

УДК 692.82

Зависимость воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций от температурных воздействий

Юрий Саулович КУНИН, кандидат технических наук, профессор, директор научно-образовательного центра «Испытания сооружений», e-mail: yskunin@rambler.ru

Рафик Гасанович АЛЕКПЕРОВ, заведующий испытательной лабораторией «Светопрозрачные конструкции и фасадные системы», e-mail: 5187132@mail.ru

Татьяна Владимировна ПОТАПОВА, инженер 2 категории научно-исследовательской лаборатории «Обследование и реконструкция зданий и сооружений», e-mail: any.ptv@mail.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. Воздухопроницаемость является важнейшей характеристикой, влияющей на тепловой баланс помещений и энергоэффективность зданий, и занимает первое место среди причин рекламаций светопрозрачных конструкций (СПК). Существующие методы определения воздухопроницаемости оконных блоков базируются на последовательном создании стационарных перепадов давления и измерении объемных и массовых расходов воздуха, проникающего через образец, с последующим вычислением показателей воздухопроницаемости при положительной температуре ($+20 \pm 3$ °C). Светопрозрачная конструкция рассматривается как статичная, характеристики которой не меняются в процессе эксплуатации. Авторами сформулирована и подтверждена лабораторными испытаниями гипотеза об увеличении воздухопроницаемости СПК с понижением температуры. Это связано, прежде всего, с температурными деформациями профилей коробок и створок и ухудшением эластичности уплотняющих прокладок. Проведены лабораторные испытания ряда образцов оконных блоков, по результатам которых определена зависимость величины воздухопроницаемости от температурных воздействий. Установлено, что зависимость воздухопроницаемости от давления является нелинейной. Предложено ввести дополнительные требования и поправочные коэффициенты для светопрозрачных конструкций при расчете инфильтрации зданий и сооружений. Заложена основа для проведения дальнейших исследований по проблематике влияния климатических нагрузок на свойства материала и деформативность оконных блоков из ПВХ профилей.

Ключевые слова: светопрозрачные конструкции, воздухопроницаемость, окна, срок и условия эксплуатации, температурный режим, перепад давления, герметичность, объемный расход воздуха, инфильтрация.

UDC 692.82

DEPENDENCE OF AIR PERMEABILITY OF TRANSLUCENT STRUCTURES ON TEMPERATURE

Yury S. KUNIN, e-mail: yskunin@rambler.ru

Rafik G. ALEKPEROV, e-mail: 5187132@mail.ru

Tatiana V. POTAPOVA, e-mail: any.ptv@mail.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. *Air permeability is one of the most important characteristics affecting the heat balance and energy efficiency of buildings, and ranks first among the reasons for claims of translucent structures. Existing methods for determination of air permeability of window units are based on sequential creation of stationary pressure differences and measurement of mass and volume air flow rates penetrating the sample, with subsequent calculation of air permeability at positive temperature ($+20\pm 3$ ° C). Translucent structure is considered a static system, characteristics of which do not change during operation period. Postulated and confirmed by laboratory tests is the hypothesis of increase of the translucent structures' air permeability with the decrease of temperature. This is due, first of all, to the temperature deformations of frames and sashes' profiles and deterioration of elasticity of sealing gaskets. Laboratory tests of a number of samples of window units were conducted and dependence of air permeability on temperature determined. Nonlinear dependence of air permeability on pressure is substantiated. Introduction of additional requirements and correction coefficients for translucent structures for the calculation of infiltration of buildings and structures is proposed. The foundation for further research in the field of the impact of climatic loads on properties of materials and the deformation of window units made from PVC profiles is laid.*

Key words: *translucent structures, air permeability, windows, terms and conditions of use, temperature conditions, pressure difference, air tightness, volume air flow rate, air infiltration.*

Анализ российской и зарубежной архитектурно-строительной практики выявил наметившуюся в последние годы тенденцию к увеличению объемов потребления

строительного стекла. Изменились его функциональное назначение и требования, предъявляемые к светопрозрачным конструктивным элементам. Становятся важными не только несущая способность стекла и его декоративные качества, но и особые характеристики и долговечность СПК. Современные светопрозрачные конструкции должны отвечать основным требованиям тепловой защиты зданий. Как следствие, изменяются и правила проектирования зданий. Если раньше, когда площадь оконных конструкций составляла менее 18% от площади помещения, можно было пренебречь потерями воздухопроницаемости за счет неучтенной инфильтрации через окна, то на сегодняшний день, когда СПК могут занимать более 90% площади фасада (рис. 1), необходимо учитывать изменения их характеристик. Основные факторы, влияющие на свойства СПК: климатические нагрузки, условия и срок эксплуатации [9].



Рис 1. Пример зданий, где СПК занимают более 90% общей площади фасада

Увеличение **коэффициента остекленности фасада здания**, определяемого СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» как *отношение площадей светопроемов к суммарной площади наружных ограждающих конструкций фасада здания, включая светопроемы*, заставляет проектировщиков уделять большее внимание свойствам и характеристикам современных светопрозрачных конструкций. Коэффициент остекленности оказывает влияние на энергоэффективность здания [10]. Величина инфильтрации ограждающих

конструкций является важной характеристикой СПК и имеет большое значение для теплоизоляционных свойств фасада и теплового баланса здания.

