ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКОННЫХ БЛОКОВ ИЗ ПВХ ПРОФИЛЕЙ

КОНСТАНТИНОВ А.П.¹, ВЕРХОВСКИЙ А.А.²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена вопросу изучения теплотехнических характеристик современных оконных блоков из ПВХ профилей при отрицательных температурах наружного воздуха, а также оценке их соответствия требованиям действующих нормативных документов. Для исследования были отобраны типовые конструкции оконных блоков, массового применяемые в строительстве.

Лабораторные испытания показали, что под воздействием перепада температур наружного и внутреннего воздуха, соответствующего зимним условиям эксплуатации, профильные элементы оконных блоков приобретают значительные деформации. Температурные деформации профилей ПВХ, а также снижение эластичности уплотнительных прокладок приводят к снижению теплозащитных качеств оконных блоков. Эффект проявляется в повышении их воздухопроницаемости, а также в снижении температур на внутренних поверхностях их профильных элементов. Это приводит не только к повышению инфильтрационных теплопотерь через данный класс светопрозрачных конструкций, но и нарушению нормируемых параметров микроклимата в помещении. Установленный экспериментальным методом эффект снижения теплотехнических характеристик оконных блоков из ПВХ профилей при отрицательных температурах наружного воздуха не учитывается существующими методиками расчета, что говорит об необходимости их корректировки.

Ключевые слова: окна ПВХ, оконные блоки из ПВХ профилей, воздухопроницаемость, инфильтрационные теплопотери, тепловая защита, энергоэффективность

INFLUENCE OF NEGATIVE TEMPERATURES ON THE THERMAL CHARACTERISTICS OF PVC WINDOWS

KONSTANTINOV A.P.¹, VERKHOVSKY A.A.²

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²Research Institute of Building Physics of the RAACS, Moscow, Russia

Abstract. The experimental studies of thermal characteristics of PVC windows at negative temperatures of the outside air are performed. The experimental studies results are compared with the requirements of regulatory documents and existing calculation methods of infiltration heat loss through the windows.

The laboratory tests show, that under the influence of the temperature difference of the external and internal air (in winter) window profiles get large deformation. The temperature deformation of PVC profiles and window gaskets elasticity degradation lead to a violation of the window thermal characteristics. The effect is to increase the windows air permeability and reduce the temperature on the inner surfaces of their profile elements. This leads to an increase in infiltration heat loss through the windows and violation of the normal microclimate parameters in the room. The established effect of reducing the PVC windows thermal characteristics at negative outside air temperatures is not taken into account by the existing calculation methods.

Keywords: PVC windows, air permeability, infiltration heat loss, thermal protection, energy efficiency

Введение

Ключевая особенность современной отечественной оконной отрасли заключается в том, что она базируется на применении оконных систем, изначально разработанных для климатических условий стран Западной Европы (Германии, Австрии и др.) [1-3]. При этом в настоящее время еще не разработаны специализированные и обязательные к применению отечественные нормативные документы, комплексно регламентирующие правила расчета и проектирования оконных конструкций для климатических условий РФ [4]. В сложившейся ситуации при назначении конструктивного решения окон специалисты строительной отрасли руководствуются только положениями отдельных отечественных нормативных документов, затрагивающих лишь некоторые вопросы проектирования окон, а также вынуждены использовать европейские методики расчета и лабораторные методы определения эксплуатационных характеристик подобных конструкций. Однако более чем 25-ти летний опыт применения современных типов окон в климатических условиях России отчетливо показывает негативные стороны данного подхода. Это проявляется, прежде всего, в появлении типовых проблем с окнами на стадии эксплуатации объектов строительства (например, сложности при открывании-закрывании створок для проветривания помещений, повышенной инфильтрации через окна, появлении конденсата и наледи на внутренних поверхностях профильных элементов в зимнее время и пр.) Особенно наглядно это проявляется в случае оконных блоков из ПВХ профилей, которые находят в настоящее время наибольшее применение в массовом жилищном строительстве.

