

## АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

УДК 725

**А.А. Плотников**  
*НИУ МГСУ*

### АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ СТЕКЛЯННЫХ ЗДАНИЙ

Сформулированы базовые теоретические принципы и инженерные идеи, реализуемые в строительстве стеклянных зданий на современном этапе. Рассмотрена с позиций философии общеевропейская концепция здания нового типа — зеленого здания.

**Ключевые слова:** зеленое здание, наружная оболочка, светопрозрачные конструкции, экология, энергоэффективность, вакуумные стеклопакеты, светопрозрачные фасады, солнцезащита

Несмотря на динамичное развитие технологий и многочисленные исследовательские проекты, среди европейской научной общественности, архитекторов и строительных инженеров до сих пор не существует единого мнения по поводу того, каким должно быть стеклянное здание — здание будущего. Скорее мы можем наблюдать разнообразие теорий и мнений, часто противоречивых, вращающихся вокруг двух основных смысловых направлений, приоритетных для современного строительства и архитектуры европейских стран.

Мистическая идея Л. Мис ван дер Роэ [1], выражаяющая единение человека с природой, формирует основу современной концепции экологичного здания нового типа, часто обозначаемую словосочетанием Green House (от англ. — зеленый дом). Наряду с этим, современное европейское сообщество всерьез обеспокоено растущими выбросами в атмосферу углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) — продукта сжигания топлива, расходующегося на отопление зданий. По мнению исследователей, это является основной причиной глобального потепления климата, сопровождающегося природными катастрофами, доля которых за последние десятилетия резко возросла на европейской территории. Это порождает второй базовый постулат строительной науки, связанный с разработками в области снижения общего потребления энергии зданиями, а также поисков возможного использования альтернативных энергетических ресурсов — солнца, ветра и геотермальных источников.

В известном смысле мы можем говорить о формировании некоторого нового мировоззрения в архитектуре, сочетающего в себе два противоречивых и, возможно, взаимоисключающих фактора. С одной стороны, единство с природой и улавливание зданием солнечной энергии может быть обеспечено только при наличии в здании большого количества панорамного и кровельного остекления. С другой, наличие большого количества остекленных поверхностей

в наружной оболочке порождает огромный комплекс технических проблем, оптимальное решение которых на современном этапе пока не найдено. Тем не менее современная европейская практика представляет собой последовательно развивающийся процесс, направленный на поиск компромисса, выражавшегося в некоторой принципиально иной рационалистической философии стеклянного здания.

Так, в частности, профессор Университета эксплуатации зданий и энергетического проектирования г. Брауншвейга (Германия) д-р М. Норберт Фисч отмечает:

«Можно, конечно, запроектировать любое здание, даже нелепое, с полностью стеклянной наружной оболочкой и сверхдорогой системой обслуживания — современные достижения в инженерных методиках и уровень развития производственных технологий позволяют архитекторам и инвесторам осуществлять это неограниченно по всему земному шару. Возможно, эти импозантные проекты необходимы для демонстрации технических возможностей (аналогично Формуле-1 в автомобилестроении), однако с точки зрения энергоэффективности и экологии они совершенно бессмысленны... Приоритетом сегодняшнего дня является проектирование энергоэффективных зданий с высоким уровнем эксплуатационного комфорта и нанесением минимального вреда окружающей среде» [2].

Немецкий архитектор Штефан Бениш формулирует свое видение здания нового типа следующим образом:

«При проектировании жилого здания, прежде всего, необходимо думать о летнем охлаждении, а не об отоплении в зимний период. Очевидно, что по сравнению с обеспечением зимнего теплового режима, это на порядок более сложная задача. Поскольку мы больше не можем позволить себе в качестве генеральной концепции искусственное кондиционирование, необходимо найти какое-то иное удовлетворительное решение... В общем смысле мы должны думать о здании, обладающем изменяемыми свойствами, применительно ко времени года» [2].

Возрастающие требования к теплозащитным качествам светопрозрачных конструкций заставляют задуматься о необходимости качественного скачка как в технологиях, так и в принципиальных подходах к разработке архитектурно-конструктивных решений светопрозрачных оболочек. Так, если до 2008 г. в Германии требуемое приведенное сопротивление теплопередаче окон составляло порядка  $R = 0,66 \dots 0,71 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C/Bt}$ , то к 2012 г. требования нормативов достигли  $R = 1,00 \dots 1,25 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C/Bt}$  [3].

