

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНОЙ СТЕНЫ МАЛОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ ИЗ ЛСТК-ПРОФИЛЕЙ

Е. В. Куделина, И. В. Харламов

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье приводится оценка влажностного состояния многослойной конструкции наружной стены инженерными методами: расчёт защиты от влаги и построение графика температуры ограждающей конструкции. В качестве исходных данных выбрана конструкция стены из ЛСТК с высокими теплоизоляционными свойствами. По результатам расчетов даны рекомендации по дальнейшей работе.

Ключевые слова: температурно-влажностный режим, сопротивление паропрооницанию, ЛСТК, минеральная вата.

В связи с негативным влиянием факторов окружающей среды (периодические увлажнения и высушивание конструкций, воздействия агрессивных сред окружающей среды, солнечной радиации, знакопеременные температурные воздействия) в современном строительстве представлены высокие требования к теплозащите ограждающих конструкций, что приводит к снижению строительства зданий со стенами традиционного типа. Поэтому сегодня помимо однослойных широко распространены многослойные ограждающие конструкции с использованием эффективных теплоизоляционных материалов, что позволяет контролировать температурно-влажностное состояние стенового ограждения [1].

Перемещение тепла в какой-либо среде возможно при условии, если температура в отдельных её местах неодинакова.

Разность температур в среде – необходимое условие для возникновения в ней теплопередачи. При разности температур воздуха внутри и снаружи здания происходит теплопередача через наружные ограждающие конструкции.

Зимой в отапливаемых зданиях теплопередача происходит через наружные ограждения из здания; теряемое при этом зданием тепло возмещается теплом, подаваемым различными системами отопления.

С повышением влажности строительных материалов повышается и их теплопроводность, т.е. при прочих равных условиях сырые ограждения будут иметь пониженные теплозащитные качества сравнительно с такими же, но сухими ограждениями. Следовательно, при проектировании наружных огра-

ждений необходимо принимать меры для предотвращения возможного увлажнения материалов ограждающей конструкции, применять материалы с минимальной влажностью, а также учитывать не только теплотехнический, но и влажностный режим их.

Применение в современном строительстве в качестве утеплителей легких материалов заставляет обращать внимание на влажностный режим ограждений, чтобы обеспечить им необходимую долговечность [2].

В статье [3] были разработаны 3 варианта конструктивных решений стен из ЛСТК с высокими теплоизоляционными свойствами.

По результатам технико-экономической оценки получен наиболее экономичный вариант – применение каркаса с утеплением минеральной ватой.

В качестве исходных климатических данных выбраны климатические условия г. Барнаула, Алтайского края.

Целью данной работы является оценка влажностного состояния ограждающей конструкции инженерными методами:

- расчет защиты от влаги согласно [4] и [5];

- построение графика температуры по сечению наружной стены согласно [2].

Сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции было рассчитано в статье [3] и равно – $6,99 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Общая толщина ограждающей конструкции – 305 мм.

В таблице 1 представлены технические характеристики каждого слоя данной конструкции.

Для оценки теплотехнических качеств ограждения необходимо знать не только величину его сопротивления теплопередаче, но

также температуры в любой поверхности ограждения при заданных значениях температур воздуха с одной и с другой стороны ограждения. Особенно большое значение для теплотехнической оценки ограждения имеет температура на его внутренней поверхности, так как она определяет возможность образования конденсата, что недопустимо с санитарно-гигиенической точки зрения. Распределение температуры в ограждении необходимо знать при расчетах влажностного режима ограждения [2, 4].

Построим графики изменения температуры в наружной ограждающей конструкции

при температуре внутреннего воздуха – +20°C и наружного воздуха равного:

- средней температуре воздуха периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 0^\circ\text{C}$ равной -11,1 °C (рисунок 1);

- температуре воздуха наиболее холодных суток, обеспеченностью 0,92 – -40°C (рисунок 2).

Расчётные данные изменения температуры в ограждающей конструкции представлены в таблице 2.