Климатические условия России характеризуются значительно более низкими зимними эксплуатационными температурами наружного воздуха по сравнению со странами Западной Европы. Поэтому для России одной из актуальных научных и инженерных задач, требующей решения, является изучение особенностей работы оконных блоков ПВХ в качестве ограждающих элементов здания при отрицательных температурах наружного воздуха. Причем данная задача связана с исследованием не только самих теплотехнических характеристики оконных блоков, но также требует изучения влияния отрицательных температур наружного воздуха на напряженно-деформированное состояние подобных конструкций. Исследование данного вопроса является актуальным ввиду следующих предпосылок:

- существующего подхода к проектированию окон, при котором наибольшее внимание уделяется вопросам обеспечения их энергосберегающих характеристик, исходя из зимних условий эксплуатации;
- текущего повышения нормативных требований к сопротивлению теплопередаче окон (с введением изменения № 1 СП 50.13330), вынуждающего уже сейчас закладывать в проекты профильные системы ПВХ с повышенной монтажной шириной, которые более подвержены температурным деформациям;
- современных тенденций в архитектуре, связанных с широким использованием даже в объектах массового строительства крупноформатных оконных блоков из ПВХ профилей.

Стоит отметить, что к настоящему моменту уже проведено некоторое количество исследований по данному вопросу. В частности, были рассмотрены теоретические предпосылки влияния эксплуатационных температур и солнечной радиации на деформации профильных элементов оконных блоков [5-7]. Проводились исследования по оценке величины температурных деформаций оконных блоков ПВХ под действием температурных нагрузок [8]. В нескольких работах проведены исследования воздухопроницаемости оконных блоков ПВХ при отрицательных температурах наружного воздуха [9-12]. Они показали, что при снижении температур наружного воздуха наблюдается повышение воздухопроницаемости оконных блоков. В тоже время в данных работах не проведено их сравнение с нормируемыми эксплуатационными показателями, что не позволяет использовать полученные результаты в существующей инженерной практике.

Современные оконные блоки из ПВХ профилей являются сложными, многокомпонентными конструкциями, их основные эксплуатационные характеристики зависят от внешних

климатических условий (совместного действия ветровых нагрузок, температур наружного воздуха, солнечной радиации и пр.) и не являются постоянными. В условиях отсутствия системных исследований особенностей их работы в различных расчетных ситуациях, в действующие методики расчета самих окон, а также в методики расчета по смежным дисциплинам закладываются упрощенные модели окон, которые не в полной мере отражают реальную физическую природу их работы.

Рассмотрим для примера действующую методику расчета энергетического паспорта зданий, регламентированную одним из ключевых в отечественной системе нормирования документе - СП 50.13330. Согласно данной методике при расчете инфильтрационных теплопотерь через окна используются не фактические, а нормируемые значения сопротивления воздухопроницанию окон. При этом, заложенные в методику нормируемые значения в несколько раз выше фактических показателей современных оконных конструкций [13]. Данное обстоятельство сказывается не только на точности расчета теплобаланса зданий, но и приводит к существенному ухудшению микроклимата помещений на стадии эксплуатации (недостаточная кратность воздухообмена, превышение нормируемой температуры воздуха внутри помещений) [14,15]. Очевидно, что для решения данных проблем необходимо закладывать в расчетах либо фактические характеристики воздухопроницаемости окон с учетом влияния отрицательных температур, либо хотя бы изменить нормативные значения воздухопроницаемости окон на значения, отвечающие современному уровню развития оконной отрасли. В тоже время, решение данной проблемы требует не только проведения соответствующих научных исследований, но также разработки и внедрение в практику новых методик испытаний светопрозрачных конструкций на воздухопроницаемость при отрицательных температурах.

В рамках данной работы авторы ставят перед собой задачу по оценке соблюдения нормативных требований СП 50.13330 современными оконными блоками ПВХ, а также анализу соответствия заложенных в СП 50.13330 методик расчета теплотехнических параметров окон с учетом их фактической работы при отрицательных температурах наружного воздуха, соответствующих условиям различных климатических регионов России.