Наряду с особенностями экономики, динамика роста теплозащитных показателей отражает тенденции к достижению предела возможностей массовых стеклопакетов [4—7]. В европейской строительной практике решение указанной проблемы в основном развивается в области разработки вакуумных стеклопакетов (рис. 1) [8], а также разнообразных концептуальных решений систем светопрозрачных двойных фасадов.

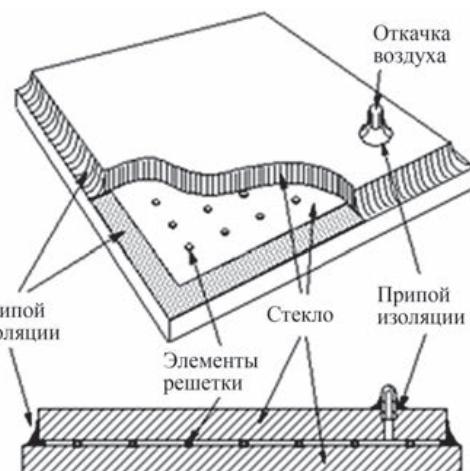


Рис. 1. Конструкция вакуумного стеклопакета [8]

Конструктивно вакуумные стеклопакеты [9] представляют собой изделие из двух стекол с промежутком между ними до миллиметра. Для обеспечения герметичности они спаяны по краям. Из камеры между стеклами откачивается воздух, что приводит к образованию вакуума. От схлопывания такой стеклопакет предохраняют распорки между стеклами (пиллеры), выполненные из стеклокерамики и расположенные по сетке с шагом порядка 20...40 мм.

Преимуществом вакуумных стеклопакетов является высокое приведенное сопротивление теплопередаче  $R = 1,25 \dots 1,50 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$  и, что очень важно для проектировщиков, отсутствие проблемы климатических нагрузок, которые приводят не только к искажающей кривизне фасадов, но и к нарушению герметизации и разрушению обычных стеклопакетов.

Основной идеей двойного фасада [10] является создание некоторой дополнительной буферной зоны между основной светопрозрачной оболочкой здания, обеспечивающей основные теплозащитные функции, и наружной средой. Технически это осуществляется за счет наружного светопрозрачного экрана «в одно стекло». Это решение позволяет в значительной степени повысить такие показатели наружной светопрозрачной оболочки, как надежность, ремонтопригодность и долговечность (рис. 2) [11].

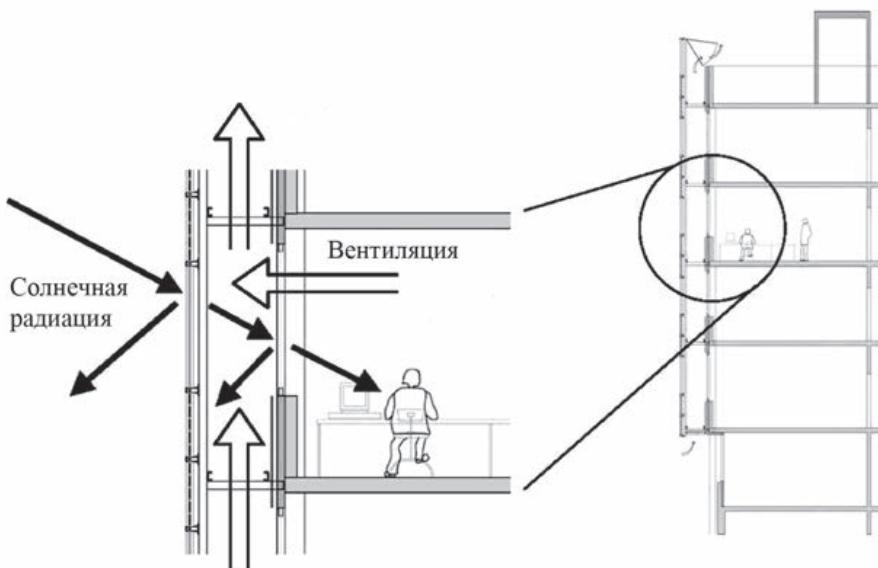


Рис. 2. Общая концепция двойного стеклянного фасада — создание буферной зоны между основной светопрозрачной оболочкой здания и наружной средой [11]

Перераспределение функций между наружным защитным экраном в одно стекло и основным функциональным контуром остекления из стеклопакетов, значительно разгружает стеклопакет — полностью снимает с наружного стекла пакета нагрузку от ветра (в светопрозрачных кровлях — от снега), стабилизирует и снижает циклические знакопеременные напряжения в наружном стекле и краевой зоне, вызываемые климатическими нагрузками [12].

