

Ограждающая конструкция «нулевой толщины» – термопанель

Аспирант Д.В. Кузьменко, д.т.н., профессор Н.И. Ватин

Строительство жилых зданий каркасного типа, сочетающих в себе высокие теплоизоляционные и конструкционные свойства, является основным условием для реализации государственной программы «Доступное и комфортное жилье гражданам России». Альтернативной современной каркасной технологией строительства жилых зданий является Технология Легких Стальных Тонкостенных Конструкций (ЛСТК).

На базе ЛСТК разработан новый тип ограждающих конструкций – термопанель (Рис. 1). Основой термопанели является термопрофиль и эффективный утеплитель.



Рисунок 1. Новый тип ограждающей конструкции – термопанель

Применение термопанели – это перспективная, новая энергосберегающая технология, которая по праву может использоваться в жилом высотном домостроении. Термопанель позволит обеспечить энергосбережение за счет применения эффективного утеплителя и термопрофиля с прорезями, увеличивающими путь теплового потока и как следствие – сопротивление теплопередаче, а также снизит материальные, трудовые и стоимостные затраты в массовом строительстве при высоких качественных и эксплуатационных показателях и сократит сроки строительства за счет технологии сборки.

Строительство обеспечивающих энергосбережение при эксплуатации зданий, привлекает все большее внимание руководителей городского хозяйства и инвесторов. Для первых это связано с возможностью снижения дотаций населению на оплату за потребляемую тепловую энергию, для вторых – с возможностью повысить конкурентоспособность потребительских качеств здания.

Актуальность энергосбережения в строительной отрасли связана со следующими обстоятельствами:

- увеличиваются объемы строительства, в связи с этим возрастает потребление энергетических ресурсов;
- особую значимость приобретает проблема экологической безопасности – уменьшения загрязнения окружающей среды в результате сжигания топлива;

- возрастает стоимость энергетических ресурсов;
- ставится задача сохранения ресурсов в аспекте защиты интересов будущих поколений.

Создание энергоэффективных зданий и их конструкций становится тем направлением в строительстве, которое позволяет наиболее рационально использовать ограниченные топливно-энергетические и материальные ресурсы при получении максимального технико-экономического, социального и экологического эффекта.

В крупных городах России каркасно-монолитное жилье давно стало привычным. К преимуществам каркасно-монолитного строительства относится как гибкость общих архитектурно-планировочных решений, так и возможность свободной планировки помещений. Каркасно-монолитное жилье может быть любой категории, от экономичной до элитной. При этом чрезвычайно важно, какой вид имеет ограждающая система, что определяет ее экономическую и техническую эффективность.

Ограждающие конструкции монолитного здания могут быть следующими:

- 1) монолитные;
- 2) монолитные слоистые стены с эффективным утеплителем;
- 3) стены, выполненные из небетонных материалов (кирпич, ячеистобетонные или керамзитобетонные блоки);
- 4) сборные бетонные трехслойные панели.

Стеновое заполнение из газобетона или пустотелого кирпича не входит в состав несущей конструкции, поэтому для его устройства могут быть использованы легкие материалы низкой плотности, имеющие высокие теплотехнические свойства. Их использование позволяет не только облегчить ограждающую конструкцию, но и уменьшить расход бетона на фундамент, увеличить жилую площадь, повысить энергоэффективность здания. Такой конструкцией может быть – термопанель.

Термопанель (рис. 2) выполняет функции ограждающей конструкции (такие как теплозащита, восприятие ветровой и не нормируемой, но существующей внутри помещения силовой нагрузки на ограждающие конструкции), а также функции фасадной системы с вентилируемым зазором, обеспечивающим удаление влаги из минераловатного утеплителя. Эта ограждающая конструкция для каркасных домов, которая полностью исключает мокрые строительные процессы, позволяет вести большинство монтажных работ внутри помещения. Термопанель – это навесные панели наружных стен с каркасом из термопрофилей, предназначенные для строительства малых и многоэтажных зданий.