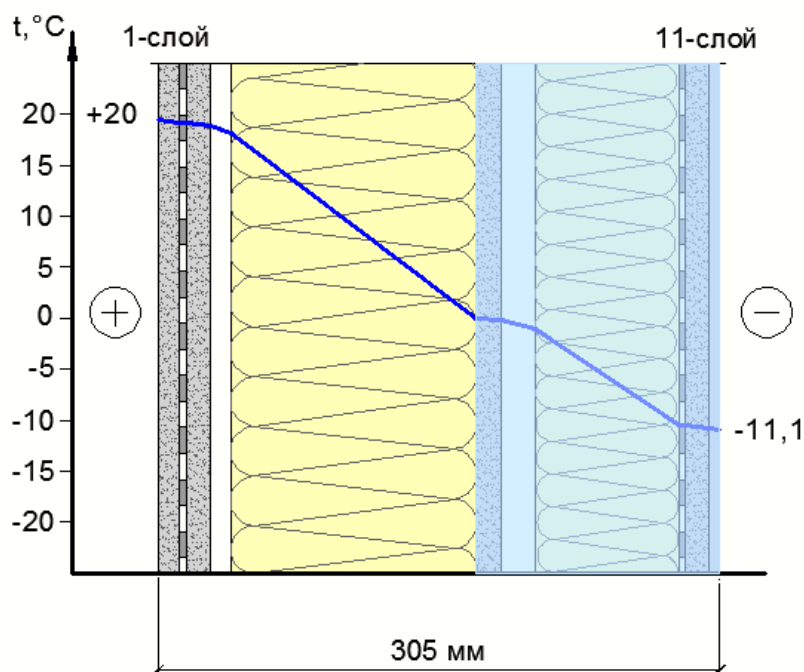
Таблица 1 – Технические характеристики слоев ограждающей конструкции

№ слоя	Наименование слоя	Плотность γ , кг/м ³	Толщина δ , м	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м*°C)	Коэффициент паропроницаемости, μ , мг/(м*ч*Па)
	Внутренняя поверхность				
1	Гипсокартонные листы	760	0,0125	0,21	0,12
2	Тувек – супердиффузная мембрана	4000	0,00002	0,013	0,0002
3	Гипсокартонные листы	760	0,0125	0,21	0,12
4	Камера невентилируемая	1	0,01	0,067	1
5	Минеральная вата	60	0,14	0,034	0,3
6	ГВЛП (Rigidur)	1200	0,012	0,202	0,118
7	Камера невентилируемая	1	0,02	0,111	2
8	Минеральная вата	100	0,08	0,037	0,3
9	Тувек – супердиффузная мембрана	4000	0,00002	0,013	0,0002
10	Аквапанель	1280	0,0125	0,308	0,033
11	Известково-гипсовая штукатурка	1400	0,005	0,704	0,12
	Наружная поверхность				

Таблица 2 – Изменение температуры в конструкции наружной стены

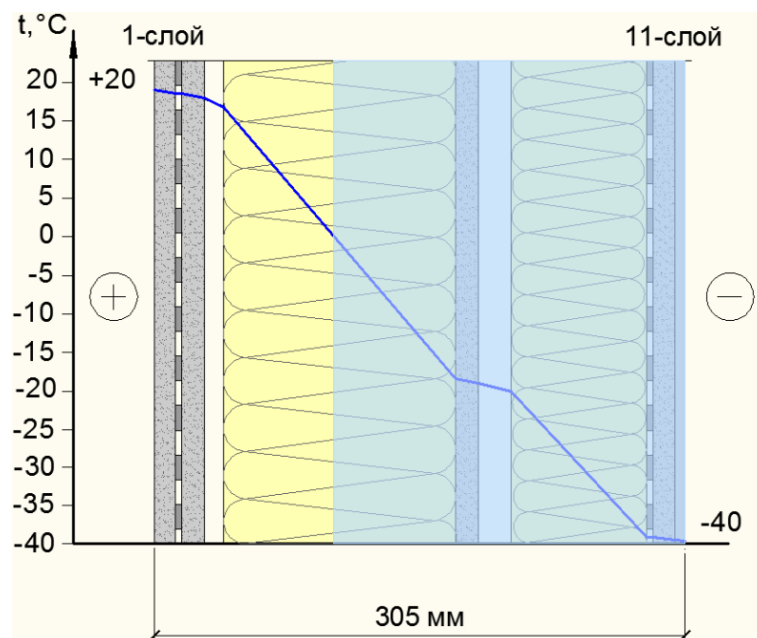
№ слоя	Наименование слоя	Температура на границе слоя ограждения при температуре наружного воздуха	
		минус 11,1 °C	минус 40 °C
	Внутренняя поверхность	19,49	19,01
1	Гипсокартонные листы	19,22	18,50
2	Тувек – супердиффузная мембрана	19,22	18,49
3	Гипсокартонные листы	18,95	17,98
4	Камера невентилируемая	18,29	16,69
5	Минеральная вата	-0,01	-18,61
6	ГВЛП (Rigidur)	-0,28	-19,12
7	Камера невентилируемая	-1,08	-20,67
8	Минеральная вата	-10,69	-39,21
9	Тувек – супердиффузная мембрана	-10,69	-39,22
10	Аквапанель	-10,88	-39,57
11	Известково-гипсовая штукатурка	-10,91	-39,63