Помимо очевидных конструктивных преимуществ, двойной фасад, несомненно, расширяет и рамки архитектурного творчества, позволяя снять зрительные ограничения в пропорциональном соотношении стекла и непрозрачных частей, решить проблему искажающей кривизны фасадов, создать новый стиль для реконструируемых зданий.

Разработки в области двойных фасадов, приоритетно характерные для стран Северной Европы, тесно увязаны с противоречивой и много обсуждаемой проблемой, связанной с солнечной энергией.

Проблема перегрева остекленных помещений не может быть решена в рамках конструктивных возможностей остекления. Закономерности передачи различных видов излучения через светопрозрачные конструкции в сочетании с непредсказуемостью и высокой уязвимостью стеклянных пластин под действием температурных напряжений, ограничивают возможности солнцезащитных стекол как средства защиты помещений от избыточного теплового воздействия солнечной радиации.

Как показывают результаты исследований, наибольший эффект обеспечивают системы наружной солнцезащиты, как правило, сочетающие с разнообразными режимами управляемого интенсивного охлаждения здания за счет вентиляции (рис. 3) [13]. Немаловажным аргументом в пользу наружной светопрозрачной оболочки является создание более мягкого и стабильного эксплуатационного режима стеклопакетов за счет снижения и выравнивания напряжений, вызванных перегревом.

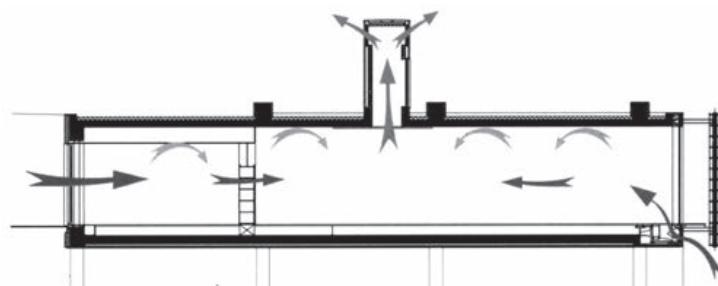


Рис. 3. Концепция охлаждения внутреннего пространства здания в летнее время за счет комбинированной системы приточной вентиляции и наружной солнцезащиты [13]

В наиболее распространенном случае подача приточного наружного воздуха в здание со стеклянными фасадами осуществляется через открывающиеся окна или приточные клапаны, располагаемые в плоскости остекления, чаще всего на северном фасаде (рис. 4). Вентиляционные окна или клапаны южного фасада располагаются, как правило, за экраном наружной солнцезащиты. Создается эффект сквозного проветривания здания. Аналогичный эффект использовался в СССР при проектировании зданий для крайних южных районов (Ташкент, Ашхабад и др.).

Наряду с высокой эффективностью и разнообразием архитектурных возможностей для систем наружной солнцезащиты характерна и проблема загрязнения и запыления конструкций, а также уязвимость при действии ветра. Эта проблема эффективно решается в системах двойных фасадов при расположении та в комбинации с открывающимися окнами [14]



Рис. 4. Дополнительная наружная солнцезащита в комбинации с открывающимися окнами [14]

солнцезащитных систем в буферной зоне за наружным экраном, а также за счет использования мобильных автоматически управляемых конструкций, убирающихся при получении соответствующего сигнала с датчика ветра.

Использование управляющих устройств автоматики в стеклянных зданиях напрямую отвечает концептуальной философии здания с мобильно изменямыми свойствами наружной оболочки. Яркое технологическое воплощение этой идеи, удачно сочетающее в себе оба базовых европейских постулата, а именно — энергоэффективность и зрительное единство с природой, представляет системная модель  $E^2$  (Энергия<sup>2</sup>(Energy<sup>2</sup>) — сохранение энергии и генерирование энергии), концерна ШУКО — крупнейшего европейского производителя системных решений для светопрозрачных оболочек [15].

Основная функция генерирования энергии в концепции  $E^2$  возложена на инновационные комбинированные фотогальванические модули, выполняемые на всю высоту этажа (рис. 5) и сочетающие в себе функции улавливания энергии и частичного затенения помещения (вместо штор). Солнечная энергия, улавливаемая этими элементами, трансформируется в абсорбирующий модуль для охлаждения воды, которая используется в системе кондиционирования здания.