На сегодняшний день проектировщики рассматривают СПК как **статичную конструкцию**, характеристики которой не меняются в течение временного периода (периода эксплуатационной пригодности), не зависят от климатических воздействий и внутренних изменений в материалах конструкции. Такая парадигма распространяется и на ряд других строительных конструкций, что существенно искажает их действительные характеристики, не позволяя корректно их учитывать и прогнозировать их изменение в зависимости от климатических воздействий и срока эксплуатации. Авторы предлагают рассматривать СПК как конструкцию, характеристики которой являются **динамическими** и зависят от входных значений нагрузок и воздействий, возникающих в процессе функционирования.

Натурные обследования и лабораторные испытания [1], [2], [6], [7] подтверждают достоверность гипотезы о динамической модели СПК. Основные характеристики светопрозрачных конструкций: сопротивление теплопередаче, воздухопроницаемость, водонепроницаемость, устойчивость к ветровым нагрузкам, механическая прочность, эксплуатационная пригодность – зависят от срока, условий эксплуатации и климатических воздействий [8]. Одна из важнейших характеристик СПК – воздухопроницаемость – обязательно учитывается при расчете теплового баланса, оценке энергоэффективности и микроклимата зданий, комфортных условий проживания и работы человека. Анализ статистики отказов (рекламаций) СПК, выявленных при эксплуатации, показал, что изменение характеристики воздухопроницаемости (продувание) преобладает и составляет более 25% от общего объема отказов [9].

Рассмотрим основные термины и определения воздухопроницаемости по ГОСТ 26602.2-99 «Блоки оконные и дверные. Методы определения воздухо- и водопроницаемости» и существующую систему классификации.

- **Воздухопроницаемость объемная Q , $m^3/(ч \cdot m^2)$** , – воздухопроницаемость испытываемого образца, выражаемая отношением объемного расхода воздуха к площади поверхности образца.

При проектировании тепловой защиты здания согласно СП 50.13330.2012 используется массовая воздухопроницаемость.

- **Воздухопроницаемость массовая G , кг/(ч·м²),** – воздухопроницаемость испытываемого образца, выражаемая отношением массового расхода воздуха к площади поверхности образца.

Перевод объемного расхода воздуха Q , м³/ч, в массовый G , кг/ч, производят по формуле

$$G = Q \frac{353}{T}, (1)$$

где T – средняя температура воздуха при испытании, К.

- **Сопротивление воздухопроницанию R , (м²·ч)/кг,** – величина, обратная коэффициенту воздухопроницаемости.

Существующий метод определения воздухопроницаемости СПК базируется на последовательном создании стационарных перепадов давления и измерении объемных расходов воздуха, проникающего через образец, с последующим вычислением показателей воздухопроницаемости и составлением диаграммы зависимости объемной воздухопроницаемости от перепада давления при положительной температуре +20±3 °С.

Лабораторные исследования, выполненные в НИУ МГСУ, выявили, что показатели воздухопроницаемости СПК существенно меняются при понижении температуры до -25±3 °С. В ряде случаев происходит не только значительное ухудшение характеристики воздухопроницаемости, но и понижение класса воздухопроницаемости оконного блока с высшего «А» на более низкий «Б» (рис. 2). Можно сделать вывод, что на этапе эксплуатации СПК в зимний период времени под воздействием температуры происходит изменение класса воздухопроницаемости, что не соответствует заложенным в проекте требованиям.

