Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2025, Том 17, № 6 / 2025, Vol. 17, Iss. 6 https://esj.today/issue-6-2025.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/16SAVN625.pdf

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Волков, А. Г. Системный анализ факторов, определяющих теплотехнические характеристики современных алюминиевых оконных конструкций / А. Г. Волков // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 6. — URL: https://esj.today/PDF/16SAVN625.pdf.

For citation:
Volkov A.G. System analysis of factors that determine the thermal performance of modern aluminum window structures. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(6): 16SAVN625. Available at: https://esj.today/PDF/16SAVN625.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 697.133:692.82:691.771:699.86

Волков Артем Геннадьевич
FRAMEX WINDOWS LLC, Оквилл, Канада
Генеральный директор
E-mail: a.volkov@alumvolkov.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-1512-2268

Системный анализ факторов, определяющих теплотехнические характеристики современных алюминиевых оконных конструкций

Аннотация. В статье рассматривается проблематика теплотехнических характеристик алюминиевых оконных конструкций через призму воздействия различных факторов. С учетом ужесточающихся требований к энергоэффективности зданий светопрозрачные конструкции становятся объектом пристального научного внимания. Актуальность темы диктуется существующим на рынке и в потребительском сознании противоречием — с одной стороны, алюминиевые оконные системы ценятся за прочность и архитектурную гибкость, с другой — их репутация омрачена стереотипом о высокой теплопроводности, непригодности для жилых помещений. Цель — разрешить это разногласие путем системного анализа факторов, которые в совокупности определяют теплотехнические характеристики современных «теплых» алюминиевых окон. В выводах подчеркивается, что оценка их теплозащитных свойств исключительно через призму теплопроводности самого металла является некорректной и устаревшей. Итоговая энергоэффективность представляет собой эмерджентное свойство сложной инженерной системы, где ключевую роль играют технология термического разрыва в профиле, многокомпонентная структура стеклопакета (включая низкоэмиссионные покрытия и инертные газы), а также качество периметральной герметизации. В качестве направлений для последующих изысканий выделены углубленное изучение процессов деградации теплоизоляционных материалов в долгосрочной перспективе, разработка/внедрение новых композитных материалов для термомостов с еще более низкими показателями теплопроводности, создание более точных моделей для динамического (а не статического) моделирования тепловых потоков через светопрозрачные конструкции в реальных условиях эксплуатации. Излагаемые в статье материалы будут полезны инженерам-проектировщикам, архитекторам, специалистам строительной отрасли, исследователям в области строительной теплофизики и материаловедения, предоставляя им научно-обоснованный инструмент для принятия проектных решений и развеивая укоренившиеся мифы.

Ключевые слова: алюминиевый профиль; герметичность; инертный газ; коэффициент сопротивления теплопередаче; оконная конструкция; стеклопакет; теплопотери; теплотехнические характеристики; энергоэффективность

Введение

В контексте глобальной повестки энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий светопрозрачные ограждающие конструкции занимают центральное место в научных и инженерных исследованиях.

Среди многообразия доступных решений алюминиевые оконные системы занимают особое положение. Обладая выдающимися прочностными свойствами, долговечностью, архитектурной выразительностью, они помогают реализовывать масштабные проекты панорамного остекления, где применение других материалов (ПВХ или дерево) порой конструктивно ограничено.

Тем не менее, широкое внедрение алюминия исторически сдерживалось его фундаментальным физическим свойством — высокой теплопроводностью. Это превращает монолитный алюминиевый профиль в эффективный «мостик холода», приводящий к промерзанию конструкций, образованию конденсата, значительному снижению комфорта в помещении.

Между тем, технологическая эволюция последних десятилетий весомо изменила ситуацию. Разработка и внедрение так называемых «теплых» алюминиевых систем, которые основаны на принципе термического разделения профиля, позволили нейтрализовать проблему высокой теплопроводности, достичь показателей теплосопротивления, сопоставимых и даже превосходящих аналоги из ПВХ, дерева. Оценка эффективности таких конструкций требует перехода от упрощенных представлений к комплексному системному анализу.

Задача заключается в том, чтобы выявить не только значимость каждого отдельного фактора, но и синергетический эффект от их взаимодействия, формирующий итоговые теплозащитные свойства окна как единой инженерной системы.

