Сравнение эффективности схем утепления в системах навесных вентилируемых фасадов

А.Е.Елохов, «Институт пассивного дома», Москва

А.А.Верховский, ИЦ «Фасады СПК» НИИСФ РААСН, Москва

В.А.Борисов, «PAROC», Москва

В статье рассмотрены проблемы, связанные с качеством монтажа утепления навесных вентилируемых фасадов, и, в первую очередь, связанные с зазорами между теплоизоляционными плитами. В соответствии с СТО НОСТРОЙ 2.14.67-2012 «Навесные фасадные системы с воздушным зазором. Работы по устройству. Общие требования к производству и контролю работ» допустимая величина незаполненного шва составляет 2 мм. В реальности добиться требуемой ширины зазора между плитами просто невозможно, а на однослойных схемах утепления возникают дополнительные повышенные теплопотери. Произведена оценка влияния зазоров между плитами теплоизоляции на приведённое сопротивление теплопередаче наружной стены с системой навесного вентилируемого фасада с использованием российской и европейской методик расчёта. Расчёты проведены согласно СП 50.13330.2012, СП 230.1325800.2015 и EN ISO 6946. Для анализа приняты две конструкции наружной стены – из монолитного железобетона и кладки из газобетонных блоков – и три варианта утепления: однослойное и два двухслойных. Предложены оптимальные варианты теплоизоляции и типы оснований для крепления теплоизоляции. Рассмотрены три типа воздушных прослоек согласно EN ISO 6946 и взят в расчёты третий тип – сильно вентилируемая прослойка. Представлены результаты расчётов двумерных температурных полей, линейных коэффициентов теплопередачи, коэффициентов теплотехнической однородности и приведённых сопротивлений теплопередачи для 16 вариантов сочетаний зазоров в теплоизоляции и оснований.

Ключевые слова: зазоры между теплоизоляцией, приведённое сопротивление теплопередаче, коэффициент теплотехнической однородности, навесной вентилируемый фасад, расчёты двумерных температурных полей.

Efficiency Comparison of Thermal Insulation Schemes in the Hinged Ventilated Facades Systems

A.E.Elokhov, "Passive House Institute", Moscow

A.A.Verkhovskiy, IC "Fasady SPK" NIISF RAACS, Moscow

V.A.Borisov, "PAROC", Moscow

The article deals with the problems associated with the quality of thermal insulation mounting in hinged ventilated facades, and first of all associated with the gaps between thermal insulation panels. According to STO NOSTROY 2.14.67-2012 "Hinged facade systems with air gap. Work on the installation. General requirements for the production and

control of work" the acceptable value of the unfilled seam is 2 mm. In reality, it is impossible to achieve the required width of the gap between the plates, and additional heat losses appear on single-layer thermal insulation schemes. The influence of the gaps between thermal insulation plates on the reduced total thermal resistance of the external wall with the hinged ventilated facade system is estimated using Russian and European calculation methods. The calculations were made in accordance with SP 50.13330.2012, SP 230.1325800.2015 and EN ISO 6946. Two outer wall constructions made of monolithic reinforced concrete and masonry from aerated concrete blocks and three options for insulation – single-layered and two double-layered – were adopted for the analysis. Optimal variants of thermal insulation and types of bases for fixing thermal insulation are offered. Three types of air layers are reviewed according to EN ISO 6946, and the third type – highly ventilated layer – is taken to calculations. The results of calculations of two-dimensional temperature fields, linear heat transfer coefficients, heat transfer performance uniformity factors and reduced total thermal resistances for 16 combinations of gaps in thermal insulation and bases are presented.

Keywords: gaps between thermal insulation, reduced total thermal resistance, heat transfer performance uniformity factor, hinged ventilated facade, calculations of two-dimensional temperature fields.

Система навесных вентилируемых фасадов известна достаточно давно и в настоящее время широко применяется при строительстве новых и реконструкции уже существующих зданий с различной областью назначения. Успешному развитию данных систем в России способствовали высокие эксплуатационные характеристики присущие данному типу строительных конструкций, а также повышение нормативов по энергопотреблению зданий и возросшие требования к уровню комфорта и качеству жизни. По результатам 2017 года общее количество тендеров по устройству вентилируемых фасадов составляло 16% от общего денежного объёма заявок на проведение строительства и капитальных ремонтов, а площадь фасадов утеплённых с помощью систем навесных вентилируемых фасадов составила около 20 млн кв. метров.