Вариант а

1. Керамогранит, 595×595 мм
2. Кляммер
3. Вертикальная омегаобразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 600 мм)
4. Горизонтальная омегаобразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 1200 мм)
5. Конденсатоизоляционная мембрана Monarperm
6. Балка термопрофиль ТС-150-1.5
7. Теплоизоляция «URSA» (100+50)мм
8. Фольгированная пароизоляция
9. Омегаобразная обрешетка ОУВ-45-0.6 (шаг 600 мм)
10. Гипсокартон ГКЛВ 2 слоя (12.5мм)
11. Несущий кронштейн
12. Элемент примыкания
13. Анкер
14. Межэтажное перекрытие

Вариант б

1. Керамогранит, 595×595 мм
2. Кляммер
3. Вертикальная омегаобразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 600 мм)
4. Горизонтальная омегаобразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 1200 мм)
5. Конденсатоизоляционная мембрана Monarperm
6. Балка термопрофиль ТС-150-1.5
7. Теплоизоляция «URSA» (100+50)мм
8. Фольгированная пароизоляция
9. Дополнительная теплоизоляция «URSA» 50мм
10. Омегаобразная обрешетка ОУВ-45-0.6 (шаг 600 мм)
11. Гипсокартон ГКЛВ 2 слоя (12.5мм)
12. Несущий кронштейн
13. Элемент примыкания
14. Анкер
15. Межэтажное перекрытие

Рисунок 2. Ограждающая конструкция – термопанель. Разрез

Основой для термопанелей служат легкие стальные профили – термопрофили.

Почему строители используют сталь? Дело в том, что сталь характеризуется очень высоким значением отношения прочности материала к плотности. Например, для дерева этот параметр почти вдвое, а для железобетона — в 20 раз меньше, чем для стали. Это дает возможность создавать легкие конструкции большой несущей способности. Недостаток стали – низкая коррозионная стойкость и высокая теплопроводность. Коррозионная стойкость в термопрофиле обеспечивается применением горячеоцинкованной стали. Для радикального уменьшения теплопроводности в термопрофиле в шахматном порядке прорезаны сквозные отверстия для увеличения пути прохождения теплового потока. Это позволяет уменьшить эффективную теплопроводность металла на 90-80%.

Смещенный шаг прорезей позволяет ликвидировать так называемые «мостики холода». Теплопроводность конструкций наружных стен с термопрофилем становится примерно равной теплопроводности древесины. В отличие от древесины, термопрофили не подвержены разрушительному влиянию биологических процессов. Благодаря прорезям профили обладают и хорошими виброакустическими свойствами.

Термопрофили стали применяться в России в конце 90-х годов. В Санкт-Петербурге термопрофили, адаптированные к российским условиям, серийно выпускаются с 2003 года [6]. Они успешно применялись для возведения легких каркасных конструкций мансард, коттеджей, быстровозводимых малоэтажных зданий.

Независимо от несущей способности к ограждающим конструкциям предъявляются требования в соответствии с выполняемыми функциями по следующим параметрам:

- 1) термическое сопротивление;
- 2) теплоустойчивость;
- 3) воздухопроницаемость;
- 4) паропроницаемость.

Наружные ограждающие конструкции с термопрофилями, расположенными непосредственно в их теплоизоляционных слоях являются неоднородными в теплотехническом отношении, что обуславливает необходимость расчета приведенных значений их сопротивления теплопередаче, с учетом влияния термопрофилей, являющихся «мостиками холода», на теплозащитные качества таких конструкций. В связи с большим различием расчетных коэффициентов теплопроводности стали (58 Вт/(м °С)) и используемых в этом случае эффективных утеплителей (0,03 – 0,1 Вт/(м °С)) не обеспечиваются ограничения, установленные для использования сравнительно простой инженерной методики расчета приведенных значений термического сопротивления неоднородных ограждающих конструкций, предусмотренной п. 2.8 СНиП 23-02-2003 [4]. Поэтому теплотехнический расчет выполняется на основе расчета температурных полей; приведенного теплового сопротивления; либо по результатам опытных исследований. Все эти способы являются достаточно трудоемкими.

Для многослойных панелей, состоящих из неоднородных слоев с эффективной теплоизоляцией, полностью или частично пронизывающих толщу теплоизоляции металлическими элементами (профиля, стержни, болты), приведенное термическое сопротивление определим следующим образом.