Материалы и методы

Современные исследования по обсуждаемой в статье проблематике отражают комплексный подход, сочетающий физико-технический анализ, инженерное моделирование, прикладную энергетику. М.В. Драница [1] рассматривает влияние газового заполнения на энергоэффективность стеклопакетов, тогда как С.В. Корниенко [2] указывает на недооценку теплофизических принципов при проектировании. А.Д. Корольченко [3] уточняет методики расчета теплотехнических характеристик сложных профилей, а М.О. Павлова [4] выделяет проблемные зоны теплопотерь в узлах откосов. К.И. Селякова [5] оценивает потенциал алюминиевых систем в контексте новых материалов, А. Черкасов [6] — инженерные решения по минимизации потерь. Э.И. Шагиахметова [7] связывает тепловой комфорт с архитектурным проектированием, А.А. Кузнецов [8] — с экономической эффективностью, Т.В. Потапова [9] — с нормативными различиями стандартов, М. Ребров [10] — с современными технологиями теплосбережения.

В литературе сохраняется противоречие между теоретическими моделями теплообмена, которые базируются на идеализированных условиях, и реальными эксплуатационными характеристиками оконных конструкций, где существенную роль играют монтажные, климатические факторы. Недостаточно исследованы вопросы на предмет влияния инновационных

16SAVN625
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

композитных материалов и новых технологий терморазрыва на долговременные теплотехнические параметры. Достаточно поверхностно проработаны системные модели, которые соединяют тепловую эффективность оконных профилей с их экономическими и экологическими показателями в жизненном цикле здания.

В данной работе применялись методы систематизации, классификации, сравнительного анализа, а также контент-оценка публикаций, обобщение.

Результаты и заключение

Теплотехнические характеристики современного «теплого» алюминиевого окна представляют собой интегральный показатель, который является результатом сложного взаимодействия нескольких подсистем.

Для проведения анализа целесообразно декомпозировать конструкцию на три ключевых блока: профильная система, стеклопакет, уплотнения и фурнитура.

Так, основой «теплой» алюминиевой конструкции является профиль с термическим разрывом, или термомостом. Благодаря этой технологии решается главная проблема — высокая теплопроводность металла — путем физического разделения наружной и внутренней частей алюминиевого профиля вставкой из материала с низкой теплопроводностью. Стеклопакет занимает до 80 % площади окна, и его характеристики вносят определяющий вклад в общие теплотехнические показатели конструкции.[1] Герметичность — третий важнейший аспект, который воздействует на теплопотери через инфильтрацию и продувание [1; 9; 10] (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ факторов, влияющих на теплотехнические характеристики алюминиевых окон

Фактор	Стандартное решение	Высокоэффективное решение	Влияние на теплосопротивление
Профиль			
Ширина термомоста	24 мм (полиамид)	> 34 мм (полиамид)	Высокое
Заполнение камер	Воздушные полости	Вспененные полимерные вставки	Среднее
Стеклопакет			
Количество камер	Однокамерный	Двухкамерный	Очень высокое
Заполнение камер	Осушенный воздух	Аргон (Ar) / Криптон (Kr)	Среднее
Покрытие стекла	Без покрытия	Низкоэмиссионное (Low-E) / Мультифункциональное	Очень высокое
Дистанционная рамка	Алюминиевая	Полимерная («теплая»)	Среднее
Герметизация			
Уплотнители	2 контура, резина	3 контура, EPDM / Силикон	Среднее
Фурнитура (петли)	Накладные	Скрытые	Низкое, но значимое для герметичности

Составлено на основе [1; 9; 10]

Для отапливаемых помещений стандартом де-факто является применение двухкамерных стеклопакетов (рис. 1). Дальнейшее повышение теплоизоляционных свойств достигается за счет заполнения межстекольного пространства инертными газами (аргоном или криптоном) вместо осушенного воздуха. Будучи более плотными и вязкими, они замедляют конвективный теплообмен между стеклами. Криптон (Kr) увеличивает теплоизоляцию почти в 2 раза по

[1] Как выбрать теплое алюминиевое окно? // URL: https://alumvolkov.ru/blog/okna/kak-vybrat-teploe-aljuminievoe-okno/ (дата обращения: 20.10.2025).

