

Учет взаимного влияния элементов ограждающей конструкции здания на ее теплотехническое состояние



**Ведищева
Юлия
Сергеевна**

ведущий архитектор,
ООО «Институт проектирования,
архитектуры и дизайна» (ИНПАД),
Екатеринбург, Российская
Федерация

e-mail: botan1@inbox.ru

В работе исследовано теплотехническое состояние фрагментов фасадов зданий на примере регулярно повторяющегося участка наружной стены жилого здания, включающего в себя наибольшее количество элементов (окно, монолитные пилоны каркаса, торец плиты перекрытия, перемычка, монтажные швы). Проведена оценка численных значений тепловых потоков и температур на каждом из участков, ограниченных отдельными материалами, показано взаимное влияние участков конструкции из различных материалов на теплотехническое состояние соседних с ними элементов, а также влияние участка с локальным снижением толщины утеплителя на теплотехническое состояние расположенных рядом с ним элементов и на потери тепла всего исследуемого фрагмента.

Ключевые слова: теплотехническое состояние, тепловой поток, потери тепла, энергосбережение, сопротивление теплопередаче, коэффициент теплотехнической однородности, коэффициент теплопроводности.

Vedishcheva Yu. S., Belyaeva Z. V.

Consideration of mutual influence of building envelope elements on its thermal technical condition



**Беляева
Зоя
Владимировна**

кандидат технических наук,
заведующая кафедрой,
Институт строительства
и архитектуры, Уральский
федеральный университет
им. первого Президента
России Б. Н. Ельцина
(УрФУ), Екатеринбург,
Российская Федерация

e-mail: z.v.belyaeva@urfu.ru

The thermal technical condition of building envelopes parts on the example of the regular recurring sections of an exterior wall of a residential building that includes the largest elements amount (windows, monolithic concrete columns, floor slabs endface, lintel, assembly seams) is researched in this paper. The estimation of numerical values of heat flows and temperatures on each parts that are limited of different materials is made and mutual influence of sections from different materials on the thermal technical condition of the parts, that are located near them, is shown. The influence of the section with the local reduction of the insulation thickness on the thermal technical of the located near elements and on the heat losses of the whole researched construction is shown.

Keywords: thermal technical condition, heat flow, heat losses, energy saving, heat transfer resistance, coefficient of thermal technical uniformity, heat transfer coefficient.

Введение

Минимизация потерь тепла через ограждающие конструкции здания является актуальной задачей для инженеров, занимающихся строительным проектированием. Проектные решения влияют на долговечность ограждающих и несущих конструкций здания, находящихся в непосредственном контакте с наружными стенами, на тепловой комфорт в здании, на энергоэффективность объекта. На тепловой режим здания оказывает влияние множество факторов, как градостроительных, так и архитектурных: условия эксплуатации [5; 9], положение в застройке, форма здания [1; 5; 12], форма и материал ограждающих конструкций [8; 10; 12], особенности проектных решений, такие как наличие мостиков холода и термических неоднородностей [7; 11], форма и размер

светопрозрачных конструкций [6]. Ограждающие конструкции являются неоднородным элементом, включающим в себя совокупность различных факторов, таких как фасадная система, внутренняя отделка помещения, материал наружных стен, утеплитель. Элементы ограждения работают совместно, оказывая совокупное влияние на общую теплотехническую характеристику здания. Известно множество методик расчета и оценки теплотехнических свойств ограждающих конструкций [2–4]. Задачами статьи является оценка численных значений тепловых потоков и температур на каждом из участков, ограниченных отдельными материалами и составляющими ограждающую конструкцию здания, и их влияния на теплотехническое состояние этой конструкции, оценка потерь тепла через участок фасада с занижен-

ной толщиной утеплителя в сравнении с общим утеплением фасада. Новизна работы заключается в учете взаимного влияния элементов ограждающей конструкции здания на ее теплотехнические характеристики.

При планировании исследования был выбран участок наружной стены жилого здания, включающий в себя наибольшее количество элементов и регулярно повторяющийся на фасаде здания (Иллюстрация 1).

Представляет интерес анализ влияния заниженного значения толщины утеплителя на отдельных участках фасада здания, часто применяемого в декоративных целях, на общее теплотехническое состояние конструкции и потери тепла через наружное ограждение. Рассмотрен пример с общей толщиной утеплителя ограждающей конструкции, равной 150 мм, на участке под окном толщина утеплителя принята 120 мм.