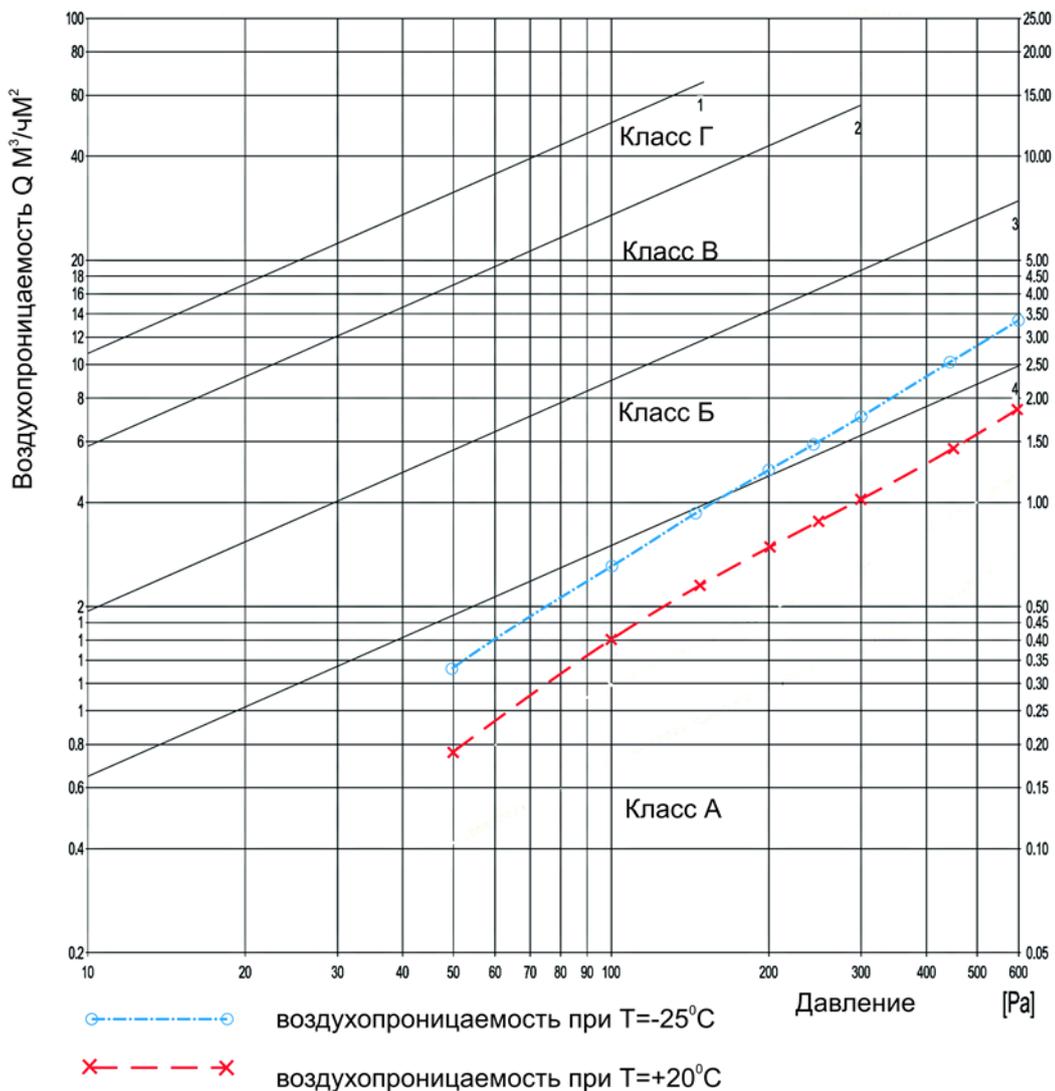


Рис. 2. График зависимости объемной воздухопроницаемости Q , м³/(ч·м²), от давления, Па, иллюстрирующий понижение класса воздухопроницаемости оконной конструкции при отрицательной температуре

Для определения зависимости характеристики воздухопроницаемости СПК от температуры была проведена серия испытаний. Для исследования были отобраны образцы оконных блоков из металлопластиковых профилей различных профильных систем и производителей. Общее количество образцов составило 10 шт. (На данный момент ведутся дальнейшие испытания, и количество выборки будет значительно увеличено).

Испытания проводились на аттестованном оборудовании KS DT 3025/650 (рис. 3) производства немецкой компании K. Schulten GmbH & Co. Данный стенд позволяет с высокой точностью и в широком диапазоне измерять воздухопроницаемость СПК.

Измерения проводились при положительном и отрицательном перепадах давления воздуха. Оконные блоки крепились в стальную раму, изготовленную из профильной трубы сечением 80x80 мм – такой вид крепления позволяет максимально точно смоделировать крепление оконного блока в натуральных условиях, исключить деформации коробок и профилей оконного блока. Перед каждым испытанием проводился контроль герметичности примыкания оконного блока к испытательному стенду. Оборудование и программное обеспечение испытательного стенда позволяют выполнять автоматическое построение диаграмм и таблиц воздухопроницаемости СПК. Испытания проводились по методике ГОСТ 26602.2-99.

Давление на внешнюю сторону оконного блока повышалось ступенчато, время выдержки образца под стационарным давлением на каждой ступени составляло не менее 10 с. На каждой ступени перепада давления замерялся объемный расход воздуха, проходящего через образец. Значения перепадов давления по ступеням при испытании составляли 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450 и 600 Па.