Вентилируемые фасады – это многослойная ограждающая конструкция, в устройстве которой заранее предусмотрен воздушный зазор между теплоизоляцией и наружной деко-

ративно-защитной облицовкой. Воздух, беспрепятственно циркулирующий внутри зазора, способствует вентиляции внутренних слоёв системы и выводу влаги, скопившейся в процессе эксплуатации, тем самым обеспечивается оптимальный влажностный баланс внутри конструкции, что существенно повышает срок эксплуатации строительных конструкций и сохраняет их теплотехнические характеристики.

В качестве теплоизоляционного слоя в системах навесных вентилируемых фасадов применяются минераловатные теплоизоляционные плиты. Данный тип теплоизоляции идеально подходит для данной ограждающей конструкции, так как обладает низкой теплопроводностью, устойчивостью к перепадам температуры и высокой паропроницаемостью, что позволяет в полной мере раскрыть потенциал вентилируемой воздушной прослойки. Также характерными чертами минеральной ваты являются её негорючесть и способность плотно прилегать к утепляемой поверхности и элементам подсистемы, что является обязательным требованием, предъявляемым к теплоизоляции в данном классе фасадных конструкций. В навесных фасадных системах может применяться однослойная или двухслойная схема утепления.

Как показывает практика, проблемы, связанные с эксплуатацией систем навесных вентилируемых фасадов, как правило, вызваны ошибками в проектировании, выборе компонентов и монтаже системы. Качество монтажа системы навесного вентилируемого фасада во всех отношениях является «краеугольным камнем», влияющим на работоспособность и отказоустойчивость системы в целом. Одной из наиболее значимых проблем в монтаже элементов подсистемы вентилируемого фасада является качество монтажа теплоизоляции. При кажущейся незначительности неправильно смонтированная теплоизоляция может свести к нулю эффект от установки навесного вентилируемого фасада, потому что в первую очередь данное решение направлено на защиту ограждающих конструкций от негативного воздействия окружающей среды и только потом рассматривается как способ исполнения дизайнерских и архитектурных задач.

Рис. 1. Примеры некачественного монтажа теплоизоляции в НВФ, зазоры между теплоизоляционными плитами составляют от 5 до 15 мм

Теплоизоляционные плиты должны устанавливаться вплотную друг к другу с заполнением (при необходимости) зазоров между ними этим же материалом. Только тогда достигается максимальный эффект от теплоизоляционного слоя. Зазоры между плитами будут являться тепловыми мостами, понижающими термическое сопротивление ограждающей конструкции, так как холодный воздух, постоянно циркулируя в воздушной прослойке, способствует эмиссии тепла через стыки плит теплоизоляции. В виду того, что общая протяжённость подобных стыков на фасаде – это достаточно значимая величина, то она будет оказывать существенное негативное влияние на эффективность утепления.

К сожалению, качеству установки теплоизоляции не всегда уделяется должное внимание, и, как следствие, монтаж происходит с существенными нарушениями. В соответствии с СТО НОСТРОЙ 2.14.67-2012 «Навесные фасадные системы с воздушным зазором. Работы по устройству. Общие требования к производству и контролю работ» допустимая величина незаполненного шва составляет 2 мм. В реальности добиться требуемой ширины зазора между плитами просто невозможно. Иногда это происходит не по вине монтажников, так как приходится утеплять неровные поверхности и добиться необходимого качества стыков невозможно. В связи с этим в России рекомендуется применять двухслойную схему установки теплоизоляции, когда плиты наружного слоя перекрывают стыки внутреннего, таким способом удаётся избежать образования тепловых мостов, вызванных зазорами между плитами утеплителя. К сожалению, пытаясь сэкономить, некоторые заказчики выбирают однослойную схему утепления, так как считается, что она несколько дешевле в сравнении с двухслойной из-за меньшего количества работ. Но насколько оправдана эта экономия?

Авторами статьи было проведено исследование оценки различных схем утепления и влияния зазоров между плитами теплоизоляции в однослойном и двухслойном исполнении на приведённое сопротивление теплопередаче навесных фасадных систем с воздушным зазором и на коэффициент теплотехнической однородности. Для этого проводились расчёты двумерных температурных полей.