Для оценки влияния элементов ограждающей конструкции на ее теплотехнические характеристики был выполнен расчет температурных полей ограждения. Расчет температурных полей проводился в программном комплексе методом конечных элементов с использованием уравнения Лапласа [2]:

$$\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} = 0, \quad (1)$$

где t — температура в узлах конечного элемента, °C; x, y, z — координаты узлов конечного элемента, м.

Для получения температурных полей был смоделирован указанный на Иллюстрации 1 участок наружной стены здания. Возможная неплотная стыковка материалов, несовершенства конструкции, зазоры между элементами конструкции, дефекты материалов конструкции в данной работе не учитывались, анализ их влияния на общее теплотехническое состояние конструкции является задачей отдельного исследования. В качестве конечного элемента выбран трехмерный твердотельный элемент с восьмью узлами и с одной степенью свободы в каждом узле — температурой. Тип элемента позволяет учитывать тепломассоперенос при тепловом потоке постоянной скорости. При разбиении модели на конечные элементы применялся шаг сетки от 40 до 50 мм в зависимости от размера и местоположения элемента. Форма элементов: гексаэдры, получаемые вытягиванием, — для мелкогабаритных элементов модели и в местах, представляющих наибольший расчетный интерес (плита перекрытия, конструкции над окном, окна, утеплитель), и тетраэдры — на участках глухой стены из газоблока, в удаленных от стыков элементах. Для расчета тепловых потоков через указанный участок стены приняты следующие исходные данные: температура внутреннего воздуха $t_{в} = +21$ °C, коэффициент теплопроводности внутренней поверхности ограждающей конструкции $\alpha_{в} = 8,7$ Вт/м²·°C, температура наружного воздуха $t_{н} = -32$ °C, коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции $\alpha_{н} = 23$ Вт/м²·°C. Значения коэффициентов теплоотдачи и теплопроводности конструкций не являются темой данного исследования, поэтому в расчете использованы табличные значения из нормативных источников [3]. Радиаторы отопления, располагаемые у наружной стены, в данной работе не учитывались, принималась в расчет установившаяся температура в помещении. В проекте приняты материалы со следующими характеристиками: минеральная вата с коэффициентом теплопроводности $\lambda_A = 0,041$ Вт/м·°C, железобетон с $\lambda_A = 1,92$ Вт/м·°C, газоблок с $\lambda_A = 0,16$ Вт/м·°C, цементно-песчаная стяжка с $\lambda_A = 0,76$ Вт/м·°C, заполнение монтажных зазоров окна с $\lambda_A = 0,038$ Вт/м·°C, звукоизоляция пола с $\lambda_A = 0,038$ Вт/м·°C. В качестве выходных данных при-

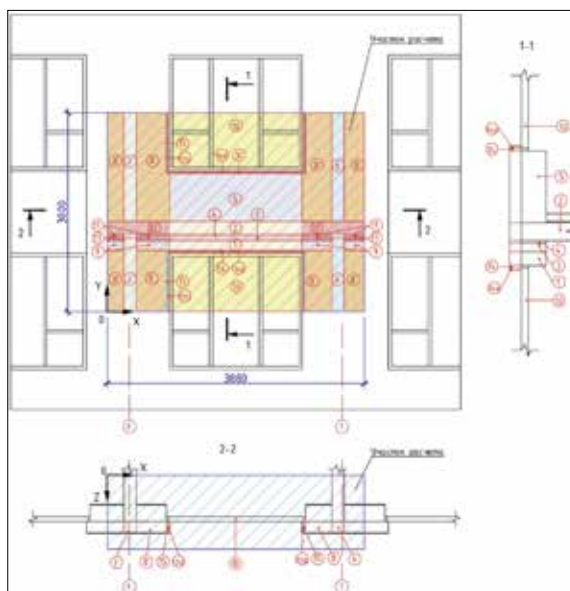


Иллюстрация 1. Фрагмент фасада здания, принятый для исследования (утеплитель на участке расчета условно не показан): 1, 9 — железобетонная перемычка в зоне утепления 120 мм и 150 мм соответственно; 2, 12 — плита перекрытия в зоне утепления 120 мм и 150 мм соответственно; 3, 13 — кладка из газоблока в зоне утепления 120 мм и 150 мм соответственно; 4, 11 — утепление между газоблоком и плитой перекрытия в зоне утепления 120 мм и 150 мм соответственно; 5, 8 — кладка из газоблока в зоне утепления 120 мм и 150 мм соответственно; 6, 7 — железобетонные пилоны; 10 — окно; 14, 15 — горизонтальный и вертикальный монтажные швы окна; 14а, 15а — горизонтальная и вертикальная четверть из утеплителя. Рисунок Ю. С. Ведичевой, Э. В. Беляевой. 2023 г.