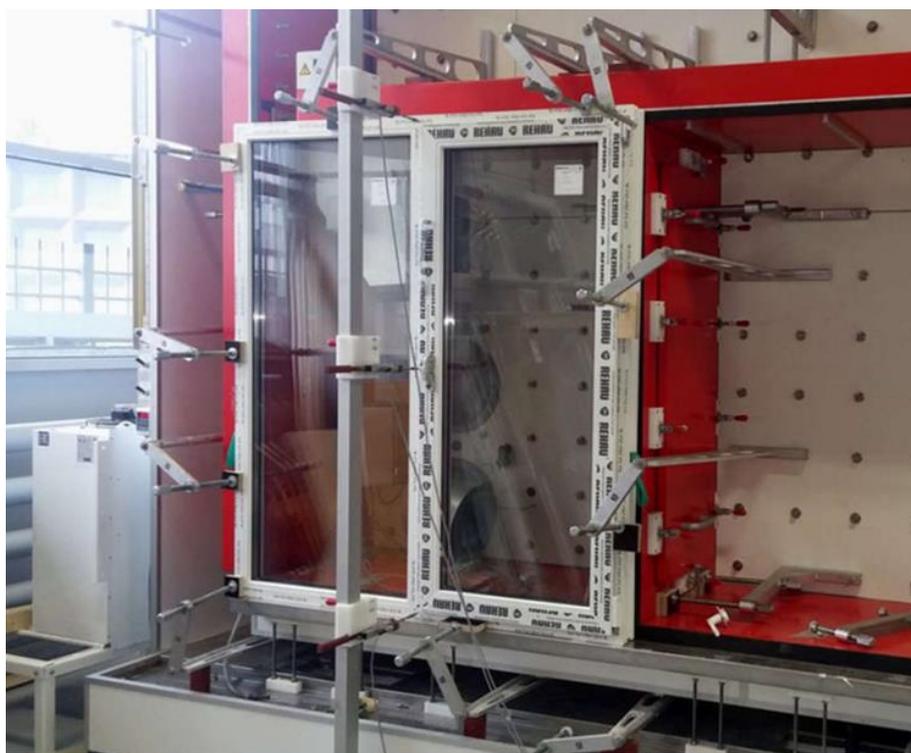


Рис. 3. Испытательный стенд KS DT 3025/650 для определения воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций

По результатам проведения серии испытаний были получены показатели воздухопроницаемости при положительной температуре $+20\pm 3$ °С. Далее каждый образец был кондиционирован в течение 48 часов при температуре -25 ± 3 °С; после

этого были замерены показатели воздухопроницаемости при отрицательной температуре.

При понижении температуры с $+20\pm 3$ °С до -25 ± 3 °С были получены значения изменения воздухопроницаемости ПВХ оконных блоков: среднее значение составило от 22,9% до 36,8% в зависимости от величины давления. Это является существенным изменением характеристики воздухопроницаемости. Результаты испытаний образцов №№1-10 были сведены в табличную форму (таб. 1 и 2) и представлены на графике (рис. 4). Указанный график показывает, что при давлении воздуха более 200 Па линейная зависимость объемной воздухопроницаемости от давления переходит в нелинейную, что не соответствует существующим представлениям.

1. Результаты определения объемной воздухопроницаемости Q , $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$, при положительной $+20\pm 3$ °С и отрицательной -25 ± 3 °С температурах и давлении воздуха от 50 до 600 Па

Р, Па	Образцы														
	№1			№2			№3			№4			№5		
	20=С	-25=С	Δ%	20=С	-25=С	Δ%	20=С	-25=С	Δ%	20=С	-25=С	Δ%	20=С	-25=С	Δ%
50	0,26	0,37	-29,73	0,30	0,46	-34,78	0,47	0,73	-35,62	0,41	0,41	0,00	0,55	0,76	-27,63
100	0,77	0,75	2,67	0,70	0,65	7,69	0,80	1,74	-54,02	0,71	0,89	-20,22	0,95	1,31	-27,48
150	1,01	1,07	-5,61	0,94	0,74	27,03	1,07	2,51	-57,37	0,94	1,28	-26,56	1,28	1,74	-26,44
200	1,20	1,34	-10,45	1,16	1,18	-1,69	1,30	3,14	-58,60	1,16	1,58	-26,58	1,55	2,14	-27,57
250	1,40	1,62	-13,58	1,33	1,42	-6,34	1,55	3,77	-58,89	1,37	1,92	-28,65	1,84	2,50	-26,40
300	1,61	1,87	-13,90	1,50	1,71	-12,28	1,77	4,31	-58,93	1,52	2,22	-31,53	2,07	2,84	-27,11
450	2,18	2,66	-18,05	2,09	2,81	-25,62	2,48	6,17	-59,81	2,19	3,11	-29,58	2,88	3,86	-25,39
600	2,84	3,60	-21,11	2,59	5,03	-48,51	3,19	8,02	-60,22	2,87	4,58	-37,34	3,73	4,81	-22,45

Р, Па	Образцы														
	№6			№7			№8			№9			№10		
	20=С	-25=С	Δ%	20=С	-25=С	Δ%	20=С	-25=С	Δ%	20=С	-25=С	Δ%	20=С	-25=С	Δ%
50	0,24	0,38	-35,93	0,29	0,47	-39,21	0,48	0,45	8,71	0,40	0,42	-4,90	0,51	0,73	-29,89
100	0,72	0,77	-6,39	0,67	0,67	0,37	0,82	1,06	-22,37	0,69	0,91	-24,14	0,88	1,26	-29,75
150	0,94	1,09	-13,94	0,90	0,76	18,39	1,10	1,53	-28,02	0,91	1,31	-30,16	1,19	1,67	-28,74
200	1,12	1,37	-18,35	1,11	1,22	-8,38	1,34	1,92	-30,09	1,13	1,61	-30,18	1,44	2,05	-29,83
250	1,30	1,65	-21,21	1,28	1,46	-12,70	1,60	2,30	-30,58	1,33	1,96	-32,14	1,71	2,40	-28,70
300	1,50	1,91	-21,50	1,44	1,76	-18,24	1,82	2,63	-30,66	1,47	2,26	-34,89	1,93	2,73	-29,39
450	2,03	2,71	-25,28	2,01	2,89	-30,68	2,55	3,76	-32,13	2,12	3,17	-33,03	2,68	3,71	-27,72
600	2,64	3,67	-28,07	2,49	5,18	-52,01	3,29	4,89	-32,84	2,78	4,67	-40,41	3,47	4,62	-24,88

2. Средние значения изменения объемной воздухопроницаемости Q , $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$, при понижении температуры с $+20\pm 3$ °С до -25 ± 3 °С