сравнению с воздухом, более доступный аргон (Ar) — в 1,2–1,5 раза.[2] Значительное влияние на теплоизоляцию стеклопакетов оказывают низкоэмиссионные (Low-E) напыления на поверхности стекол. Эти тонкие металлические или оксидные покрытия отражают длинноволновое тепловое излучение внутрь помещения, снижая потери тепла через стекло. В сочетании с заполнением камер инертными газами эффект Low-E-покрытий зачастую превышает влияние только газа.

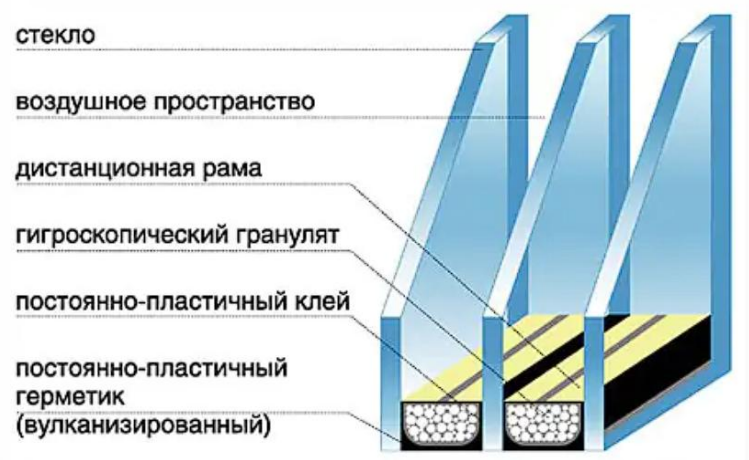

Рисунок 1. *Схема стеклопакета*[3]

Современные системы оснащаются, как минимум, двумя, а чаще тремя контурами уплотнения (рис. 2). Оптимальным материалом для уплотнителей является EPDM (этилен-пропиленовый каучук), который сохраняет эластичность в широком диапазоне температур и обладает высокой долговечностью, в отличие от более дешевых аналогов [5; 7; 8].

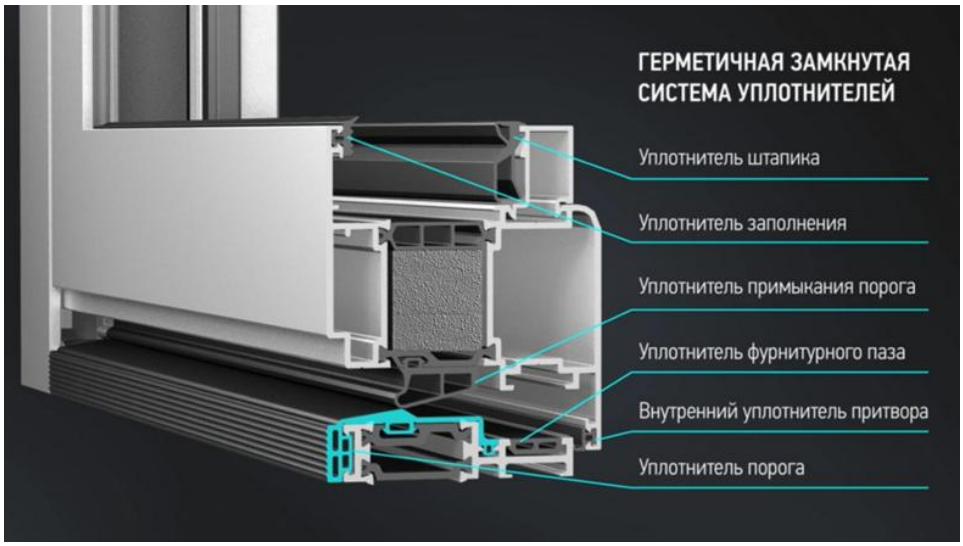

Рисунок 2. *Система уплотнителей*[4]

[2] Как выбрать теплое алюминиевое окно? // URL: https://alumvolkov.ru/blog/okna/kak-vybrat-teploe-aljuminievoe-okno/ (дата обращения: 20.10.2025).