няты значения температур и тепловых потоков в каждом узле модели.

Для определения влияния отдельных элементов наружного ограждения на его теплотехническое состояние наружная поверхность ограждения разбивалась на отдельные участки, соответствующие участкам с различными материалами (Иллюстрация 1). На каждом из участков определялось среднее значение теплового потока и температур наружной и внутренней поверхностей ограждения. Кроме того, для оценки влияния различных элементов ограждения на общее тепловое поле конструкции определялась средняя температура каждого элемента на внутренней границе утеплителя $\tau_{ут,i}$, которая впоследствии сравнивалась с теоретическим значением, рассчитываемым по формуле [3]:

$$\tau_{ут,i}^{теор} = t_{в} - \frac{t_{в} - t_{н}}{R_{усл}} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1} R_{к,i} \right), \quad (2)$$

где $R_{к,i} = \delta_i / \lambda_i$ — сопротивление теплопередаче отдельного слоя ограждающей конструкции с толщиной δ_i , м.

Сопротивление теплопередаче всей толщины конструкции (Таблица 1, столбец 7) рассчитывалось по формуле:

$$R_{к,i} = \frac{\tau_{в,i} - \tau_{н,i}}{q_i}, \quad (3)$$

где $\tau_{в,i}, \tau_{н,i}$ — температуры на внутренней и наружной поверхности ограждения выделенных участков; q_i — тепловой поток, проходящий через выделенный участок.

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции вычислялось по формуле [3]:

$$R^{мп} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^n R_{к,i} + \frac{1}{\alpha_{н}}. \quad (4)$$

Таблица 1. Результаты расчета теплотехнических характеристик исследуемого участка ограждающей конструкции при наличии участка локального снижения толщины утеплителя

№ п/п	q_i , Вт/м ²	$T_{в,i}$, °С	$T_{н,i}$, °С	$T_{ут,i}$, °С	$T_{ут,i}^{теор}$, °С	$R_{к,i}$, (м ² ·°С)/Вт	S_i , м ²	$a_i = \frac{S_i}{S}$	$R_{к,i}a_i$
1	14,40	20,998	-31,999	18,028	16,9	3,68	0,280	0,024	0,089
2	16,18	20,377	-31,999	16,536	16,9	3,24	0,360	0,031	0,100
3	16,23	20,999	-31,999	15,542	1,6	3,27	0,160	0,014	0,045
4	16,15	20,996	-31,999	15,167	-14,9	3,28	0,060	0,005	0,017
5	12,33	20,891	-31,999	5,413	1,6	4,29	1,440	0,124	0,531
6	13,08	20,960	-31,999	17,131	17,6	4,05	0,510	0,044	0,177
7	13,09	20,961	-31,990	17,141	17,6	4,04	0,510	0,044	0,177
8	11,08	20,968	-32,000	9,604	4,2	4,78	3,720	0,320	1,528
9	11,84	20,998	-31,999	15,879	17,6	4,48	0,213	0,018	0,082
10	912,00	20,891	-31,960	Не определено	Не вычислено	0,06	3,500	0,301	0,017
11	12,45	20,995	-31,999	16,207	-12,2	4,26	0,046	0,004	0,017
12	12,55	20,493	-31,999	17,362	17,6	4,18	0,338	0,029	0,121
13	12,41	20,999	-31,999	15,193	4,2	4,27	0,122	0,010	0,045
14	5,17	20,986	-31,999	-8,300	-0,4	10,25	0,120	0,010	0,106
15	2,91	20,970	-32,000	-11,414	2,4	18,20	0,111	0,010	0,174
14а	1,50	20,943	-32,000	-27,908	18,0	35,34	0,080	0,007	0,243
15а	0,90	20,946	-32,000	-26,578	18,6	59,16	0,070	0,006	0,356
Итого:							11,64	1,00	3,824

Примечания: S_i , м² — площадь элемента конструкции; $a_i = S_i/S$ — доля площади элемента от общей площади фрагмента.