Р, Па	Среднее значение для образцов №1-10		
	20=С	-25=С	Δ%
50	0,39	0,52	-22,90
100	0,77	1,00	-17,36
150	1,03	1,37	-17,14
200	1,25	1,75	-24,17
250	1,47	2,10	-25,92
300	1,66	2,42	-27,84
450	2,32	3,49	-30,73
600	2,99	4,91	-36,78

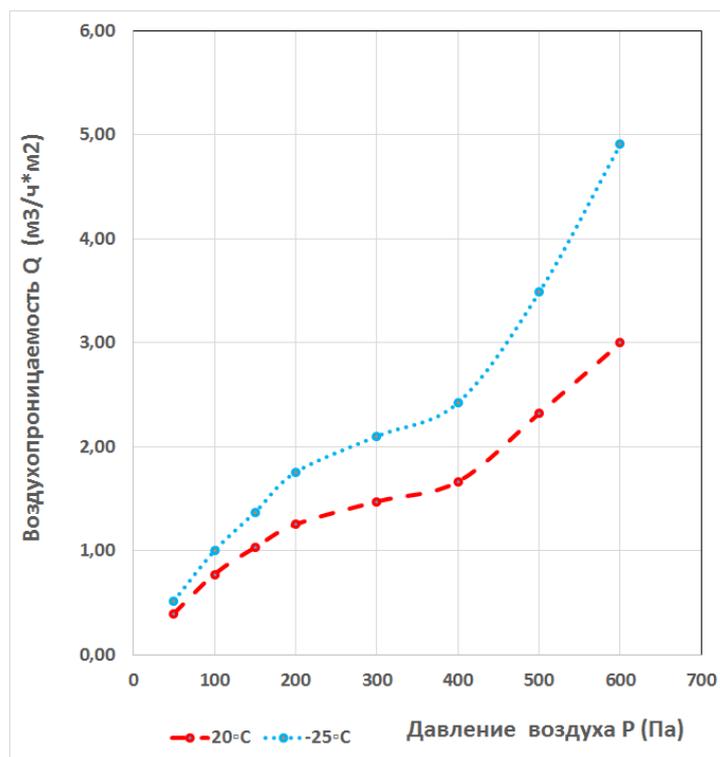


Рис. 4. График зависимости объемной воздухопроницаемости Q , м³/(ч·м²), от давления, Па, при положительной $+20\pm 3$ °С и отрицательной -25 ± 3 °С температурах по результатам лабораторных испытаний

В зимний период на территории Москвы и Московской области в зданиях высотой более 100 м величина давления на последних этажах может составлять более 1200 Па. Согласно результатам расчета ветровых нагрузок на ограждающие конструкции для жилого дома ЖК «Сердце Столицы», выполненного НИИ Механики МГУ, установлено, что на уровне 36 этажа (133 м) расчетная ветровая нагрузка на ограждающие конструкции с наветренной, подветренной стороны фасада и подветренной угловой зоны фасада составила соответственно 1160, 1150 и 2125 Па.

Существующие методики и система классификации воздухопроницаемости СПК не позволяют учитывать возросшие нагрузки и воздействия. Для определения воздухопроницаемости ПВХ оконных блоков при значениях давления свыше 700 Па и отрицательных температурах требуется разработка специальной методики проведения испытаний. Поэтому в данном исследовании был применен метод полиномиальной аппроксимации [5].

Результаты показаны в *табл. 3* и отображены на графике (*рис. 5*). Согласно полученным результатам, воздухопроницаемость при давлении воздуха 1200 Па ухудшилась на 26,9% по сравнению с проектным требованием.

3. Результаты определения объемной воздухопроницаемости при давлении воздуха от 50 до 1200 Па при положительной $+20\pm 3$ °С и отрицательной -25 ± 3 °С температурах

Р, Па	Расчетное Q при T=+20°C	Расчетное Q при T=-25°C	Расчетное отклонение Δ%
50	0,43	0,45	-4,12
100	0,74	0,98	-24,57
150	0,96	1,35	-29,07
200	1,12	1,61	-30,48
300	1,38	1,96	-29,63
400	1,76	2,39	-26,39
500	2,50	3,26	-23,34
600	3,84	4,93	-22,13
700	6,02	7,76	-22,43
800	9,28	12,11	-23,38
900	13,86	18,34	-24,43
1000	20,00	26,81	-25,40
1100	27,94	37,88	-26,24
1200	37,92	51,91	-26,95