1. Конструкция условно расчленяется на однородные элементы. Затем конструкция представляется в виде цепи из тепловых сопротивлений, образующих последовательно-параллельные участки, для которых рассчитывается приведенное тепловое сопротивление ρ^r , °С/Вт. Причем участки с параллельными ветвями цепи с тепловыми сопротивлениями ρ^i и ρ^{ii} рассчитываются по формуле:

$$\rho^r = (\rho^i \rho^{ii}) / (\rho^i + \rho^{ii}) \tag{1}$$

а участки с последовательными тепловыми сопротивлениями – суммированием их тепловых сопротивлений.

2. Приведенное термическое сопротивление R_k^r , м²·°С/Вт, определяют по формуле:

$$R_k^r = \rho^r A \tag{2}$$

где A – общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков, м².

Получены значения приведенного сопротивления изоляционного слоя для всех типоразмеров термопрофилей. В таблице 1 представлены приведенные значения термического сопротивления неоднородных теплоизоляционных слоев, полученные на основе приведенного теплового сопротивления. Они могут быть приняты в качестве расчетных значений для определения сопротивления теплопередаче термопанели. В таблице представлен результат расчета термопрофилей высотой стенки 150 и 175 мм, толщиной стенки 1,5 и 2 мм, как наиболее распространенных, при различном расстоянии между ними.

Таблица 1. Приведенное термическое сопротивление изоляционного слоя при шаге термопанели (L), мм

Толщина теплоизоляции (высота стенки термопрофиля), $\delta_{тс}$, мм	Толщина стенки термопрофиля, мм	Расчетный коэф-т Теплопроводности утеплителя (λ), Вт/м °С	Приведенное термическое сопротивление ($R_{пр.к}$), м ² °С/Вт, теплоизоляционного слоя ($\delta_{тс}$) при шаге термопрофилей L, мм		
			600	900	1200
1	2	3	4	5	6
150	1,5	0,03	3,70	4,05	4,25
		0,04	2,97	3,19	3,31
		0,041	2,91	3,12	3,24
		0,042	2,86	3,06	3,17
		0,045	2,70	2,88	2,98
		0,047	2,61	2,78	2,87
		0,05	2,48	2,63	2,71
		0,06	2,13	2,24	2,30
		0,07	1,86	1,95	1,99
		0,08	1,66	1,72	1,76
	0,09	1,49	1,55	1,57	
	0,1	1,36	1,40	1,42	
	2,0	0,03	3,41	3,81	4,05
		0,04	2,78	3,04	3,19
		0,041	2,73	2,98	3,12
		0,042	2,68	2,92	3,06
		0,045	2,54	2,76	2,88
		0,047	2,46	2,66	2,78
		0,05	2,34	2,53	2,63
		0,06	2,03	2,16	2,24
		0,07	1,78	1,89	1,95
		0,08	1,60	1,68	1,72
0,09	1,44	1,51	1,55		
0,1	1,32	1,37	1,40		
175	1,5	0,03	4,15	4,59	4,85
		0,04	3,36	3,64	3,80

		0,041	3,29	3,56	3,72
		0,042	3,23	3,49	3,64
		0,045	3,06	3,30	3,43
		0,047	2,96	3,18	3,30
		0,05	2,82	3,01	3,12
		0,06	2,43	2,57	2,65
		0,07	2,13	2,24	2,30
		0,08	1,90	1,99	2,03
		0,09	1,71	1,78	1,82
		0,1	1,56	1,62	1,65
	2,0	0,03	3,79	4,29	4,59
		0,04	3,11	3,45	3,64
		0,041	3,06	3,38	3,56
		0,042	3,01	3,32	3,49
		0,045	2,86	3,14	3,30
		0,047	2,77	3,03	3,18
		0,05	2,64	2,88	3,01
		0,06	2,30	2,47	2,57
		0,07	2,03	2,17	2,24
		0,08	1,82	1,93	1,99
0,09	1,65	1,74	1,78		
0,1	1,51	1,58	1,62		

Таким образом, определение приведенных значений сопротивления теплопередаче многослойных ограждающих конструкций с теплоизоляционными слоями, включающих термопрофили, можно проводить путем расчета их как однородных в теплотехническом отношении многослойных конструкций с определением приведенных значений термического сопротивления таких неоднородных теплоизоляционных слоев по данным таблицы 1.