Результаты расчета даны в Таблице 1.

Приведенное сопротивление теплопередаче исследуемого участка ограждающей конструкции, рассчитанное по формуле (4), равно 3,982 (м²·°С)/Вт.

Основное сопротивление теплопередаче наружного ограждения вычислялось по формуле [3] для участка глухой стены с толщиной утеплителя 150 мм:

$$R^{усл} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,041} + \frac{0,25}{0,16} + \frac{1}{23} = 5,379 \frac{м^2 \cdot °С}{Вт} \quad (5)$$

Коэффициент теплотехнической неоднородности исследуемого участка стены [11]:

$$r = \frac{R^{пр}}{R^{усл}} = \frac{3,982}{5,379} = 0,738. \quad (6)$$

Анализ результатов расчета теплотехнических характеристик исследуемого участка ограждающих конструкций показал, что участки наружных стен, имеющие разные коэффициенты теплопроводности, оказывают взаимное влияние друг на друга и на общее теплотехническое состояние конструкции. Рассматривая температуру на внутренней поверхности утеплителя, можно сделать количественные выводы об этом влиянии. Так, температура на поверхности материалов с низким коэффициентом теплопроводности при учете их взаимного влияния друг на друга оказалась значительно выше расчетной температуры на этих участках. Для железобетонных элементов (перемычка и плита перекрытия) температура, полученная при учете взаимного влияния материалов, и расчетная температура незначительно отличаются. Температуры элементов, граничащих с окном, наоборот, оказались значительно ниже расчетных. Низкая температура четвертей, выполненных из утеплителя, обусловлена влиянием холодного наружного воздуха, что не учитывается в теоретическом расчете. Температура материала монтажного зазора по периметру окна также оказалась значитель-

но ниже в случае учета взаимного влияния материалов, а именно, граничащей с ним четверти из утеплителя. Анализ общего температурного поля рассматриваемого участка конструкции с учетом взаимного влияния температурных полей каждого элемента ограждения на соседние участки важен для оценки положения плоскости нулевых температур, а именно, выявления участков промерзания несущих элементов ограждения, которое может привести к их постепенному разрушению, и выявления возможных мест конденсации водяного пара в толще ограждения. На представленном примере видно, что области монтажных швов по периметру окна заслуживают дополнительного внимания при проектировании оконных конструкций и узлов крепления конструкции окна к наружному ограждению. С другой стороны, на участке, расположенном между плитой перекрытия и верхней гранью нижележащего окна, плоскость нулевых температур проходит в слое утеплителя и находится значительно ближе к наружной стороне ограждения при учете взаимного влияния температурных полей соседних материалов друг на друга, чем это можно было предположить при поэлементном расчете конструкции.

В нормативных документах [3] содержится методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания с использованием температурных полей. Результаты расчета исследуемого участка ограждающей конструкции здания по методике, предложенной в [3], приведены в Таблице 2. Для возможности сравнения результатов расчета указанного фрагмента по методике расчета, предлагаемой в [3], и методике расчета, представленной в данном исследовании, рассчитаны удельные потери теплоты по формуле (Е.3) [3] $U_i = 1/R_{к,i}$ для значений сопротивлений теплопередаче каждого отдельного слоя ограждающей конструкции, данных в Таблице 1.

В Таблице 2 представлены результаты расчета теплотехнических характеристик исследуемого участка ограждающей конструкции, в котором не учитывались теплотери через конструкцию окна согласно Приложению Н [3], и результаты, полученные с учетом тепло-

Таблица 2. Результаты расчета теплотехнических характеристик исследуемого участка ограждающей конструкции при наличии участка локального снижения толщины утеплителя, полученные по методике [4]