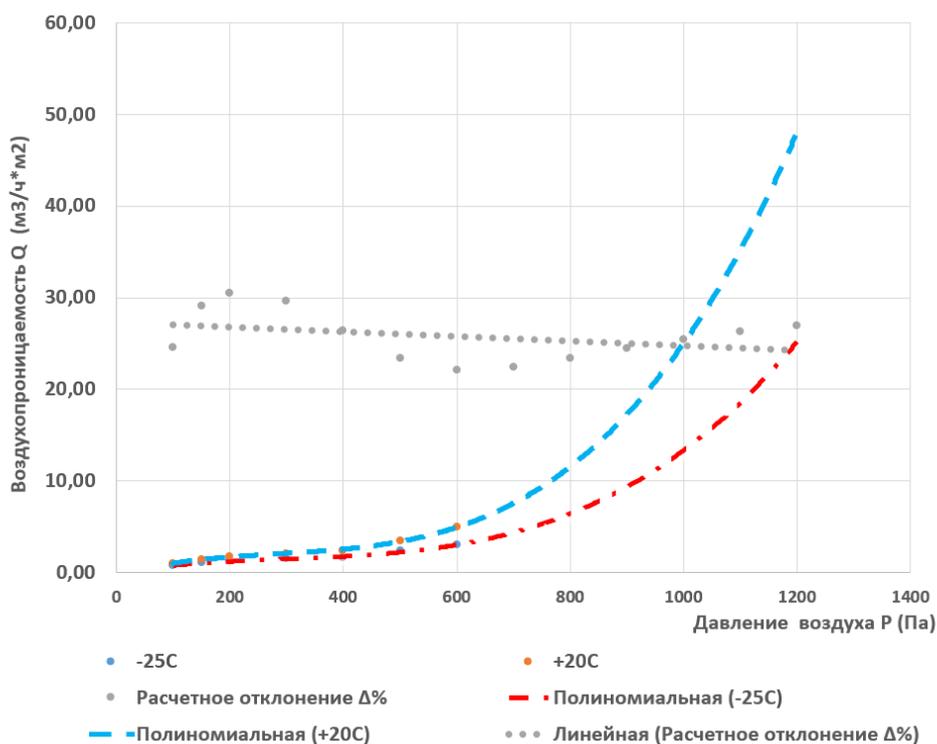


Рис. 5. График зависимости объемной воздухопроницаемости Q , $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$, от давления воздуха от 50 до 1200 Па при положительной $+20\pm 3$ °С и отрицательной -25 ± 3 °С температурах по результатам полиномиальной аппроксимации

Посредством метода полиномиальной аппроксимации было получено уравнение зависимости воздухопроницаемости оконных блоков от давления в диапазоне от 50 до 1200 Па для температуры $+20\pm 3$ °С и -25 ± 3 °С.

Формула для определения величины воздухопроницаемости оконных блоков в зависимости от давления при температуре $+20\pm 3$ °С:

$$y = 4 \times 10^{-8} x^3 - 3 \times 10^{-5} x^2 + 0,01x \quad (2)$$

Формула для определения величины воздухопроницаемости оконных блоков в зависимости от давления при температуре -25 ± 3 °С:

$$y = 6 \times 10^{-8} x^3 - 5 \times 10^{-5} x^2 + 0,0171x - 0,289, \quad (3)$$

где y – объемная воздухопроницаемость, $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$; x – давление воздуха, Па.

Величина достоверности полиномиальной аппроксимации R^2 не хуже 0,98 для каждого уравнения.

Статистическое урезанное среднее значение данных отклонения воздухопроницаемости оконных блоков (*табл. 3*) в диапазоне перепада давлений от 50 до 1200 Па **составило 25,3%**. Полученные результаты показали, что **воздухопроницаемость изменяется в зависимости от величины давления не линейно**, как это было принято ранее считать, а описывается кубическим уравнением, что убедительно доказывают уравнения аппроксимации (2) и (3).

Величина отклонения воздухопроницаемости при положительной и отрицательной температуре $\Delta\%$ носит линейный характер (*рис. 5*) и определяется уравнением (4):

$$y = -0,0025x + 27,278 \quad (4)$$

Необходимо учитывать, что на сегодняшний день количество лабораторий, обладающих специальным оборудованием для определения воздухопроницаемости при низких температурах, ограничено. В связи с этим затруднено накопление большого количества статистических экспериментальных данных, и рекомендуется использовать расчетный метод определения инфильтрации через СПК в зимний период времени.

На основании вышеприведенных результатов исследования предлагается ввести корректирующий коэффициент для прогнозирования воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций, изготовленных их ПВХ профилей, при отрицательной температуре не ниже -28 °С:

$$K_{\text{СПК}} = 1,25 \quad (5)$$

Для подтверждения корректирующего коэффициента необходимо проведение дополнительных исследований по оценке деформативности СПК под воздействием отрицательных температур и увеличение количества выборки образцов.

Рассмотрим возможность использования полученных предварительных результатов при проектировании зданий и сооружений. Количество инфильтрующегося воздуха, поступающего в помещения общественных зданий через неплотности заполнения проемов, полагая, что все они находятся на наветренной стороне, следует определять по формуле

$$G_{инф} = \left(\frac{A_{ок}}{R_{и,ок}^{mp}} \right) \left(\frac{\Delta p_{ок}}{10} \right)^{2/3} + \left(\frac{A_{дв}}{R_{и,дв}^{mp}} \right) \left(\frac{\Delta p_{дв}}{10} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

где $A_{ок}$ и $A_{дв}$ – соответственно суммарная площадь окон, балконных дверей и входных наружных дверей, м²;

$R_{и,ок}^{tr}$ и $R_{и,дв}^{tr}$ – соответственно требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей и входных наружных дверей, (м²·ч)/кг;

$\Delta p_{ок}$ и $\Delta p_{дв}$ – соответственно расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха, Па.