Аналогичным образом получены значения сопротивления теплопередаче термопанели для всех типоразмеров.

Полученный результат расчета термопанелей различных типоразмеров на теплоустойчивость позволяет сделать вывод: данная конструкция удовлетворяет требованиям по теплоустойчивости. Расчетная амплитуда суточных колебаний результирующей температуры воздуха A_t^{des} находится в интервале от 0,89 °С до 1,24 °С, что не превышает нормируемого значения $A_t^{req} = 1,5$ °С (при наличии централизованного отопления).

В таблице 2 представлена характеристика слоев термопанели на базе термопрофиля 150 мм, которая имеет наименее выгодные теплотехнические характеристики из всех типоразмеров.

Для неоднородных слоев коэффициент теплопроводности $\lambda_{и}$, удельная теплоемкость c , плотность γ_0 подсчитаны как средневзвешенные величины.

Таблица 2. Коэффициенты теплоусвоения и показатели тепловой инерции слоев покрытия

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_w , Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость c , Дж/(кг·°С)	Коэффициент теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С)	Сопротивление теплопередаче R , м ² ·°С/Вт	Показатель тепловой инерции D
1.	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка) ГОСТ 6266	800	0,21	840	2,7	0,119	0,32
2.	Обрешетка + воздушные промежутки	-	-	-	-	0,137	0
3.	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,12	1570	3,57	0,002	0,01
4.	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,14	0,056	782	0,616	2,7	1,66
5.	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	-	-	-	-	0
6.	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	-	-	-	-	0
Сумма							1,99

Из таблицы 2 следует, что зона резких колебаний расположена в четырех первых слоях ограждения. Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения равняется:

$$Y_3 = \frac{R_3 s_3^2 + s_4}{1 + R_3 s_4} = \frac{0,002 \cdot 3,57^2 + 0,616}{1 + 0,002 \cdot 0,616} = 0,641$$

$$Y_2 = \frac{R_2 s_2^2 + Y_3}{1 + R_2 Y_3} = \frac{0,137 \cdot 0^2 + 0,641}{1 + 0,137 \cdot 0,641} = 0,59$$

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = \frac{0,119 \cdot 2,7^2 + 0,59}{1 + 0,119 \cdot 0,59} = 1,36$$

$$Y_1 = Y_{int} = 1,36$$

Коэффициента теплопоглощения поверхности ограждения равен:

$$B = 1/(1/8,7 + 1/1,36) = 1,176$$

Амплитуда колебаний температуры воздуха в помещении равняется:

$$A_t^{des} = 0,1 \cdot (20 - (-26)) / 1,176 \cdot 3,16 = 1,24 \text{ °С} < A_t^{req} = 1,5 \text{ °С}$$

Требование СНиП 23-02-2003 к конструкции термопанели по воздухопроницаемости выполнено, т. к. $J^{des} >> J^{req}$.

Сопротивление воздухопроницанию термопанелей находится в диапазоне 1056 – 1060 м²·ч·Па/кг, что больше нормируемого сопротивления воздухопроницанию J^{req} 177,74 м²·ч·Па/кг.

Выполнен расчет распределения парциального давления водяного пара по толще стены и определена возможность образования в термопанели конденсата. В таблице 3 представлены результаты расчета для термопанели на базе термопрофиля 150 мм с толщиной стенки 1,5 мм.

Таблица 3. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	$x, \text{ м}$	$\Sigma R_i, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$	$\tau_i, \text{°C}$	$E_i, \text{ Па}$	$\Sigma \Omega_i, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$	$e_i, \text{ Па}$	$t_{\text{росы}}, \text{°C}$
int-1	0	0	19	2197	0	1284	10,6
1-2	0,025	0,119	17,9	2050	0,333	1252	10,3
2-3	0,07	0,256	16,7	1901	0,333	1252	10,3
3-4	0,0702	0,256	16,7	1901	10,333	321	-7,6
4-5	0,2202	2,956	-7	340	10,803	277	-9,2
5-ext	0,2752	2,956	-7	340	10,894	267	-9,6

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Построим график изменения температуры и точки росы по координате x , т.е. по толщине стены (рис. 3).