№ п/п	Удельный геометрический показатель		Результаты, полученные расчетом, представленным в [4]			Результаты, полученные по методике, представленной в данном исследовании			
			Удельные потери теплоты, Вт/(м·°C)	Удельный поток теплоты $U_{i,r}$ обусловленный элементом, Вт/(м·°C)		$R_{k,i}$ (м²·°C)/Вт	Удельные потери теплоты, Вт/(м·°C)	Удельный поток теплоты $U_{i,r}$ обусловленный элементом, Вт/(м·°C)	
	Без учета окна	С учетом окна		Без учета окна	С учетом окна			Без учета окна	С учетом окна
1	0,034	0,024	0,318	0,011	0,008	3,68	0,271	0,009	0,007
2	0,044	0,031	0,318	0,014	0,010	3,24	0,309	0,014	0,010
3	0,02	0,014	0,215	0,004	0,003	3,27	0,305	0,006	0,004
4	0,007	0,005	0,111	0,001	0,001	3,28	0,305	0,002	0,002
5	0,177	0,124	0,215	0,038	0,027	4,29	0,233	0,041	0,029
6	0,062	0,044	0,259	0,016	0,011	4,05	0,247	0,015	0,011
7	0,062	0,044	0,259	0,016	0,011	4,04	0,248	0,015	0,011
8	0,458	0,319	0,189	0,087	0,060	4,78	0,209	0,096	0,067
9	0,026	0,018	0,259	0,007	0,005	4,48	0,226	0,006	0,004
10	—	0,301	1,114	—	0,335	0,06	16,667	—	5,011
11	0,006	0,004	0,189	0,001	0,001	4,26	0,235	0,001	0,001
12	0,042	0,029	0,259	0,011	0,008	4,18	0,239	0,010	0,007
13	0,015	0,010	0,103	0,002	0,001	4,27	0,234	0,004	0,002
14	$\frac{0,516 \text{ м}^{-1}}{0,013}$	$\frac{0,516 \text{ м}^{-1}}{0,009}$	0,026	0,013	0,013	10,25	0,098	0,001	0,0009
15	$\frac{0,430 \text{ м}^{-1}}{0,011}$	$\frac{0,430 \text{ м}^{-1}}{0,009}$	0,026	0,011	0,011	18,20	0,055	0,001	0,0005
14а	$\frac{0,491 \text{ м}^{-1}}{0,012}$	$\frac{0,491 \text{ м}^{-1}}{0,008}$	0,026	0,013	0,013	35,34	0,028	0,0003	0,0002
15а	$\frac{0,430 \text{ м}^{-1}}{0,011}$	$\frac{0,430 \text{ м}^{-1}}{0,008}$	0,026	0,011	0,011	59,16	0,017	0,0002	0,0001
Итого:				0,256	0,527			0,222	5,166
$R_{k,i}$ (м²·°C)/Вт				3,906				4,504	
г				0,724				0,834	

Примечание. Для пунктов 14, 15, 14а, 15а удельный геометрический показатель в числителе указан для расчета, как для линейного элемента, в знаменателе — как для плоского (расчет по температурному полю).

потерь через конструкцию окна. Численные значения явно показывают существенное различие в результатах, полученных по методике, рекомендуемой [3], и представленной в данном исследовании методике в случае, когда теплопотери через окно включались в расчет. С другой стороны, в случае, когда теплопотери через окно не учитывались, итоговые значения сопротивлений теплопередаче конструкции сравнимы между собой и отличаются на 1,9%. Несмотря на существенное различие теплопотерь через светопрозрачную конструкцию, расчет с ее учетом показал более близкие значения удельного потока теплоты через остальные конструкции, нежели в расчете, где теплопотери через окно не учитывались. Важно заметить, что потери тепла через светопрозрачные конструкции оказывают значительное влияние на теплоэффективность здания, а учет их в расчете, согласно результатам, представленным в Таблице 2, дает более полное представление о распределении температур и потоков тепла через исследуемый фрагмент конструкции. Иными словами, в случае необходимости детального теплотехнического анализа узлов здания целесообразно проводить расчет конструкции с учетом взаимного влияния всех элементов рассматриваемого участка на общее температурное поле исследуемого фрагмента.

Анализ положения плоскости нулевых температур и температурных полей элементов ограждения важен для недопущения возможного разрушения конструкции

вследствие конденсации водяного пара в толще ограждения и промерзания его конструктивных элементов. С другой стороны, для оценки энергоэффективности наружного ограждения, в частности, и здания в целом важен анализ тепловых потоков, проходящих через наружное ограждение. По результатам в Таблице 1 видно, что наибольшие потери тепла в исследуемом фрагменте ограждения происходят в зоне утепления 120 мм. Подобные локальные участки с меньшей толщиной утепления применяются для придания динамичности фасаду здания и часто являются необходимостью при разработке художественного облика здания. То есть, учет дополнительных потерь тепла через эти участки представляется важной задачей. С анализа взаимного влияния потоков тепла на разных участках фасада на общую энергоэффективность ограждения был рассчитан аналогичный исследуемому фрагменту участок фасада здания, утепленный по всему периметру утеплителем толщиной 150 мм без локальных участков с заниженной толщиной минеральной ваты. Результаты расчета представлены в Таблице 3.