Разность давлений является функцией плотности наружного воздуха, которая, в свою очередь, зависит от его температуры для окон, балконных дверей и входных наружных дверей.

При проектировании зданий и сооружений, согласно СП 50.13330.2012, сопротивление воздухопроницанию светопрозрачной конструкции $R_{и}$, (м²·ч)/кг, определяют по формуле:

$$R_{и} = \left(\frac{1}{G_c} \right) \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^n, \quad (7)$$

где G_c – воздухопроницаемость светопрозрачной конструкции, кг/(м²·ч), полученная в результате испытаний;

Δp – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па;

$\Delta p_0=10$ Па – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях светопрозрачных ограждающих конструкций, при которой экспериментально определяется сопротивление воздухопроницанию конструкций выбранного типа $R_{и}$;

n – показатель режима фильтрации светопрозрачной конструкции, полученный в результате испытаний.

На основании выполненных исследований рекомендуется внести корректирующий коэффициент воздухопроницаемости $K_{QСПК}=1,25$ (5) светопрозрачных конструкций в расчётную формулу:

$$R_{и} = \left(\frac{1}{G_c K_{QСПК}} \right) \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^n \quad (8)$$

Согласно СП 50.13330.2012, нормируемую поперечную воздухопроницаемость G_n , кг/(м²·ч), ограждающих конструкций зданий следует принимать по *табл. 4*. На основании выполненных исследований рекомендуется внести корректирующий

коэффициент воздухопроницаемости $K_{Q_{спк}}=1,25$ (5) светопрозрачных конструкций в таблицу для пунктов 6, 7 и 8. Введение поправочного коэффициента $K_{Q_{спк}}=1,25$ справедливо для регионов, в которых температура холодной пятидневки не опускается ниже $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для регионов, где температура опускается ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, необходимо проведение дополнительных исследований и лабораторных испытаний.

4. Нормируемая поперечная воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции	Поперечная воздухопроницаемость G_n , кг/(м ² ·ч), не более
1 Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных, административных и бытовых зданий и помещений	0,5
2 Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	1,0
3 Стыки между панелями наружных стен:	
а) жилых зданий	0,5*
б) производственных зданий	1,0*
4 Входные двери в квартиры	1,5
5 Входные двери в жилые, общественные и бытовые здания	7,0
6 Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений с деревянными переплетами; окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
7 Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений с пластмассовыми или алюминиевыми переплетами	5,0
8 Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
9 Фонари производственных зданий	10,0
10 Окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
* В кг/(м·ч).	

При выборе оконных конструкций для такого типа зданий рекомендуется заблаговременно выполнять лабораторные испытания оконных конструкций с целью определения фактической воздухопроницаемости. Следует отдавать предпочтение оконным блокам, которые по результатам лабораторных испытаний имеют лучшие характеристики воздухопроницаемости. Для подобного типа зданий в практике строительства рекомендуется применять оконные конструкции с запасом по воздухопроницаемости относительно нормативного требования.

Расход тепловой энергии на отопление зданий в значительной степени определяется расходом энергии на нагрев наружного воздуха, поступающего в помещения. Натурные исследования жилых и общественных зданий показали, что доля тепловой энергии, идущей на нагрев инфильтрующегося воздуха, достигает 30-40% от общего расхода энергии на отопление, что приводит к перерасходу и особенно существенно в условиях Крайнего Севера [1], [3], [4]. Это косвенно подтверждает гипотезу и количественную оценку возрастания теплопотерь за счет увеличения воздухопроницаемости СПК в зимний период.

В ы в о д ы

1. Подтверждена гипотеза зависимости воздухопроницаемости СПК от воздействия пониженной температуры.
2. Существующие методики испытания в соответствии с ГОСТ 26602.2-99 и классификация воздухопроницаемости не учитывают зависимость воздухопроницаемости от воздействия отрицательных температур и возросшие требования, необходимы их пересмотр и актуализация.
3. В результате лабораторных исследований было определено, что изменение характеристики воздухопроницаемости СПК от воздействия пониженной температуры является существенным и составляет более 25%.
4. Выявлена закономерность изменения характеристики воздухопроницаемости СПК от воздействия пониженной температуры. Предложено ввести коэффициент $K_{Q_{спк}}=1,25$, учитывающий эти изменения для климатических зон РФ, где температура холодной пятидневки не опускается ниже -28°C .
5. Авторами планируется дальнейшее исследование влияния климатических нагрузок на характеристики светопрозрачных конструкций. Ведутся лабораторные исследования влияния длительных положительных и отрицательных температурных