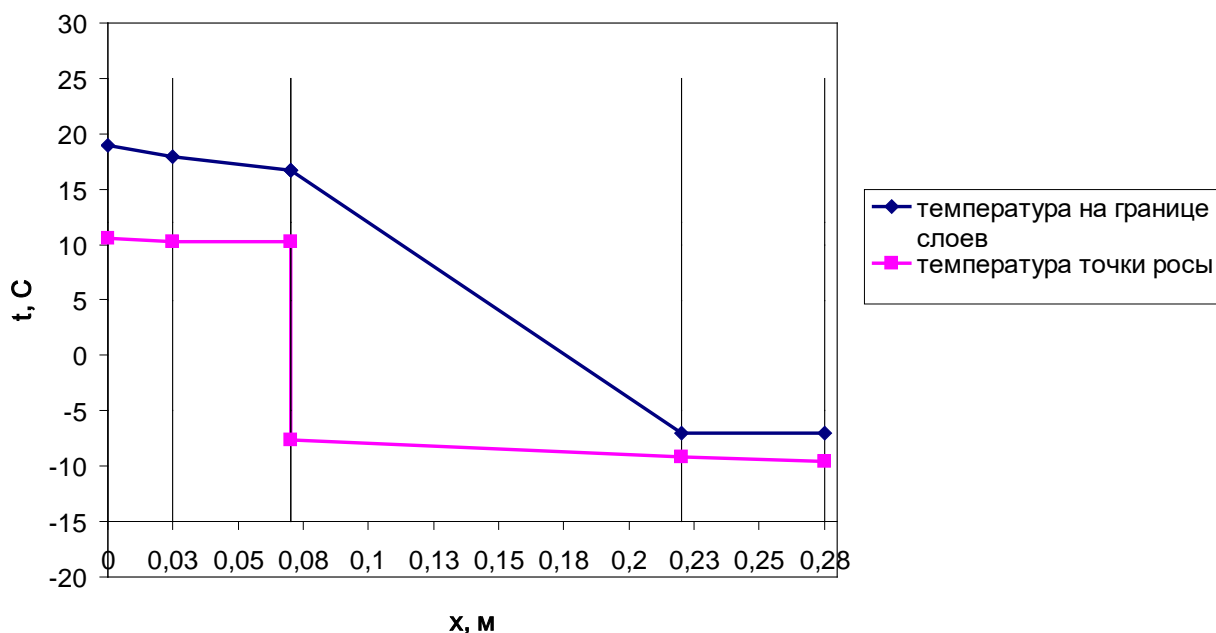


Рисунок 3. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

Из рис. 3 видно, что значения точек росы лежат ниже значений температуры по всей толщине стены. Следовательно, при расчетной температуре и влажности наружного воздуха конденсация пара исключена, и дополнительная пароизоляция не требуется.

Список использованных источников

1. Ватин Н.И., Кузьменко Д.В. «Инженерные решения ограждающих конструкций на базе термопанелей» // VII Международная конференция «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения» (RELMAS-2008).
2. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Межгосударственный стандарт.
3. Жмарин Е.Н. Технология будущего – строительство облегченных зданий и сооружений с применением термопрофилей и лёгких балок // Стройпрофиль, 2004, №5(35). — С.83.

4. Кузьменко Д.В. Энергоэффективная стеновая конструкция // Молодые ученые – промышленности северо-западного региона: Материалы семинаров политехнического симпозиума Декабрь 2006 года. СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2006. С.127
5. Кузьменко Д.В., Жмарин Е.Н. Ограждающая конструкция – термопанель как элемент энергоэффективного здания, отвечающего целям минимизации расходования тепловой энергии // Сборник научных трудов «Научные исследования и инновационная деятельность», 2007 год.
6. Рыбаков В.А. Современные методы расчета металлоконструкций из открытых тонкостенных профилей. // Материалы Всероссийского Форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах», 2007. С. 10-11.
7. Рыбаков В.А., Гамаюнова О.С. Влияние перфорации стенки на несущую способность термопрофилей // СтройПРОФИль, 2008, № 1(63). С. 128-130.
8. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».
9. СНиП 2.08-01 – 89* «Жилые здания».
10. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
11. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».