Приведенное сопротивление теплопередаче исследуемого участка ограждающей конструкции, рассчитанное по формуле (4), равно 4,121 (м²·°C)/Вт. Коэффициент теплотехнической неоднородности исследуемого участка стены:

$$r = \frac{R^{np}}{R^{vcl}} = \frac{4,121}{5,397} = 0,764. \quad (7)$$

Таблица 3. Результаты расчета теплотехнических характеристик исследуемого участка ограждающей конструкции без участков локального снижения толщины утеплителя

№ п/п	q_i , Вт/м ²	$T_{в,i}$, °С	$T_{н,i}$, °С	$R_{к,i}$, (м ² ·°С)/Вт	S_i , м ²	$a_i = \frac{S_i}{S}$	$R_{к,i}a_i$
1	10,734	21,000	-32,000	4,94	0,280	0,024	0,119
2	13,190	20,470	-32,000	3,98	0,360	0,031	0,123
3	13,082	21,000	-32,000	4,05	0,160	0,014	0,056
4	13,031	21,000	-32,000	4,07	0,060	0,005	0,021
5	10,313	20,910	-32,000	5,13	1,440	0,124	0,635
6	13,088	20,960	-32,000	4,05	0,510	0,044	0,177
7	13,089	20,960	-32,000	4,05	0,510	0,044	0,177
8	11,118	20,970	-32,000	4,76	3,720	0,320	1,523
9	12,550	21,000	-32,000	4,22	0,213	0,018	0,077
10	911,859	20,890	-31,960	0,06	3,500	0,301	0,017
11	13,181	21,000	-32,000	4,02	0,046	0,004	0,016
12	13,298	20,510	-32,000	3,95	0,338	0,029	0,115
13	13,000	21,000	-32,000	4,08	0,122	0,010	0,043
14	3,440	20,970	-32,000	15,40	0,120	0,010	0,159
15	3,060	20,970	-32,000	17,31	0,111	0,010	0,165
14а	1,400	20,890	-32,000	37,78	0,080	0,007	0,260
15а	1,131	20,950	-32,000	46,82	0,070	0,006	0,282
Итого:					11,64	1,00	3,963

Суммарный тепловой поток через всю площадь исследуемого фрагмента в случае утепления фасада минеральной ватой толщиной 150 мм без локального снижения толщины утепления составил 1 070,564 Вт/м², тогда как суммарный тепловой поток через всю площадь исследуемого фрагмента в случае наличия на фасаде локального снижения толщины утепления до 120 мм – 1 084,261 Вт/м², т. е. разница составила 13,697 Вт/м² или 1,3% от теплотерь через весь участок фасада. Потери тепла через фрагмент наружного ограждения, расположенный между окнами, без снижения толщины утеплителя на этом участке составили 60,350 Вт/м². При снижении на этом участке толщины утепления до значения 120 мм потери тепла составят 72,280 Вт/м². Разница составляет 11,93 Вт/м² или 1,1% от теплотерь через весь исследуемый фрагмент фасада. Сравнение значения тепловых потоков через участки наружного ограждения в обоих исследуемых случаях показывает некоторое изменение характера теплотерь, когда участки ограждения, не лежащие в зоне снижения толщины утеплителя, теряют больше тепла на фрагменте без снижения толщины утепления, чем аналогичные им участки в задаче с наличием локального снижения толщины утепления. Несмотря на то, что в задаче дополнительные потери тепла через исследуемый фрагмент ограждения здания при наличии локального снижения толщины утепления составили 13,697 Вт/м²

или 0,027 ккал/ч, наличие на фасаде здания таких участков локального снижения толщины утеплителя влияет на распределение потоков тепла в ограждающей конструкции и, соответственно, на общую энергоэффективность здания. Их учет не только в процессе разработки проектных решений стадии «П», обязательный для данной стадии проектирования, но и на начальных этапах значим для всех участников проектирования. Исследование вклада указанных участков локального снижения толщины утепления на общую теплотехническую характеристику здания представляет научный интерес и будет продолжено далее.