Модели и методы

Одной из ключевых теплотехнических характеристик окон является их воздухопроницаемость. Существующие лабораторные методы определения воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций, используемые в отечественной и европейской инженерной практике, базируются на проведении испытаний при стандартных условиях (т.е. при комнатной температуре воздуха $T_b=20\pm4^{\circ}\text{C}$). К настоящему времени в инженерную практику еще не внедрены методы испытания воздухопроницаемости окон при отрицательных температурах. Это связано с рядом технических сложностей по созданию в рабочей камере стенда избыточного давления воздуха, охлажденного до необходимой температуры. Некоторыми исследователями делались попытки проведения подобных испытаний на стандартных испытательных стендах, предназначенных для определения воздухопроницаемости окон [12]. Для этого стенды были дооснащены климатическими установками, которые охлаждали воздух рабочей камеры до необходимой температуры. Однако, ввиду конструктивных особенностей стенда, определение показателей воздухопроницаемости окон производилось за счет нагнетания теплого воздуха из лабораторного помещения. По мнению авторов, данный подход не является корректным, т.к. показатели воздухопроницаемости окон значительно зависят от физических параметров воздуха (его температуры, плотности, вязкости и пр.), проходящего через конструкцию.

Кроме того, существенное влияние на корректность получаемых экспериментальных результатов влияет стационарный режим проведения испытаний. Добиться стационарного процесса предлагаемым методом сложно, а зачастую технически невозможно. Очевидно, что подобный метод испытания окон на воздухопроницаемость при отрицательных температурах может быть использован только проведения оценочных измерений. Поэтому для реализации поставленных задач авторы использовали специальную методику, разработанную специали-

стами ФГБУ НИИСФ РААСН (см. патент на изобретение №2445610 «Способ определения воздухопроницаемости строительных ограждающих конструкций»).

В основу предлагаемого авторами экспериментального метода лежит первоначальное достижение заведомо стационарного теплотехнического процесса в климатической камере и установление стационарных условий как с точки зрения климатического воздействия, так и установившихся напряженно-деформированных состояний конструкций.

Исследование влияния наружных отрицательных температур воздуха на деформации и теплотехнические характеристики оконных блоков ПВХ проводились в лабораторных условиях на базе испытательного центра «Фасады СПК» ФГБУ НИИСФ РААСН.

Для испытаний были выбраны три двухстворчатых оконных блока из ПВХ профилей с различной монтажной шириной коробки – 70 мм, 82 мм и 86 мм. Оконный блок (далее оконный блок №1) с монтажной шириной коробки 70 мм имел два контура уплотнения, оконные блоки с монтажной шириной коробки 82 мм (далее оконный блок №2) и 86 мм (далее оконный блок №3) имели соответственно три и два контура уплотнения. Оконные блоки имели типовые габаритные размеры, применяемые в массовом жилищном строительстве. Габаритные размеры первых двух блоков составляли $H \times B = 1,40 \times 1,20$ м, а последнего $H \times B = 1,47 \times 1,47$ м. Рама каждого оконного блока была разделена по середине вертикальным импостом. Каждый из оконных блоков имел глухую часть, а также одну открывающуюся поворотно-откидную створку.

Перед проведением основного объема лабораторных исследований каждый оконный блок был испытан на воздухопроницаемость и сопротивление ветровой нагрузке при перепадах давлений воздуха в диапазоне -1500 Па ...+1500 Па. Испытания выполнялись на стационарном стенде для испытаний на воздухо- водопроницаемость и сопротивление ветровой нагрузке ВВВ-2008.

Лабораторные исследования оконных блоков проводились в климатической камере КТК-2009. Климатическая камера состояла из двух отсеков («холодного» и «теплого»), разделенных теплоизолированной перегородкой с проемом для монтажа оконного блока. Для измерения воздухопроницаемости оконных блоков климатическая камера было дооборудована приставным стендом с воздушным нагнетателем давления, смонтированным со стороны «теплого» отсека, а также расходомером воздуха, установленным в «холодном» отсеке.

Закрепление оконных блоков, а также устройство узлов примыкания к проему теплоизолированной перегородки выполнялось с учетом требований действующих нормативных документов на монтаж подобных конструкций (ГОСТ 30971-2012).