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНОЙ СТЕНЫ МАЛОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ ИЗ ЛСТК-ПРОФИЛЕЙ



1 – гипсокартонный лист; 2 – tyvek – супердиффузная мембрана; 3 – гипсокартонный лист; 4 – камера неventилируемая; 5 – утеплитель – минеральная вата; 6 – гипсоволокнистый лист повышенной прочности (ГВЛП) Rigidur; 7 – камера не-ventилируемая; 8 – утеплитель – минеральная вата; 9 – tyvek – супердиффузная мембрана; 10 – аквапанель; 11 – наружная облицовка – известково-гипсовая штукатурка

Рисунок 1 – Изменение температуры в конструкции наружной стены при температуре наружного воздуха -11,1°C



1 – гипсокартонный лист; 2 – tyvek – супердиффузная мембрана; 3 – гипсокартонный лист; 4 – камера неventилируемая; 5 – утеплитель – минеральная вата; 6 – гипсоволокнистый лист повышенной прочности (ГВЛП) Rigidur; 7 – камера не-ventилируемая; 8 – утеплитель – минеральная вата; 9 – tyvek – супердиффузная мембрана; 10 – аквапанель; 11 – наружная облицовка – известково-гипсовая штукатурка

Рисунок 2 – Изменение температуры в конструкции наружной стены при температуре наружного воздуха -40°C

Графики изменения температуры в наружной стене (рисунки 1, 2) и расчёт (таблица 2) показывают, что наиболее интенсивное падение температуры происходит в слое минераловатных плит, а менее интенсивное в слое туека. Зона отрицательной температуры на рисунках 1 и 2 показана голубым цветом.

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропрооницанию внутренних слоев не менее требуемого значения, определяемого расчетом одномерного влагопереноса (осуществляемому по механизму паропрооницаемости).

Сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее требуемых сопротивлений паропрооницанию (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации и из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха) [4].

Сопротивление паропрооницанию равно $R_{0,n} = 1,68 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$.

Для каждого слоя многослойной конструкции вычисляется значение комплекса $fi(t \text{ м.у.})$, характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения. Так же необходимо определить координаты плоскостей возможной конденсации.

По результатам расчёта плоскость возможной конденсации – наружная поверхность слоев 4, 7 (камера невентилируемая) и слоев 5, 8 (минеральная вата).

Определяем значение упругости водяного пара в плоскости возможной конденсации для 4-го, 5-го, 7-го и 8-го слоя. Результаты расчёта представлены в таблице 3.

В результате сравнения значений упругости водяного пара и парциального давле-

ния насыщенного пара в плоскостях возможной конденсации можно сделать вывод, если:

- $e < E$ – конденсация водяного пара невозможна;
- $e > E$ – возможна конденсация водяного пара, следует выполнить расчёт на накопление влаги.