Как правильно выбрать стеклопакет для дома? // URL: https://alumvolkov.ru/blog/okna/kak-pravilno-vybrat-steklopaket-dlja-doma/ (дата обращения: 18.10.2025).

[3] Как правильно выбрать стеклопакет для дома? // URL: https://alumvolkov.ru/blog/okna/kak-pravilno-vybrat-steklopaket-dlja-doma/ (дата обращения: 18.10.2025).

[4] Как выбрать теплое алюминиевое окно? // URL: https://alumvolkov.ru/blog/okna/kak-vybrat-teploe-aljuminievoe-okno/ (дата обращения: 20.10.2025).

Выбор фурнитуры также оказывает опосредованное влияние на теплотехнику. При монтаже стандартных накладных петель требуется подрезать уплотнительный контур, что создает потенциальные точки для продувания. Использование скрытых петель (рис. 3), полностью интегрированных в профиль, дает возможность сохранить целостность уплотнителя по всему периметру, обеспечивая более высокую, стабильную герметичность конструкции в долгосрочной перспективе [4–6; 8; 9].

Рисунок 3. *Скрытые петли*[5]

В таблице 2 приведены значения коэффициентов теплопередачи и сопротивления ей для различных вариаций.

Таблица 2

Ориентировочные теплотехнические показатели компонентов алюминиевых окон

Компонент / Система	Коэффициент теплопередачи (Uf), Вт/м²·К	Сопротивление теплопередаче (R), м²·°С/Вт
Алюминиевый профиль «холодный»	≈ 5,8	≈ 0,17
Алюминиевый профиль «теплый» с термовставкой	≈ 2,3	≈ 0,40
Профиль Reynaers CS77 (термомост ≈ 32 мм)	1,9	≈ 0,53
Профиль Reynaers CS86-HI (многокамерный термомост)	1,47	≈ 0,68
Двухкамерный стеклопакет (4-12-4-12-4)	≈ 1,9	≈ 0,53
Двухкамерный стеклопакет с Ar и 2x Low-E покрытиями	≈ 0,6–0,8	≈ 1,25–1,67

Выполнено автором на основе[6]

[5] Как выбрать теплое алюминиевое окно? // URL: https://alumvolkov.ru/blog/okna/kak-vybrat-teploe-aljuminievoe-okno/ (дата обращения: 20.10.2025).

[6] Жихарев, М. Средний коэффициент сопротивления теплопередачи профилей из теплого алюминия / М. Жихарев // URL: https://www.wikipro.ru/wiki/srednij-koefficient-soprotivleniya-teploperedachi-profilej-iz-teplogo-alyuminiya/ (дата обращения: 17.10.2025).

Как правильно выбрать стеклопакет для дома? // URL: https://alumvolkov.ru/blog/okna/kak-pravilno-vybrat-steklopaket-dlja-doma/ (дата обращения: 18.10.2025).

Почему окна из теплого алюминия в 6 раз теплее холодного // URL: https://furkomplekt.ru/company/news/buziness-news/4963-6 (дата обращения: 19.10.2025).

16SAVN625
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Приведенные в таблице значения являются ориентировочными и могут варьироваться в зависимости от конкретного производителя и конфигурации.

Целесообразно сформулировать ряд научно-обоснованных рекомендаций для проектировщиков, инженеров, конечных потребителей при выборе и спецификации современных алюминиевых оконных конструкций.

Первое авторское предложение связано с применением интегрального подхода к оценке. Основная методологическая ошибка заключается в оценивании окна по одному, пусть и важному, параметру (например, монтажной глубине профиля или количеству камер). Новизна предлагаемого подхода состоит в необходимости интегральной оценки, базирующейся на приведенном сопротивлении теплопередаче всей конструкции (Rw), которое учитывает как характеристики профиля (Uf) и стеклопакета (Ug), так и линейный коэффициент теплопередачи по их стыку (ψg). Именно совокупность этих значений, а не отдельный показатель, определяет итоговую энергоэффективность.