Исследования деформаций и теплотехнических характеристик оконных блоков выполнялось в следующей последовательности:

1. Определение воздухопроницаемости смонтированного оконного блока при комнатной температуре воздуха $T_{в}=+20$ °С и сопоставление полученных значений с результатами испытаний на стенде для испытаний на воздухо-, водопроницаемость и сопротивление ветровой нагрузке.

2. Установка датчиков линейных перемещений, датчиков измерения температуры и тепловых потоков на профильные элементы оконных блоков (раму, импост, створки).

3. Вывод «холодного» отсека на заданную отрицательную температуру воздуха и достижение стационарного режима.

4. Измерение контролируемых параметров оконных блоков при установившемся стационарном режиме: деформаций профильных элементов оконных блоков; температур и тепловых потоков на наружной и внутренней поверхности профильных элементов.

5. Измерение воздухопроницаемости оконных блоков и деформаций его профильных элементов при заданной отрицательной температуре внутри «холодного» отсека. Данные измерения проводились при перепадах давлений воздуха между «холодным» и «теплым» отсеком в 50 Па.

Указанные в пп. 3-5 действия были выполнены для каждого исследуемого оконного блока при следующих температурах воздуха в «холодном» отсеке: -5 °С, -15 °С, -25 °С, -35 °С, -45 °С для первых двух оконных блоков, а также при температурах -20 °С, -28 °С, -40 °С и -50 °С для третьего оконного блока. При этом в «теплом» отсеке постоянно поддерживалась температура воздуха +20 °С.

Общий вид климатической камеры с установленным оконным блоком и средствами измерений представлен на рисунке 1.

а)

б)

Рисунок 1 – Общий вид климатической камеры с установленным оконным блоком в ходе исследований теплотехнических характеристик: а) Внешний вид испытываемого оконного блока, б) Внешний вид установки для измерения воздухопроницаемости

Результаты исследования и их анализ

Согласно СП 50.13330 подбор требуемого конструктивного решения окон производится исходя из обеспечения следующих параметров:

- нормируемого значения сопротивления теплопередаче оконных блоков (п. 5.2);
- нормируемых температур на внутренней поверхности оконных блоков (п. 5.7);
- нормируемого значения сопротивления воздухопроницанию оконных блоков (п. 7.5).

Оценим соблюдение данных параметров для испытанных оконных блоков, а также проведем анализ заложенных в СП 50.13330 методик определения теплотехнических характеристик окон на предмет соответствия фактическим условиям работы подобных конструкций.

Вопрос определения сопротивления теплопередаче оконных блоков в рамках данной работы не рассматривался, т.к. данный теплотехнический параметр определяется не только характеристиками профильных элементов, но и конструкций стеклопакета (формулой стеклопакета, типом дистанционной рамки и пр.). В рамках данной работы исследовались оконные блоки с профильными элементами с декларируемым приведенным сопротивлением теплопередаче комбинации «рама+створка» не менее 0,78 ($\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{С}$)/Вт, 1,06 и 0,94 ($\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{С}$)/Вт (для оконных блоков №1, 2 и 3 соответственно). Очевидно, что при использовании стеклопакета с соот-

ветствующими теплотехническими характеристиками, фактическое приведенное сопротивление теплопередаче данных оконных блоков будет соответствовать нормативным требованиям.

Испытания показали, что для оконного блока №1 при температуре наружного воздуха $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура на внутренней поверхности нижнего бруска рамы опускалась ниже нормативных значений, определяемых согласно п. 5.7 СП 50.13330 (см. рисунок 2). Для оконных блоков № 2 и №3 данное явление наблюдалось уже при температуре наружного воздуха $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно. Причиной нарушения теплозащитных качеств испытанных оконных блоков являются деформации их профильных элементов (рам, створок), а также снижение эластичности уплотнительных прокладок под действием отрицательных температур наружного воздуха.