Расчёты проводились в соответствии с требованиями российских и европейских нормативов:

- СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»;
- СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий характеристики теплотехнических неоднородностей»;
- DIN EN ISO 6946 «Теплостойкость и коэффициент теплопередачи».

В качестве утепляемых стен были приняты основания из:

- монолитного железобетона толщиной 160 мм;
- газобетонных блоков D500 толщиной 300 мм с цементно-песчаной штукатуркой толщиной 20 мм с внутренней стороны.

Для теплоизоляции применялись:

- однослойное решение: минеральная вата толщиной 120 мм;

– двухслойное решение:

верх Paroc WAS35 30 мм, низ Paroc WAS120 90 мм;

верх Paroc WAS35 50 мм, низ Paroc WAS120 70 мм.

В расчётах, согласно DIN EN ISO 6946, сопротивления теплоотдаче наружной и внутренней поверхностей принимаются в зависимости от типа вентилируемой прослойки между конструкцией стены и отделкой фасада. Настоящий стандарт рассматривает три типа данных прослоек: замкнутая воздушная прослойка, слабо вентилируемая воздушная прослойка, сильно вентилируемая воздушная прослойка.

Замкнутой воздушной прослойкой считается прослойка, если площадь отверстий, сообщающихся с наружным воздухом, менее 500 мм² на 1 пог. м длины (в горизонтальном направлении) вертикальной конструкции (для вертикальных воздушных слоёв) или на 1 м² площади горизонтальной конструкции (для горизонтальных воздушных слоёв).

Слабо вентилируемой воздушной прослойкой считается прослойка, если площадь отверстий, сообщающихся с наружным воздухом, находится в диапазоне 500–1500 мм² на 1 пог. м длины (в горизонтальном направлении) вертикальной конструкции (для вертикальных воздушных слоёв) или на 1 м² площади горизонтальной конструкции (для горизонтальных воздушных слоёв).

Сильно вентилируемой воздушной прослойкой считается прослойка с площадью отверстий, сообщающихся с наружным

воздухом, свыше 1500 мм² на 1 пог. м длины вертикальной конструкции или на 1 м² площади горизонтальной конструкции.

Как было описано выше, согласно нормативным требованиям СТО НОСТРОЙ 2.14.67-2012 допустимая величина незаполненного шва составляет 2 мм.

При размере плит 1000×600 мм, площадь расчётного фрагмента – 0,6 м², в таком случае длина зазоров в расчётном фрагменте составляет 1,6 м. При увеличении площади расчётного фрагмента до 1 м² получим длину зазоров 2,67 м.

Таким образом, площадь отверстий, сообщающихся с наружным воздухом равна $S = 2670 \times 2 = 5340 \text{ мм}^2$.

В данном случае с учётом отделки фасада для коэффициентов теплоотдачи принимается вариант 3 – сильно вентилируемая прослойка, соответственно, согласно DIN EN ISO 6946: $R_{se} = R_{si} = 0,13 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Рис. 3. Замкнутая воздушная прослойка (невентилируемая воздушная прослойка)

Рис. 4. Слабо вентилируемая воздушная прослойка (незначительно вентилируемая прослойка)

Рис. 5. Сильно вентилируемая воздушная прослойка

Таблица 1. Коэффициенты теплопроводности используемых материалов

Наименование	$\lambda \text{ [Вт/(м}^\circ\text{C)]}$
Цементно-песчаная штукатурка	0,930
Газобетон	0,132
Монолитный железобетон	2,040
Paroc WAS35	0,038
Paroc WAS120	0,041
Минеральная вата	0,040

Таблица 2. Расчётные условия по СП 50.13330.2012

№ пп.	Наименование расчётных параметров	Обозначение параметра	Ед. изм.	Расчётное значение
1	Расчётная температура наружного воздуха	t_n	°C	–25
2	Расчётная температура внутреннего воздуха жилых помещений	t_v	°C	+20
3	Сопротивление теплоотдаче наружной поверхности стен	R_{se}	(м ² ·°C)/Вт	0,083
4	Сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности стен, перекрытия	R_{si}	(м ² ·°C)/Вт	0,115

Таблица 3. Расчётные условия по DIN EN ISO 6946

№ пп.	Наименование расчётных параметров	Обозначение параметра	Ед. изм.	Расчётное значение
1	Расчётная температура наружного воздуха	t_n	°C	–25
2	Расчётная температура внутреннего воздуха жилых помещений	t_v	°C	+20
3	Сопротивление теплоотдаче наружной поверхности стен	R_{se}	(м ² ·°C)/Вт	0,13
4	Сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности стен, перекрытия	R_{si}	(м ² ·°C)/Вт	0,13

В качестве ширины зазоров для всех типов утеплений рассмотрены значения между теплоизоляционными плитами со следующими толщинами: 2, 4 и 8 мм, где 2 мм – это максимально допустимый стандартами по монтажу зазор между плитами, а значения 4 и 8 мм взяты для оценки влияния увеличенного зазора на сопротивление теплопередаче.