На основе анализа факторов рекомендуется принять в качестве минимально достаточной спецификации для жилых зданий в центральных и северных регионах следующую конфигурацию:

- профиль — ширина полиамидного термомоста не менее 34 мм, наличие вспененных вставок в камерах;
- стеклопакет — двухкамерный, с заполнением аргоном, как минимум, одним низкоэмиссионным стеклом (Low-E) и «теплой» дистанционной рамкой.

Данная рекомендация помогает решить проблему недостаточной теплозащиты, возникающую при использовании коммерческих серий профилей в жилищном строительстве.

В дополнение к отмеченному, рекомендуется включать в спецификацию требования к элементам, не очевидным для неспециалиста, но критически значимым для долгосрочной эксплуатации. К ним относятся контуры уплотнения из материала EPDM и фурнитура со скрытыми петлями. Данное предложение нацелено на повышение герметичности и, как следствие, тепловой стабильности и акустического комфорта на протяжении всего срока службы окна. При этом решается проблема деградации эксплуатационных характеристик со временем.

Назначение перечисленных выше рекомендаций — предоставить практический инструмент для принятия обоснованных проектных решений, который позволяет перейти от маркетинговых заявлений производителей к физически и экономически детерминированному выбору оконных конструкций, обеспечивающих максимальный уровень энергосбережения и комфорта.

Заключение

В результате проведенного системного анализа установлено, что теплотехнические характеристики современных алюминиевых окон являются комплексным свойством, определяемым синергетическим взаимодействием множества конструктивных, технологических факторов. Утверждение о том, что алюминиевые окна являются «холодными», следует признать устаревшим и нерелевантным для современных инженерных решений. Высокая теплопроводность алюминия как материала успешно нейтрализуется за счет технологии термического разрыва, результативность которой напрямую зависит от ширины, геометрии, внутреннего наполнения полиамидного термомоста.

16SAVN625
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Доминирующий вклад в итоговую теплозащиту вносит стеклопакет, который занимает наибольшую площадь. Комбинация двухкамерной конструкции, низкоэмиссионного покрытия, заполнения инертным газом, «теплой» дистанционной рамки является ключевым инструментом для достижения высоких показателей энергоэффективности. При этом нельзя недооценивать роль таких элементов, как многоконтурные уплотнения из EPDM и скрытая фурнитура, которые обеспечивают герметичность — важнейшее условие для реализации потенциала профиля и стеклопакета.

Научный вклад данной работы проявляется в систематизации факторов и демонстрации несостоятельности редукционистского подхода к оценке алюминиевых окон. Действенность конструкции — это эмерджентное свойство системы, а не сумма характеристик ее отдельных частей. Сформулированные авторские рекомендации имеют прямое практическое значение, поскольку предлагается четкий алгоритм для выбора оптимальной конфигурации окна в зависимости от климатических условий, требований к зданию.

В качестве направлений для последующих изысканий уместно выделить углубленное изучение процессов деградации теплоизоляционных материалов в долгосрочной перспективе, разработку / внедрение новых композитных материалов для термомостов с еще более низкими показателями теплопроводности, а также создание более точных моделей для динамического (а не статического) моделирования тепловых потоков через светопрозрачные конструкции в реальных условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драница, М.В. Анализ энергоэффективности оконных блоков при заполнении межстекольного пространства различными видами газов / М.В. Драница, П.С. Пахомов, Н.Е. Киреев, А.С. Орешонков. // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее. Сборник научных статей. — Красноярск: 2022. — С. 469–472. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49731407 — EDN: TYYTVJ (дата обращения: 20.10.2025).
2. Корниенко, С.В. Невыученные уроки теплофизики светопропускающих конструкций / С.В. Корниенко. // Светопрозрачные конструкции. — 2020. — № 1-2 (129-130). — С. 45–49. — URL https://elibrary.ru/item.asp?id=43934188 — EDN: OHGSRO (дата обращения: 19.10.2025).
3. Корольченко, А.Д. Анализ точности определения теплотехнических характеристик развитых сечений светопрозрачных конструкций / А.Д. Корольченко, М.А. Томышев, А.П. Константинова. // Строительство — формирование среды жизнедеятельности. Сборник материалов конференции. — Москва: 2024. — С. 36–41. — URL https://elibrary.ru/item.asp?id=72565889 — EDN: AEATLI (дата обращения: 18.10.2025).
4. Павлова, М.О. Исследование теплопотерь через узел оконного откоса / М.О. Павлова, В.А. Захаров, А.М. Квардакова. // Строительная механика и расчет сооружений. — 2023. — № 3(308). — С. 36–45. — URL https://elibrary.ru/item.asp?id=54227843 — EDN: RIIGPA (дата обращения: 17.10.2025).
5. Селякова, К.И. Перспективы применения алюминиевых оконных конструкций / К.И. Селякова. // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции. — Комсомольск-на-Амуре: 2024. — С. 246–249. — URL https://elibrary.ru/item.asp?id=69093435 — EDN: FSJQPC (дата обращения: 16.10.2025).