Заключение

Исследование теплотехнического состояния фрагментов фасадов зданий показало наличие взаимного влияния элементов наружного ограждения на общее состояние конструкции и на температурные поля расположенных рядом элементов ограждения. Кроме того, показано отличие результатов, полученных при использовании различных методик расчета: методики поэлементного расчета, предложенной в действующей нормативной документации, и методики расчета, рассматривающей температурное поле исследуемой конструкции в целом. Результаты позволяют сделать следующие выводы:

1 Теплотехническое состояние элементов, составляющих наружное ограждение здания, оказывает взаимное влияние на соседние элемен-

ты и на теплотехническое состояние ограждения в целом:

- температура на поверхности материалов с низким коэффициентом теплопроводности при учете их взаимного влияния друг на друга оказалась значительно выше расчетной температуры на этих участках;
- для элементов с высоким коэффициентом теплопроводности температура, полученная при учете взаимного влияния материалов, и расчетная температура незначительно отличаются друг от друга;
- температуры частей конструкции, граничащих с элементом, через который проходит тепловой поток высокой интенсивности, оказались значительно ниже расчетных температур.

2 Расчет температурного поля ограждающей конструкции, учитывающий совокупное действие температурных полей всех элементов ее составляющих, позволяет учесть при проектировании тепловой защиты зданий влияние элементов конструкции на теплотехническое состояние соседних с ним элементов, т. е. получить более полное представление о температурном поле проектируемой конструкции, что не представляется возможным при использовании поэлементного расчета, предложенного в действующих нормативных документах.

3 Участки локального снижения толщины утеплителя оказывают влияние на теплотехническое состояние ограждающей конструкции и энергоэффективность здания в целом, их наличие должно учитываться на начальных этапах проектирования (эскизный проект) при разработке фасадных решений.

4 Влияние участков с локальным снижением толщины утеплителя на теплотехническое состояние исследуемой конструкции неоднозначно, так как при их наличии наблюдается перераспределение потоков тепла в конструкции, когда участки ограждения, не лежащие в зоне снижения толщины утеплителя, теряют меньше тепла, чем аналогичные им участки в задаче без снижения толщины утеплителя. Данный факт говорит о необходимости учета взаимной работы элементов ограждения при его проектировании.

5 Оценка характера влияния участков с локальным снижением толщины утеплителя на фасаде здания представляет практический и научный интерес и должна быть проработана в последующих исследованиях.