Определяем температуру в зоне конденсации для 3-х периодов года:

для 7-го слоя:

- зимний период: средняя температура наружного воздуха $t_n = -11,56^\circ\text{C}$, температура на наружной поверхности $\tau = -1,39^\circ\text{C}$, парциальное давление насыщенного пара $E1 = 553 \text{ Па}$.
- весенне-осенний период: $t_n = 3,45^\circ\text{C}$, $\tau = -8,78^\circ\text{C}$, $E2 = 1122 \text{ Па}$;
- летний период: $t_n = 15,56^\circ\text{C}$, $\tau = 16,99^\circ\text{C}$, $E3 = 1917 \text{ Па}$.

Парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации $E = 1215 \text{ Па}$.

Для 8-го слоя:

- зимний период: $t_n = -11,56^\circ\text{C}$, $\tau = -11,14^\circ\text{C}$, $E1 = 226 \text{ Па}$
- весенне-осенний период: $t_n = 3,45^\circ\text{C}$, $\tau = 3,67^\circ\text{C}$, $E2 = 791 \text{ Па}$;
- летний период: $t_n = 15,56^\circ\text{C}$, $\tau = 15,62^\circ\text{C}$, $E3 = 1756 \text{ Па}$.

Парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации $E = 975 \text{ Па}$.

Определим требуемое сопротивление паропрооницанию R_{n1}^{TP} из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации. Результаты расчёта для 7-го и 8-го слоя представлены в таблице 4.

По результатам расчёта можно сделать вывод, что накопление влаги за годовой период эксплуатации не происходит.

Таблица 3 – Сравнение значений упругости водяного пара и парциального давления насыщенного пара в плоскостях возможной конденсации

№ слоя	Наименование слоя	Температура на наружной поверхности τ , $^\circ\text{C}$	Парциальное давление насыщенного пара E , Па	Значение упругости водяного пара e , Па	Сравнение
4	Камера невентилируемая	18,29	2080	893	$e < E$
5	Минеральная вата	-0,01	5610	458	$e < E$
7	Камера невентилируемая	-1,08	565	1079	$e > E$
8	Минеральная вата	-10,69	276	886	$e > E$

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНОЙ СТЕНЫ МАЛОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ ИЗ ЛСТК-ПРОФИЛЕЙ

Таблица 4 – Сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции

	7 слой	8 слой
Сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции $R_{n,n}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$	0,79	0,52
Сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения) R_n , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$	0,89	0,90
Требуемое сопротивление паропрооницанию R_{n1}^{TP} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$	0,05	0,21
	$R_n > R_{n1}^{\text{TP}}$	$R_n > R_{n1}^{\text{TP}}$

Определим требуемое сопротивление паропрооницанию R_{n2}^{TP} из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха. R_{n2}^{TP} для 7-го слоя равно $1,26 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, для 8-го слоя равно $0,99 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Результаты расчётов влажностного режима показали, что фактическое сопротивление паропрооницанию не превышает требуемое значение ($R_n < R_{n2}^{\text{TP}}$), поэтому происходит накопление влаги.

Таким образом, для того чтобы избежать накопления влаги, в представленной конструкции стены, необходимо увеличить толщину δ (м) или плотность γ ($\text{кг} / \text{м}^3$) слоя ограждающей конструкции в котором происходит влагонакопление.

Для получения более точной картины по исследованию температурно-влажностного режима наружной стены необходимо сделать компьютерный расчёт с учётом:

- годовой изменчивости температур, а также построить график влагонакопления;
- неоднородности ограждающих конструкций.

Более точный расчёт будет произведен в дальнейшей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылова, А. И. Влажностный режим ограждающей конструкции с облицовкой силикатным кирпичом / А. И. Копылова, А. К. Богомолова, Д. В. Немова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 6 (33). – С. 74-86.
2. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. – Изд. 4-е, переработ. и доп. – М. : Стройиздат, 1973. – С. 287.
3. Куделина, Е. В. Выбор рационального варианта стен одноэтажного жилого здания из ЛСТК / Е. В. Куделина, И. В. Харламов // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – с. 113-118. – Режим доступа: http://elibrary.altstu.ru/elibrary/books/Files/pa2016_01/pdf/113kudelina.pdf.
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
5. СТО 00044807-001-2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий.

Куделина Е.В. – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: kudelinakatya94@mail.ru.

Харламов И.В. – к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: hiv@mail.altstu.ru.