Рисунок 2 – Распределение температур на внутренней поверхности профильных элементов оконного блока №1 при различных температурах наружного воздуха

В тоже время, расчет указанного узла (для оконного блока 1) в программном комплексе численного моделирования двухмерных температурных полей Flixo 6 показал, что нормируемая температура на внутренней поверхности нижнего бруска оконного блока обеспечивается (см. рисунок 3). Исходя из этого можно говорить о том, что применяемые в настоящее время в инженерной практике численные методы расчета двухмерных температурных полей узлов примыкания оконных блоков к проемам наружных стен могут использоваться только для качественной оценки проектных решений [17]. Это связано с использованием упрощенной модели расчета, не учитывающей как изменение геометрии профильных элементов оконных блоков и эксплуатационных характеристик применяемых материалов (эластичности уплотнительных прокладок, прочностных характеристик ПВХ и пр.), так и инфильтрацию воздуха через технологические отверстия, а также неплотности, появляющиеся при воздействии температурных перепадов.

Рисунок 3 – Результаты расчета двумерных температурных полей нижнего узла примыкания оконного блока №1

ПВХ профилей, измеренная при отрицательных температурах наружного воздуха, в большинстве случаев оказалась ниже нормируемых значений ($5,0 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) для ПВХ согласно таблице 9 СП 50.13330) (см. таблицу 2). При этом измерения проводились при перепаде давлений 50 Па ввиду того, что при перепаде давления 10 Па, для которого назначается нормированное значение поперечной воздухопроницаемости окон согласно методике СП 50.13330, воздухопроницаемость оконных блоков была близка к нулевому значению.

Таблица 1 – Результаты определения деформаций импоста оконного блока №1 при различных температурах наружного воздуха и значениях ветрового давления

Температурные деформации импоста оконного блока при различных температурах воздуха в «холодном» отсеке				
T=-5 °C	T=-15 °C	T=-25 °C	T=-35 °C	T=-45 °C
0,92	1,39	1,67	2,30	2,66
Деформации импоста оконного блока при различных значениях ветрового давления и температуре T=20°C				
ΔP=500 Па	ΔP=750 Па	ΔP=900 Па	ΔP=1200 Па	ΔP=1500 Па
0,98	1,46	1,75	2,33	2,90

Таблица 2 – Результаты определения поперечной воздухопроницаемости оконных блоков, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, при перепаде давления воздуха 50 Па и различных температурах воздуха в «холодном» отсеке климатической камеры

Оконный блок №1				
T=+20°C	T=-5°C	T=-15°C	T=-25°C	T=-35°C
0,36	2,52	5,08	5,38	7,00
Оконный блок №2				
T=+20°C	T=-5°C	T=-15°C	T=-25°C	
0,18	1,65	2,53	3,50	
Оконный блок №3				
T=+24°C	T=0°C	T=-20°C	T=-28°C	T=-50°C
0,06	1,09	2,55	3,43	4,97

Дополнительным фактором, влияющим на сходимость расчетных и экспериментальных результатов, может быть отличие коэффициента теплоотдачи внутренней поверхности, принимаемого в расчетной модели от реальных значений, существенно зависящих от геометрии узла примыкания.

Измерения температурных деформаций импостов оконных блоков при различных температурах наружного воздуха показали, что они могут достигать существенных значений, сопоставимых с деформациями от ветровой нагрузки (см. таблицу 1). Исходя из этого можно сделать вывод, что применяемый в настоящее время в инженерной практике подход к расчету жесткостных показателей импостов оконных блоков, учитывающий действие только ветрового давления [18,19], нуждается в корректировке.

Фактическая поперечная воздухопроницаемость испытуемых оконных блоков из

Учитывая тот факт, что в существующей инженерной практике воздухопроницаемость оконных блоков определяют в большинстве случаев начиная с испытательного давления 50 Па, авторы считают целесообразным проведение корректировки нормативных значений и алгоритмов расчета воздухопроницаемости оконных блоков в существующей методике СП 50.13330 под этим перепад давления.

