с использованием вентилируемого фасада в условиях устойчивой особо низкой температуры наружного воздуха можно сделать следующие выводы:

1. В стеновой конструкции с применением в качестве основы щелевых бетонных блоков толщиной 200 мм и минераловатной плиты плотностью  $116 \text{ кг/м}^3$

и толщиной 200 мм в толще теплоизоляционного слоя распределение температуры имеет нелинейный характер. При наружной температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  в течение нескольких суток зона отрицательных температур проникает в кладку из бетонных блоков. Применение в качестве внутреннего слоя теплоизоляции минераловатной плиты средней плотности порядка  $50 \text{ кг/м}^3$  значительно повышает теплозащитные свойства стеновой конструкции.

2. В конструкции из пенобетонных блоков толщиной 400 мм и минераловатной плитой плотностью  $116 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 100 мм распределение температуры по толщине имеет более линейный характер. Применение в качестве внутреннего слоя материалов на основе стекловолокна (типа Isover марки КТ40) заметно повышает эффективность теплоизоляции.

#### Используемая литература

1. Т.А. Корнилов, А.А. Рахматуллин /О состоянии вентилируемых фасадных систем в Якутии. // «Жилищное строительство» №6-2007. С. 11–12.