Полученные расчёты показали, что при однослойном утеплении даже минимально разрешённый зазор в 2 мм приводит к существенному снижению приведённого сопротивления теплопередаче, в то время как двухслойная схема утепления остаётся эффективной. Также необходимо отметить схожесть итогов моделирования, произведённых по российской и европейской методикам, что в свою очередь повышает уровень доверия к полученным результатам.

Таблица 4. Результаты расчётов по СП 50.13330.2012

		Сопротивление теплопередаче: $R_{\text{теп}} / R_{\text{ср}}$, (м ² ·°C)/Вт (коэффициент теплотехнической однородности g)		
Вариант 1	Учёт зазора в теплоизоляции шириной 2 мм	Однослойная минераловатная плита 120 мм	Верх Paroc WAS35 30 мм низ Paroc WAS120 90 мм	Верх Paroc WAS35 50 мм низ Paroc WAS120 70 мм
Основание	Монолитный ж/б 160 мм	3,277 / 1,451 ($g = 0,443$)	3,261 / 3,075 ($g = 0,943$)	3,300 / 2,985 ($g = 0,905$)
	Кладка из газобетонных блоков D500 300 мм + внутр. ц/п штукатурка 20 мм	5,493 / 3,333 ($g = 0,607$)	5,477 / 5,287 ($g = 0,965$)	5,516 / 5,188 ($g = 0,941$)
Вариант 2	Учёт зазора в теплоизоляции шириной 4 мм	Однослойная минераловатная плита 120 мм	Верх Paroc WAS35 30 мм низ Paroc WAS120 90 мм	Верх Paroc WAS35 50 мм низ Paroc WAS120 70 мм
Основание	Монолитный ж/б 160 мм	3,277 / 1,364 ($g = 0,416$)	3,261 / 3,008 ($g = 0,922$)	3,300 / 2,939 ($g = 0,891$)
	Кладка из газобетонных блоков D500 300 мм + внутр. ц/п штукатурка 20 мм	5,493 / 3,210 ($g = 0,584$)	5,477 / 5,224 ($g = 0,954$)	5,516 / 5,142 ($g = 0,932$)
Вариант 3	Учёт зазора в теплоизоляции шириной 8 мм	Однослойная минераловатная плита 120 мм	Верх Paroc WAS35 30 мм низ Paroc WAS120 90 мм	Верх Paroc WAS35 50 мм низ Paroc WAS120 70 мм
Основание	Монолитный ж/б 160 мм	3,277 / 1,222 ($g = 0,373$)	3,261 / 2,894 ($g = 0,887$)	3,300 / 2,851 ($g = 0,864$)
	Кладка из газобетонных блоков D500 300 мм + внутр. ц/п штукатурка 20 мм	5,493 / 3,004 ($g = 0,547$)	5,477 / 5,120 ($g = 0,935$)	5,516 / 5,066 ($g = 0,919$)