Выводы

Лабораторные исследования теплотехнических характеристик современных оконных блоков ПВХ при отрицательных температурах наружного воздуха в диапазоне от -5 °С до -50 °С, соответствующих большинству климатических регионов РФ, также сравнение полученных результатов с требованиями действующих нормативных документов показали следующее:

1. Фактическая поперечная воздухопроницаемость современных оконных блоков из ПВХ профилей, изготовленных с учетом рекомендаций производителей профильных элементов и фурнитуры, определенная при отрицательных температурах наружного воздуха не превысила нормируемых значений СП 50.13330. Поэтому, учитывая текущие тенденции по повышению нормируемых значений приведенного сопротивления теплопередаче окон, а также существующий уровень развития оконных технологий, необходимо также повышать требования к сопротивлению воздухопроницанию окон.

2. Воздухопроницаемость оконных блоков из ПВХ профилей не является постоянной характеристикой, и увеличивается при понижении температуры наружного воздуха (воздухопроницаемость испытанных оконных блоков, измеренная при температуре наружного воздуха соответственно +20 и -25 °С увеличилась в абсолютном значении не менее чем в 15 раз.) Поэтому в действующую методику расчета инфильтрационных потерь через окна, регламентируемую СП 50.13330, и базирующуюся на применении данных о воздухопроницаемости окон при стандартных условиях (+20 °С) необходимо вносить коррективы. Использование новой методики расчета воздухопроницаемости окон, соответствующей реальной физической модели их работы при отрицательных температурах наружного воздуха, позволит увеличить точность проводимых расчетов.

3. Температурные деформации профильных элементов оконных блоков из ПВХ профилей под действием отрицательных температур наружного воздуха значительно снижают теплозащитные качества подобных конструкций. Лабораторные испытания показали, что при формальном обеспечении требований по приведенному сопротивлению теплопередаче оконных блоков их теплозащитные качества были нарушены. Это выразалось в снижении температуры внутренних поверхностей оконных профилей ниже нормируемых значений вследствие их температурных деформаций. В целях исключения подобных ситуаций на практике необходимо разрабатывать и использовать в инженерной практике методы расчета температурных деформаций оконных профилей.

4. Температурные деформации профильных элементов ПВХ, вызванные действием отрицательных температур наружного воздуха, сопоставимы с их деформациями от действия ветровой нагрузки, что говорит о необходимости уточнения существующих методик статического расчета оконных блоков из ПВХ профилей.

Благодарности

Авторы работы выражают глубокую признательность инженеру испытательного центра «Фасады СПК» ФГБУ НИИСФ РААСН Брызгалину В.В. за помощь в организации и проведении лабораторных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борискина И.В., Щуров А.Н., Плотников А.А. Окна для индивидуального строительства. Москва: Функэ Рус. 2013. 320 с.
2. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий. Учебное пособие. Санкт-Петербург: Выбор. 2008. 360 с.
3. Борискина И.В., Шведов Н.В., Плотников А.А. Современные светопрозрачные конструкции гражданских зданий. Справочник проектировщика. Том II Оконные системы из ПВХ. Санкт-Петербург: НИУПЦ «Межрегиональный институт окна». 2005. 320 с.
4. Константинов А.П., Ибрагимов А.М. Комплексный подход к расчету и проектированию светопрозрачных конструкций // Жилищное строительство. 2019. № 1-2. С. 14-17.
5. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 1. Зимние поперечные деформации // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 1-2. С. 6-9.
6. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 2. Летние поперечные деформации // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 3. С. 12-15.
7. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 3. Интенсивность прямого солнечного излучения // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 4. С. 34-38.
8. Елдашов Ю.А., Сесюнин С.Г., Ковров В.Н. Экспериментальное исследование типовых оконных блоков на геометрическую стабильность и приведённое сопротивление теплопередаче от действия тепловых нагрузок // Вестник МГСУ. 2009. №3. С. 146-149.
9. Шеховцов А.В. Воздухопроницаемость оконного блока из ПВХ профилей при действии отрицательных температур // Вестник МГСУ. 2011. № 3-1. С. 263-269.
10. Верховский А.А., Зимин А.Н., Потапов С.С. Применимость современных светопрозрачных ограждающих конструкций для климатических регионов России // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 16-19.
11. Власенко Д. Зима неизбежна. Из окон снова будет дуть. Исследование воздухопроницаемости металлопластикового оконного блока при воздействии отрицательных наружных температур // Светопрозрачные конструкции. 2010. № 4.
12. Кунин Ю.С., Алекперов Р.Г., Потапова Т.В. Зависимость воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций от температурных воздействий. // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С. 114-120.
13. Константинов А.П., Верховский А.А. Воздухопроницаемость современных оконных блоков из ПВХ и алюминия // Жилищное строительство. 2019. № 4. С. 39-45.
14. Дацюк Т.А., Гримитлин А.М. Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций на энергопотребление жилых зданий // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6(65). С. 182-187.
15. Сайфутдинова А.М., Куприянов В.Н. Качественные характеристики воздухообмена жилых помещений и их зависимость от объемно-планировочных и конструктивных решений зданий // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. №1 (27). С. 113-118.
16. Умнякова Н.П., Верховский А.А. Оценка воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2013. № 5. С. 48-53.
17. Козлов В.В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей. Строительство и реконструкция. 2018. № 3 (77). С. 62-74.
18. Константинов А.П. Вопросы расчета оконных блоков из ПВХ на ветровую нагрузку // Перспективы науки. 2018. № 1 (100). С. 26-30.
19. Konstantinov A., Lambias Ratnayake M. Calculation of PVC windows for wind loads in high-rise buildings. E3S Web of Conferences. 2018. Volume 33. 02025. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302025