Список использованной литературы

- [1] Головнев С. Г., Русанов А. Е. Оценка влияния архитектурно-планировочных решений гражданских зданий на энергоэффективность // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2012. — № 4. — С. 74–76.
- [2] Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для неэнергетических специальностей вузов. — М.: Изд-во «Высшая школа», 1975. — 496 с.
- [3] СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с изм. № 1, 2). — М.: Минрегион России, 2012. — 95 с.
- [4] Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. — М.: Стройиздат, 1973. — 287 с.
- [5] Kahsay M. T., Bitsuamlak G., Tariku F. Effect of localized exterior convective heat transfer on high-rise building energy consumption // *Build. Simul.* — 2020. — Vol. 13. — P. 127–139. — URL: <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0568-7>.
- [6] Kahsay M. T., Bitsuamlak G. T., Tariku F. Effect of window configurations on its convective heat transfer rate // *Building and Environment.* — 2020. — Vol. 182. — P. 107139. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107139>.
- [7] Kempton L., Kokogiannakis G., Green A., Cooper P. Evaluation of thermal bridging mitigation techniques and impact of calculation methods for lightweight steel frame external wall systems // *J. of Building Engineering.* — 2021. — Vol. 43. — P. 102893. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102893>.
- [8] Luo C., Moghtaderi B., Hands S., Page A. Determining the thermal capacitance, conductivity and the convective heat transfer coefficient of a brick wall by annually monitored temperatures and total heat fluxes // *Energy and Buildings.* — 2011. — Vol. 43, Iss. 2–3. — P. 379–385. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.030>.
- [9] Papadaki N., Papantoniou S., Kolokotsa D. A parametric study of the energy performance of double-skin façades in climatic conditions of Crete, Greece // *International Journal of Low-Carbon Technologies.* — 2014, December. — Vol. 9, Iss. 4. — P. 296–304. — URL: <https://doi.org/10.1093/ijlct/cts078>.
- [10] Parra J., Guardo A., Egusquiza E., Alavedra P. Thermal Performance of Ventilated Double Skin Façades with Venetian Blinds // *Energies.* — 2015. — Vol. 8. — P. 4882–4898. — URL: <https://doi.org/10.3390/en8064882>.
- [11] Rusanov A. E., Baiburin A. Kh., Baiburin D. A., Bianco V. Heat loss from defects of hinged facade systems of buildings // *Magazine of Civil Engineering.* — 2020. — No. 3 (95). — P. 57–65.
- [12] Sabouri S. Energy efficiency and thermal comfort influences of alternatives of single skin façade (SSF) and double skin façade (DSF) in tropical bungalow house // *International Journal of the Physical Sciences.* — 2012. — Vol. 7 (9). — P. 1493–1508. — URL: <https://doi.org/10.5897/IJPS11.1236>.
- [3] SP 50.13330.2012 Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 23-02-2003 (s izm. № 1, 2). — М.: Минрегион России, 2012. — 95 с.
- [4] Fokin K. F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchih chastej zdaniy. — М.: Strojizdat, 1973. — 287 s.
- [5] Kahsay M. T., Bitsuamlak G., Tariku F. Effect of localized exterior convective heat transfer on high-rise building energy consumption // *Build. Simul.* — 2020. — Vol. 13. — P. 127–139. — URL: <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0568-7>.
- [6] Kahsay M. T., Bitsuamlak G. T., Tariku F. Effect of window configurations on its convective heat transfer rate // *Building and Environment.* — 2020. — Vol. 182. — P. 107139. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107139>.
- [7] Kempton L., Kokogiannakis G., Green A., Cooper P. Evaluation of thermal bridging mitigation techniques and impact of calculation methods for lightweight steel frame external wall systems // *J. of Building Engineering.* — 2021. — Vol. 43. — P. 102893. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102893>.
- [8] Luo C., Moghtaderi B., Hands S., Page A. Determining the thermal capacitance, conductivity and the convective heat transfer coefficient of a brick wall by annually monitored temperatures and total heat fluxes // *Energy and Buildings.* — 2011. — Vol. 43, Iss. 2–3. — P. 379–385. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.030>.
- [9] Papadaki N., Papantoniou S., Kolokotsa D. A parametric study of the energy performance of double-skin façades in climatic conditions of Crete, Greece // *International Journal of Low-Carbon Technologies.* — 2014, December. — Vol. 9, Iss. 4. — P. 296–304. — URL: <https://doi.org/10.1093/ijlct/cts078>.
- [10] Parra J., Guardo A., Egusquiza E., Alavedra P. Thermal Performance of Ventilated Double Skin Façades with Venetian Blinds // *Energies.* — 2015. — Vol. 8. — P. 4882–4898. — URL: <https://doi.org/10.3390/en8064882>.
- [11] Rusanov A. E., Baiburin A. Kh., Baiburin D. A., Bianco V. Heat loss from defects of hinged facade systems of buildings // *Magazine of Civil Engineering.* — 2020. — No. 3 (95). — P. 57–65.
- [12] Sabouri S. Energy efficiency and thermal comfort influences of alternatives of single skin façade (SSF) and double skin façade (DSF) in tropical bungalow house // *International Journal of the Physical Sciences.* — 2012. — Vol. 7 (9). — P. 1493–1508. — URL: <https://doi.org/10.5897/IJPS11.1236>.

Статья поступила в редакцию 05.04.2023.

Опубликована 30.06.2023.

Vedishcheva Yulia S.

Leading Architect, «Institute of Planning, Architecture and Design» LLC, Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: botan1@inbox.ru
ORCID ID: 0009-0009-4994-6810

Belyaeva Zoya V.

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department, Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: z.v.beliaeva@urfu.ru
ORCID ID: 0000-0001-7807-7102

References

- [1] Golovnev S. G., Rusanov A. E. Ocenka vliyaniya arhitekturno-planirovochnyh reshenij grazhdanskikh zdaniy na energoeffektivnost' // *Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN.* — 2012. — № 4. — С. 74–76.
- [2] Nashchokin V. V. Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha: ucheb. posobie dlya neenergeticheskikh special'nostej vuzov. — М.: Izd-vo «Vysshaya shkola», 1975. — 496 s.