воздействий на свойства материала и деформативность оконных блоков из ПВХ профилей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Скрябин В.И., Старостин Е.Г. Исследование скорости потока воздуха в системах естественной вентиляции жилого здания в зимних условиях // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2011. Том 8. №4. С. 56-59.
2. Матвеева О.И., Старостин Е.Г., Степанов А.В., Тимофеев А. М. Теплотери типовых зданий г. Якутска // Ресурсы строительного комплекса Республики Саха (Якутия): Сб. науч. тр., посвящ. 65-летию строит. комплекса. Якутск: Изд-во СО РАН. Якут. фил., 2001. С. 206-209.
3. Степанов А.В., Тимофеев А.М., Старостин Е.Г., Малышев А.В., Большев К.Н., Неустроев Н.Р. Натурные исследования зданий в г. Якутске // Современные проблемы теплофизики в условиях Крайнего Севера. Материалы VI научно-технической конференции, посвященной памяти профессора, доктора технических наук Н.С. Иванова. Якутск: Изд-во ЯГУ, 2004. С. 122-128.
4. Малышев А.В., Скрябин В.И., Старостин Е.Г. Микроклимат и расход тепловой энергии на отопление зданий с повышенным износом в г. Нерюнгри // Южная Якутия – новый этап индустриального развития: Материалы Международной научно-практической конференции. Т. 2. Нерюнгри: Изд-во Технического института, 2007. С. 220-224.
5. Яноши Л. Теория и практика обработки результатов измерений. М.: Мир, 1968. 462 с.
6. Сесюнин С.Г., Елдашов Ю.А. Применение методов математического моделирования для комплексного решения задач структурного анализа конструкций из ПВХ при действии на них эксплуатационных нагрузок. // Светопрозрачные конструкции. 2006. №5. С. 20-25.
7. Шеховцов А.В. Воздухопроницаемость оконного блока из ПВХ профилей при действии отрицательных температур // Вестник МГСУ. 2011. №3. С. 263-269.
8. Власенко Д.В. Почему коробит окна? // Оконная практика. 2008. №4.
9. Алекперов Р.Г., Потапова Т.В. К вопросу о долговечности светопрозрачных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 9. С. 30-34.

10. Стратий П.В., Становов И.А. Влияние коэффициента остекленности фасада на энергоэффективность // Вестник ТОГУ. 2017. №4 (47). С. 105-114.

R E F E R E N C E S

1. Skryabin V.I., Starostin E.G. Issledovanie skorosti potoka vozdukha v sistemakh estestvennoy ventilyatsii zhilogo zdaniya v zimnikh usloviyakh [Investigation of air velocity in natural ventilation system of building in winter conditions] // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. 2011. Vol. 8. №4. Pp. 56-59. (In Russian).
2. Matveeva O.I., Starostin E.G., Stepanov A.V., Timofeev A. M. Teplopoteri tipovykh zdaniy g. Yakutska [Heat losses of typical buildings in Yakutsk city] // Resursy stroitel'nogo kompleksa Respubliki Sakha (Yakutiya): Sb. nauch. tr., posvyashch. 65-letiyu stroit. kompleksa. Yakutsk: Izd-vo SO RAN. Yakut. fil., 2001. Pp. 206-209. (In Russian).
3. Stepanov A.V., Timofeev A.M., Starostin E.G., Malyshev A.V., Bol'shev K.N., Neustroev N.R. Naturnye issledovaniya zdaniy v g. Yakutske [Field research of buildings in Yakutsk city] // Sovremennye problemy teplofiziki v usloviyakh Kraynego Severa. Materialy VI nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchenoy pamyati professora, doktora tekhnicheskikh nauk N.S. Ivanova. Yakutsk: Izd-vo YaGU, 2004. Pp. 122-128. (In Russian).
4. Malyshev A.V., Skryabin V.I., Starostin E.G. Mikroklimat i raskhod teplovoy energii na otoplenie zdaniy s povyshennym iznosom v g. Neryungri [Microclimate and energy consumption for heating in buildings with a high rate of wear in Neryungri city] // Yuzhnaya Yakutiya – novyy etap industrial'nogo razvitiya: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Vol. 2. Neryungri: Izd-vo Tekhnicheskogo instituta, 2007. Pp. 220-224. (In Russian).
5. Yanoshi L. Teoriya i praktika obrabotki rezul'tatov izmereniy [Theory and practice of the evaluation of measurements]. M.: Mir, 1968. 462 p. (In Russian).
6. Sesyunin S.G., Eldashov Yu.A. Primenenie metodov matematicheskogo modelirovaniya dlya kompleksnogo resheniya zadach strukturnogo analiza konstruktsiy iz PVKh pri deystvii na nikh ekspluatatsionnykh nagruzok [Application of mathematical model techniques for complex solutions of structural analysis tasks in PVC constructions under operational loads] // Svetoprozrachnye konstruktsii. 2006. №5. Pp. 20-25. (In Russian).
7. Shekhovtsov A.V. Vozdukhopronitsaemost' okonnogo bloka iz PVKh profiley pri deystvii otritsatel'nykh temperatur [Air permeability of an PVC-window when exposed to freezing temperatures] // Vestnik MGSU. 2011. №3. Pp. 263-269. (In Russian).

8. Vlasenko D.V. Pochemu korobit okna? [Why are windows deforming?] // Okonnaya praktika. 2008. №4. (In Russian).
9. Alekperov R.G., Potapova T.V. K voprosu o dolgovechnosti svetoprozrachnykh konstruktsiy [To the issue of durability of translucent structures] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2017. № 9. Pp. 30-34. (In Russian).
10. Stratiy P.V., Stanovov I.A. Vliyaniye koeffitsienta osteklennosti fasada na energoeffektivnost' [The influence of the glazing ratio of a façade on the energy efficiency] // Vestnik TOGU. 2017. №4 (47). Pp. 105-114. (In Russian).