REFERENCES

1. Boriskina I.V., Shchurov A.N., Plotnikov A.A. Okna dlya individual'nogo stroitel'stva [Windows for individual construction]. Moscow: Funke Rus. 2013. 320 p. (rus)
2. Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zaharov A.V. Proektirovanie sovremennykh okonnykh sistem grazhdanskih zdaniy. Uchebnoe posobie [Design of modern window systems for civil buildings. Text book]. Sankt-Peterburg: Vyor. 2008. 360 p. (rus)
3. Boriskina I.V., Shvedov N.V., A. Plotnikov A.A. Sovremennyye svetoprozrachnyye konstrukcii grazhdanskih zdaniy. Spravochnik proektirovshchika. Tom II Okonnyye sistemy iz PVH [Modern translucent structures of civil buildings. Handbook of the designer. Volume II PVC Window systems]. Sankt-Peterburg: NIUPC «Mezhregional'nyj institut okna». 2012. 320 p. (rus)
4. Konstantinov A.P., Ibragimov A.M. Kompleksnyj podhod k raschetu i proektirovaniyu svetoprozrachnykh konstrukcij [Complex approach to the calculation and design of translucent structures]. Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]. 2019. No.1-2, Pp. 14-17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-14-17> (rus)

5. Kalabin V.A. Ocenka velichiny teplovoj deformacii PVH-profil'ya. Chast' 1. Zimnie poperechnye deformacii [Assessment of PVC profile thermal deformation. Part 1. Winter transverse deformations]. *Svetoprozrachnyye konstrukcii*. 2013. No 1-2. Pp. 6-9. (rus)
6. Kalabin V.A. Ocenka velichiny teplovoj deformacii PVH-profil'ya. Chast' 2. Letnie poperechnye deformacii [Assessment of PVC profile thermal deformation. Part 2. Summer transverse deformations]. *Svetoprozrachnyye konstrukcii*. 2013. No 3. Pp. 12-15. (rus)
7. Kalabin V.A. Ocenka velichiny teplovoj deformacii PVH-profil'ya. Chast' 3. Intensivnost' pryamogo solnechnogo izlucheniya [Assessment of PVC profile thermal deformation. Part 2. Summer transverse deformations]. *Svetoprozrachnyye konstrukcii*. 2013. No 4. Pp. 34-38. (rus)
8. Eldashov Y.A., Sesyunin S.G., Kovrov V.N. Eksperimental'noe issledovanie tipovykh okonnykh blokov na geometricheskuyu stabil'nost' i privydyonnoe soprotivlenie teploperedache ot deystviya [Experimental study of typical window blocks on geometric stability and reduced resistance to heat transfer from the action of thermal loads]. *Vestnik MGSU*. 2009. No 3. Pp. 146-149. (rus)
9. Shekhovtsov A.V. Vozduhopronicaemost' okonnogo bloka iz PVH profilej pri deystvii otricatel'nykh temperatur [Air permeability of an PVC-window when exposed to freezing temperatures]. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3-1. Pp. 263-269. (rus)
10. Verkhovsky A.A., Zimin A.N., Potapov S.S. Primenimost' sovremennykh svetoprozrachnykh ograzhdayushchih konstrukcij dlya klimaticheskikh regio-nov Rossii [The applicability of modern translucent walling for the climatic regions of Russia]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 6. Pp. 16-19. (rus)
11. Vlasenko D. Zima neizbezhna. Iz okon snova budet dut'. Issledovanie vozduhopronica-emosti metalloplastikovogo okonnogo bloka pri vozdeystvii otricatel'nykh naruzhnykh temperatur [Winter is inevitable. The Windows will blow again. Investigation of the air permeability of the metal-plastic window unit under the influence of negative external temperatures]. *Svetoprozrachnyye konstrukcii*. 2010. No 4. (rus)