6. Черкасов, А. Современные решения проблемы теплопотерь через оконные проемы / А. Черкасов, А. Евсеев, П. Веселова. // Русский инженер. — 2020. — № 2(67). — С. 43–44. — URL https://elibrary.ru/item.asp?id=42849946&ysclid=mhnqsoawk166495083 — EDN: MICQMG (дата обращения: 15.10.2025).

7. Шагиахметова, Э.И. Проектирование окон в общественных зданиях для обеспечения оптимального теплового и светового режима помещений / Э.И. Шагиахметова, И.Ш. Сафин, М.И. Шагиахметова. // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика. — 2024. — № 2(4). — С. 39–50. — URL https://elibrary.ru/item.asp?id=75191487 — EDN: KFHCST (дата обращения: 14.10.2025).

8. Кузнецов, А.А. Экономическое обоснование установки оконных конструкций из пвх профиля / А.А. Кузнецов, К.А. Миндров, С.В. Клоков. // Оригинальные исследования. — 2020. — Т. 10. — № 12. — С. 210–215. — URL https://elibrary.ru/item.asp?id=44614054 — EDN: TOJTYF (дата обращения: 13.10.2025).

9. Потапова, Т.В. Анализ российских и европейских стандартов в области механической прочности оконных конструкций / Т.В. Потапова. // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 2(74). — С. 303–310. — URL https://elibrary.ru/item.asp?id=45485968 — EDN: NMYIAG (дата обращения: 12.10.2025).

10. Ребров, М. Современные оконные конструкции. поиск путей теплосбережения / М. Ребров // Строительство: новые технологии — новое оборудование. — 2021. — № 7. — С. 23–29. — URL https://elibrary.ru/item.asp?id=46423494 (дата обращения: 12.10.2025).

Volkov Artem Gennadievich
FRAMEX WINDOWS LLC, Oakville, Canada
E-mail: a.volkov@alumvolkov.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-1512-2268

System analysis of factors that determine the thermal performance of modern aluminum window structures

Abstract. The article discusses the thermal performance of aluminum window structures in the context of various factors. With increasing requirements for energy efficiency in buildings, translucent structures are becoming the focus of scientific attention. The relevance of this topic is driven by a contradiction in the market and consumer perception: while aluminum window systems are valued for their durability and architectural flexibility, their reputation is tarnished by the stereotype of high thermal conductivity and incompatibility with residential environments. The goal is to resolve this disagreement by conducting a systematic analysis of the factors that collectively determine the thermal performance of modern «warm» aluminum windows. The author concludes that evaluating their thermal insulation properties solely based on the thermal conductivity of the metal itself is incorrect and outdated. The final energy efficiency is an emergent property of a complex engineering system, where the thermal break technology in the profile, the multi-component structure of the double-glazed unit (including low-emission coatings and inert gases), and the quality of perimeter sealing play a key role. The following areas have been identified for further research: in-depth study of the degradation processes of thermal insulation materials in the long term, development/implementation of new composite materials for thermal bridges with even lower thermal conductivity, and creation of more accurate models for dynamic (rather than static) simulation of heat flows through translucent structures under real operating conditions. The materials presented in the article will be useful for design engineers, architects, specialists in the construction industry, researchers in the field of building thermal physics and materials science, providing them with a scientifically based tool for making design decisions and dispelling entrenched myths.

Keywords: aluminum profile; tightness; inert gas; thermal resistance coefficient; window structure; double-glazed window; heat loss; thermal performance; energy efficiency