Основная функция сохранения энергии в концепции  $E^2$  возложена на систему вентиляции, осуществляющей по принципам, отличным от традиционных зданий. На смену традиционным системам централизованной вентиляции здания, требующим устройства подвесных потолков и промежуточных технических этажей, в концепции  $E^2$  приходят компактные приточно-вытяжные приборы с электроприводами, располагаемые в уровне перекрытий вместе со сворачивающимися роллерами солнцезащиты и оснащенные устройствами рекуперации тепла.

Приведенный выше краткий анализ инновационных идей в области проектирования стеклянных зданий отражает наиболее приоритетные направления европейской инженерно-строительной науки в этой области. Наряду с общей тенденцией к созданию полностью автоматизированных комплексов, контролирующих параметры микроклимата и безопасности (возникновение пожара и задымление) и осуществляющих мобильное централизованное управление светопрозрачными конструкциями в так называемых системах интеллектуального здания, мы можем увидеть и определенные ярко выраженные тенденции в части непосредственного конструирования.



Рис. 5. Административное здание с вентиляционными клапанами и фотогальваническими модулями. Открывающиеся окна, расположенные за экраном наружной солнцезащиты

Наглядной иллюстрацией этого тезиса может послужить пример опытной реконструкции и мониторинга южного фасада здания общежития на территории Университета г. Тронхейма в Норвегии [16]. В рамках научного проекта, основной целью которого являлось исследование путей общего повышения энергоэффективности здания, южный фасад 5-этажного здания с традиционными окнами был облицован сплошным стеклянным экраном (рис. 6).

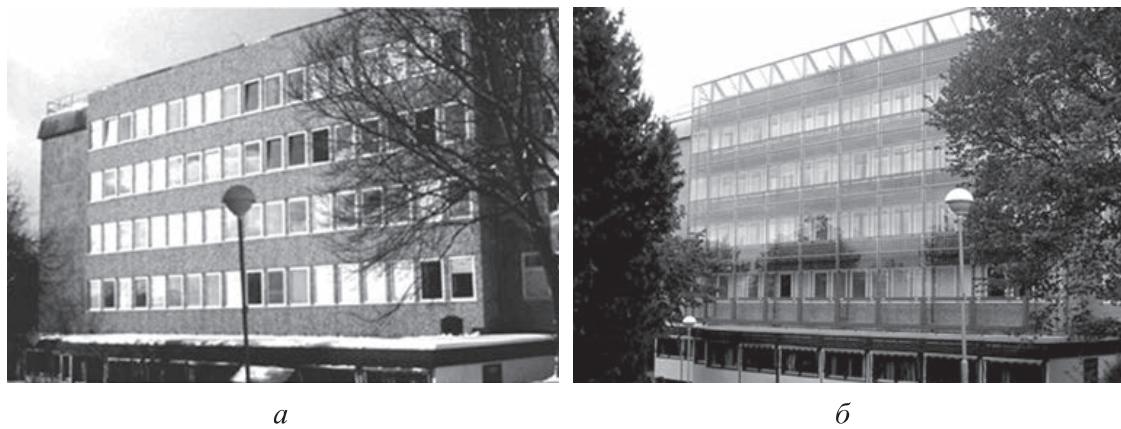


Рис. 6. Общий вид здания кампуса университета г. Тронхейма (Норвегия) до (а) и после (б) реконструкции [16]

При интенсивности и многочисленности европейских проектов и исследований в области формирования микроклимата подобных сооружений, адекватное решение проблемы перегрева помещений за остекленными ограждениями так и не найдено до сегодняшнего дня, а перед фактом непредсказуемого хрупкого разрушения строительного стекла человечество остается практически бессильным. Из этого логично вытекает ключевой принцип построения конструктивных схем стеклянных зданий, общепринятый сегодня на европейском континенте, — допустимость разрушения отдельного элемента светопрозрачной оболочки без нанесения вреда зданию как единой конструктивной системе и человеку, в нем находящемуся.

Таким образом, профессиональному строительному сообществу и представителям инвестиционной сферы сегодня необходимо думать, в частности, о таких принципиальных вещах как ограничение этажности стеклянных зданий, а также о всевозможных аспектах разумного использования стекла в архитектуре.