12. Kunin Y.S., Alekperov R.G., Potapova T.V. Zavisimost' vozduhopronicaemosti svetoprozrachnykh konstrukcij ot temperaturnykh vozdeystvij [Dependence of air permeability of translucent structures on temperature impacts]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2018. No 10. Pp. 114-120. (rus)
13. Konstantinov A.P., Verkhovsky A.A. Vozduhopronicaemost' sovremennykh okonnykh blokov iz PVH i aluminiya [Air permeability of modern pvc and aluminum window blocks]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 4. Pp. 39-45. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-4-39-45> (rus)
14. Datsyuk T.A., Grimitlin A.M. Vliyanie vozduhopronicaemosti ograzhdayushchih konstrukcij na energopotreblenie zhilykh zdaniy [The effect of the enclosing structure air permeability value on the energy consumption of residential building]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No 6(65). Pp. 182-187. (rus)
15. Sayfutdinova A.M., Kupriyanov V.N. Kachestvennye harakteristiki vozduhoobmena zhilykh pomeschenij i ih zavisimost' ot ob'emno-planirovochnykh i konstruktivnykh reshenij zdaniy [Qualitative characteristics of air exchange of premises and their dependence on space-planning and constructive solutions of buildings]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2014. No1 (27). Pp. 113-118. (rus)
16. Umnyakova N.P., Verkhovsky A.A. Ocenka vozduhopronicaemosti ograzhdayushchih konstrukcij zdaniya [Assessment of air permeability of building envelopes]. *AVOK: Ventilyaciya, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2013. No. 5, pp. 48-53. (rus)
17. Kozlov V.V. Voprosy tochnosti rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache i temperaturnykh polej [Accuracy of calculation of the resistant resistance of heat transfer and temperature fields]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. Vol. 77. No. 3. Pp. 62-74. (rus)
18. Konstantinov A.P. Voprosy rascheta okonnykh blokov iz PVH na vetrovuyu nagruzku [Calculation of PVC window blocks for wind load]. *Perspektivy nauki*. 2018. No 1 (100). Pp. 26-30. (rus)
19. Konstantinov A., Lambias Ratnayake M. Calculation of PVC windows for wind loads in high-rise buildings. E3S Web of Conferences. 2018. Volume 33. 02025. DOI: 10.1051/e3sconf/20183302025

Информация об авторах:

Константинов Александр Петрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия, канд. техн. наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений,
E-mail: apkonst@yandex.ru

Верховский Алексей Адольфович

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия,
канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Ограждающие конструкции высотных и уникальных зданий, руководитель испытательного центра «Фасады СПК»
E-mail: v2508@rambler.ru

Information about authors:

Konstantinov Aleksandr P.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., associated prof. of the dep. of design of buildings and structures
E-mail: apkonst@yandex.ru

Verkhovsky Aleksei A.

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., head of department «Tall and unique building envelope», head of testing center «Facades SPK»
E-mail: v2508@rambler.ru