Таблица 3. Результаты расчётов по DIN EN ISO 6946

		Сопротивление теплопередаче: $R_{\text{теп}} / R_{\text{ср}}$, (м ² ·°C)/Вт (коэффициент теплотехнической однородности g)		
Вариант 1	Учет зазора в теплоизоляции шириной 2 мм	Однослойная минераловатная плита 120 мм	Верх Paroc WAS35 30 мм низ Paroc WAS120 90 мм	Верх Paroc WAS35 50 мм низ Paroc WAS120 70 мм
Основание	Монолитный ж/б 160 мм	3,338 / 1,599 ($g = 0,479$)	3,323 / 3,135 ($g = 0,943$)	3,362 / 3,049 ($g = 0,907$)
	Кладка из газобетонных блоков D500 300 мм + внутр. ц/п штукатурка 20 мм	5,554 / 3,524 ($g = 0,634$)	5,539 / 5,348 ($g = 0,965$)	5,557 / 5,250 ($g = 0,941$)
Вариант 2	Учет зазора в теплоизоляции шириной 4 мм	Однослойная минераловатная плита 120 мм	Верх Paroc WAS35 30 мм низ Paroc WAS120 90 мм	Верх Paroc WAS35 50 мм низ Paroc WAS120 70 мм
Основание	Монолитный ж/б 160 мм	3,338 / 1,530 ($g = 0,458$)	3,323 / 3,069 ($g = 0,923$)	3,362 / 3,004 ($g = 0,893$)
	Кладка из газобетонных блоков D500 300 мм + внутр. ц/п штукатурка 20 мм	5,554 / 3,428 ($g = 0,617$)	5,539 / 5,287 ($g = 0,954$)	5,557 / 5,207 ($g = 0,934$)
Вариант 3	Учет зазора в теплоизоляции шириной 8 мм	Однослойная минераловатная плита 120 мм	Верх Paroc WAS35 30 мм низ Paroc WAS120 90 мм	Верх Paroc WAS35 50 мм низ Paroc WAS120 70 мм
Основание	Монолитный ж/б 160 мм	3,338 / 1,409 ($g = 0,422$)	3,323 / 2,957 ($g = 0,890$)	3,362 / 2,917 ($g = 0,868$)
	Кладка из газобетонных блоков D500 300 мм + внутр. ц/п штукатурка 20 мм	5,554 / 3,258 ($g = 0,587$)	5,539 / 5,183 ($g = 0,936$)	5,557 / 5,133 ($g = 0,920$)

Согласно полученным моделям, самым эффективным вариантом утепления оказалось двухслойное решение Верх Paroc WAS35 30 мм, низ Paroc WAS120 90 мм. Такой вывод объясняется тем, что зазоры, образуемые краями плит теплоизоляции нижнего слоя толщиной 90 мм, перекрыты верхним ветрозащитным слоем толщиной 30 мм, являются замкнутой воздушной прослойкой с низкой теплопроводностью (теплопроводность воздушной прослойки зависит от ширины зазора). В данном случае нижний слой имеет максимальную толщину и минимальное влияние от наружного воздуха в зазорах теплоизоляции.

На примере результатов расчётов по DIN EN ISO 6946 представим несколько иллюстраций расчётов. Все расчёты двумерных температурных полей были произведены в программном комплексе HEAT2.

Проведённые расчёты позволяют сделать однозначный вывод, что применение однослойной теплоизоляции в навесных фасадных системах с вентилируемой воздушной прослойкой не является эффективным. При наличии даже минимально допустимой ширины шва в 2 мм снижение

Рис. 6. Схема расчётного фрагмента монослойного утепления фасада

Эскиз ограждающей конструкции	Расчетный фрагмент ограждающей конструкции (красная рамка)	R_{se} , (м ² ·°C)/Вт	R_{si} , (м ² ·°C)/Вт
		0,13	0,13

Рис. 7. Расчётный фрагмент и краевые условия согласно третьему типу (сильно вентилируемая воздушная прослойка)

приведённого сопротивления теплопередаче фрагмента фасада с основанием из железобетона может достигать 52–55%. Для достижения максимального эффекта от утепления зазоров быть не должно. В реальности при однослойной схеме утепления, добиться этого можно только одним способом – заделкой швов однородным материалом, что приведёт в конечном итоге к удорожанию работ по уте-

Рис. 8. Узел № 1. Учёт зазора в теплоизоляции шириной 2 мм с основанием из монолитного железобетона. Вариант 1

плению и, как следствие, нецелесообразности применения подобной схемы утепления.

В свою очередь, двухслойная система утепления сохраняет свою эффективность даже в условиях монтажа теплоизоляции с зазорами, превышающими допустимое стандартами значение. Что делает её оптимальной для применения в условиях российской действительности.

Рис. 11. Узел № 2. Учёт зазора в теплоизоляции шириной 2 мм с основанием из монолитного железобетона. Вариант 2

Рис. 9. Расчётная модель применяемых материалов для узла № 1

Рис. 12. Расчётная модель применяемых материалов для узла № 2

Рис. 10. Расчётная модель с изотермами и коэффициентом Ψ для узла № 1

Рис. 13. Расчётная модель с изотермами и коэффициентом Ψ для узла № 2

Литература

1. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» / НИИСФ РААСН. – М., 2012. – 95 с.
2. СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» / НИИСФ РААСН. – М., 2015. – 93 с.
3. DIN EN ISO 6946 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method (ISO 6946:2007); German version EN ISO 6946:2007.
4. ГОСТ Р 57356-2016/EN ISO 6946:2007 «Конструкции ограждающие строительные и их элементы. Метод расчёта сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи».
5. СТО НОСТРОЙ 2.14.67-2012 «Навесные фасадные системы с воздушным зазором. Работы по устройству. Общие требования к производству и контролю работ». – М., 2012.
6. *Верховский, А.А.* Особенности применения наружных ограждающих конструкций в холодных климатических условиях / А.А. Верховский, Н.П. Умнякова // Budownictwo o Zoptymalizowanym Potensjale Energetycznym (Строительство на основе оптимизации энергетического потенциала). – 2017. – № 2 (20). – С. 129–134.
7. *Гагарин, В. Г.* Расчёт сопротивления теплопередаче фасадов с вентилируемым воздушным зазором / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Строительные материалы. – 2004. – № 7. – С. 8–9.
8. *Гагарин, В.Г.* О комплексном показателе тепловой защиты оболочки здания / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // АВОВ: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2010. – № 4. – С. 52–61.
9. *Гагарин В.Г.* О нормировании теплопотерь через оболочку здания / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 279–286.
10. *Гагарин, В.Г.* Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Жилищное строительство. – 2011. – № 8. – С. 2–6.
11. *Гагарин, В.Г.* О нормировании теплозащиты и требованиях расхода энергии на отопление и вентиляцию в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – Выпуск 31 (50). – Часть 2. Строительные науки. – 2013. – С. 468–474.
12. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 / Н. П. Умнякова, В.Г. Гагарин, В.В. Козлов [и др.]. – М.: Стандартинформ, 2012.
13. *Голубев, С.С.* Расчёт приведённого сопротивления теплопередаче трёхслойной стеновой панели / С.С. Голубев, В.А. Личман // Жилищное строительство. – 2012. – № 7. С. 13–15.
14. *Васильев, Г.П.* Результаты определений сопротивления теплопередаче наружных стеновых панелей / Г.П. Васильев, В.А. Личман, С.С. Голубев // АВОВ: Вентиляция, отопление,

кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2012. – № 4. – С. 74–78.

15. *Васильев, Г.П.* Теплотехнические испытания кладок из различных строительных материалов / Г.П. Васильев, Я.Я. Жолобецкий, В.А. Личман // Энергосбережение. – 2016. – № 3–3. – С. 48–61.

Literatura

1. SP 50.13330.2012 «Teplovaya zashhita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003» / NIISF RAASN. – М., 2012. – 95 s.
2. SP 230.1325800.2015 «Konstruktsii ograzhdayushhie zdaniy. Harakteristiki teplotehnikeskikh neodnorodnostey» / NIISF RAASN. – М., 2015. – 93 s.
4. GOST R 57356-2016/EN ISO 6946:2007 «Konstruktsii ograzhdayushhie stroitel'nye i ih elementy. Metod rascheta soprotivleniya teploperedache i koeffitsienta teploperedachi».
5. SТО NOSTROY 2.14.67-2012 «Navesnye fasadnye sistemy s vozdushnym zazorom. Raboty po ustroystvu. Obshhie trebovaniya k proizvodstvu i kontrolyu rabot». – М., 2012.
6. *Verhovskiy A.A.* Osobennosti primeneniya naruzhnykh ograzhdayushhih konstruktsiy v holodnykh klimaticheskikh usloviyah / A.A. Verhovskiy, N.P. Umnyakova // Budownictwo o Zoptymalizowanym Potensjale Energetycznym (Stroitel'stvo na osnove optimizatsii energeticheskogo potentsiala). – 2017. – № 2 (20). – S. 129–134.
7. *Gagarin V.G.* Raschet soprotivleniya teploperedache fasadov s ventiliruемым vozdushnym zazorom / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Stroitel'nye materialy. – 2004. – № 7. – S. 8–9.
8. *Gagarin V.G.* O kompleksnom pokazatele teplovoy zashhity obolochki zdaniya / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika. – 2010. – № 4. – S. 52–61.
9. *Gagarin V.G.* O normirovanii teplopoter' cherez obolochku zdaniya / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – 2010. – № 3. – S. 279–286.
10. *Gagarin V.G.* Trebovaniya k teplozashhite i energeticheskoy effektivnosti v proekte aktualizirovannogo SNiP «Teplovaya zashhita zdaniy» / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2011. – № 8. – S. 2–6.
11. *Gagarin V.G.* O normirovanii teplozashhity i trebovaniyah raskhoda energii na otoplenie i ventilyatsiyu v proekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP «Teplovaya zashhita zdaniy» / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2013. – Vypusk 31 (50). – Chast' 2. Stroitel'nye nauki. – 2013. – S. 468–474.
12. SP 50.13330.2012. Teplovaya zashhita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003 / N.P. Umnyakova, V.G. Gagarin, V.V. Kozlov [i dr.]. – М.: Standartinform, 2012.
13. *Golubev S.S.* Raschet privedennogo soprotivleniya teploperedache trehsloynoy stenovoy paneli / S.S. Golubev, V.A. Lichman // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2012. – № 7. S. 13–15.

14. *Vasil'ev G.P.* Rezul'taty opredeleniy soprotivleniya teploperedache naruzhnyh stenovyh paneley / G.P. Vasil'ev, V.A. Lichman, S.S. Golubev // AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika. – 2012. – № 4. – S. 74–78.

15. *Vasil'ev G.P.* Teplotekhnicheskie ispytaniya kladok iz razlichnyh stroitel'nyh materialov / G.P. Vasil'ev, Ya.Ya. Zholobetskiy, V.A. Lichman // Energoberezhenie. – 2016. – № 3–3. – S. 48–61.

Елохов Александр Евгеньевич, 1980 г.р. (Москва). Аспирант «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Директор «Института пассивного дома» (117405, Москва, ул. Кирпичные выемки, 2, корп. 1, 4-й подъезд, 4-й этаж, офис 407). Сфера научных интересов: энергоэффективное и пассивное домостроение, энергоэффективная реконструкция старого жилого фонда. Автор более 10 научных публикаций. Тел.: +7 (499) 723-77-24. E-mail: alex_elokhov@mail.ru, info@passiv-rus.ru.

Верховский Алексей Адольфович, 1969 г.р. (Москва). Кандидат технических наук. Главный научный сотрудник, руководитель ИЦ «Фасады СПК» «НИИСФ РААСН» (127238, Москва, Локомотивный пр., 21). Сфера научных интересов: светопрозрачные фасадные конструкции, тепломассообмен, энергоэффективность. Автор более 70 научных публикаций. Тел.: +7 (499) 488-66-25. E-mail: v2508@rambler.ru.

Борисов Виталий Анатольевич, 1980 г.р. (Москва). Руководитель направления «Техническое развитие» в компании «PAROC» в России (127473, Москва, ул. Краснопролетарская, 30, стр. 1). Сфера научных интересов: эффективное использование теплоизоляционных материалов. Тел.: +7 (800) 770-78-48, +7 (919) 052-34-14. E-mail: vitaliy.borisov@paroc.com.

Elokhov Aleksandr Evgenyevich, born in 1981 (Moscow). Graduate of Ural Federal University. Director of "Passive House Institute" (of. 407 2-1 Kirpichnye Vyemki st., Moscow, 117405). Sphere of scientific interests: energy-efficient and passive house construction, energy-efficient reconstruction of the old housing stock. The author of more than 10 scientific publications. Tel./fax: +7 (499) 723-77-24. E-mail: alex_elokhov@mail.ru, info@passiv-rus.ru; www.passiv-rus.ru.

Verkhovskiy Alexey Adolfovich, born in 1969 (Moscow). Candidate of Technical Sciences. Chief researcher, head of IC "Fasady SPK" at the Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21 Lokomotivny proezd, Moscow, 127238. NIISF RAACS). Sphere of scientific interests: translucent facade constructions, heat-mass exchange, energy efficiency. The author of more than 70 scientific publications. Tel.: +7 (495) 482-40-76. E-mail: v2508@rambler.ru.

Borisov Vitaliy Anatolyevich, born in 1980 (Moscow). Head of Technical Development Department of company "PAROC" in Russia (30-1, Krasnoproletarskaya st., Moscow, 127473). Sphere of scientific interests: effective use of thermal insulation materials. Tel.: +7 (800) 770-78-48, +7 (919) 052-34-14. E-mail: vitaliy.borisov@paroc.com