В качестве хорошей философской иллюстрации этих принципов, в значительной степени отражающей стремление человечества к зданию будущего, и современные европейские тенденции к сочетанию эстетики в архитектуре, эффективных конструкций и энергетики, может быть приведено описание Концепции здорового здания, разработанной крупным европейским производителем систем приточной вентиляции и солнцезащиты:

«Наше рационалистическое мышление хочет держать все под своим контролем и объяснять это формулами и вычислениями. Однако некоторые фундаментальные законы природы до сих пор так и не имеют объяснения. Комфорт нельзя выразить посредством цифр; точно также как нельзя определить математически ощущение свободы. Эта движущая сила, порождаемая природными явлениями, является чем-то находящимся вне нашего сознания... Поэтому самое лучшее описание Концепции Здорового

Здания выглядят следующим образом: "пребывание в здоровом здании аналогично нахождению под открытым небом в тени дерева; вся разница заключается только в невидимой прозрачной оболочке, которой ты отгорожен от всех негативных природных явлений"» [14].

Учитывая все вышеописанные инновационные тенденции, мы можем сформулировать основные теоретические принципы проектирования зданий со светопрозрачными наружными оболочками, отражающими технический уровень на современном этапе [12]:

возрастающие требования к теплозащитным качествам светопрозрачных конструкций. Решение указанной проблемы в основном развивается в области разработки вакуумных стеклопакетов, а также разнообразных концептуальных решений систем светопрозрачных двойных фасадов;

широкое применение системы наружной солнцезащиты, как правило, сочетаемое с разнообразными режимами управляемого интенсивного охлаждения здания за счет вентиляции;

использование управляющих устройств автоматики в стеклянных зданиях с мобильно изменяемыми свойствами наружной оболочки.

### **Библиографический список**

1. *Maritz Vandenberg*. Farnsworth House (Architecture in Detail), Mies van der Rohe. Phaidon Press Inc., 2005. 60 р.
2. *Schossing E., Behnisch S. and Fisch N.* About energy and architecture // Profile — Architecture Magazine. Schueco International KG. 2007. No. 5. Pp. 11—13.
3. *Бениц-Вильденбург Ю.* Новейшие технологии теплоизоляции и вентиляции с помощью окон и фасадов // Окна. Двери. Витражи. 2008. Бизнес-выпуск. Режим доступа: [http://okna.ua/library/art-novejshie\\_tehnologii\\_teploizoljacii\\_i\\_1](http://okna.ua/library/art-novejshie_tehnologii_teploizoljacii_i_1). Дата обращения: 18.12.2013.
4. *Стратий П.В., Борискина И.В., Плотников А.А.* Климатическая нагрузка на стеклопакеты // Вестник МГСУ. 2011. № 2. Т. 2. С. 262—267.
5. *Плотников А.А., Стратий П.В.* Расчет климатической нагрузки на стеклопакет на примере г. Москвы // Научное обозрение. 2013. № 9. С. 190—194.
6. *Стратий П.В., Плотников А.А., Борискина И.В.* Исследование прогибов стекол пакета при действии атмосферной составляющей климатической нагрузки // Жилищное строительство. 2011. № 4. С. 33—36.
7. *Александров Ю.П., Гликин С.М., Дроздов В.А., Тарасов В.П.* Конструкции с применением стеклопакетов. М. : Стройиздат, 1978. 193 с.
8. Вакуумный стеклопакет: будущее пока туманно // Окна. Двери. Фасады. 21.04.2013. Режим доступа: [http://odf.ru/stat\\_end.php?id=483](http://odf.ru/stat_end.php?id=483). Дата обращения: 18.12.2013.
9. *Rosca M.* Инновационное использование стекла : доклад на 2-м специализированном конгрессе «Окна — фасады — стекло», Москва, 2007. Режим доступа: [http://cwe.ru/archive/detail.php?el=1039&phrase\\_id=439020](http://cwe.ru/archive/detail.php?el=1039&phrase_id=439020). Дата обращения: 18.12.2013.
10. *Tenhunen O., Lintula K., Lchtinen T., Lehtovaara J., Viljanen M., Kesti J., Makelainen P.* Double skin facades — Structures and Building Physics // Conceptual Reference Database for Building Envelope Research. Режим доступа: <http://users.encs.concordia.ca/~raojw/crd/reference/reference001114.html>. Дата обращения: 18.12.2013.
11. *Basnet Arjun.* Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into Buildings : Master's Thesis in Sustainable Architecture. Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture and Fine Arts. Trondheim. June 2012. 96 p. Режим доступа: <https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/48431699/Master-Basnet.pdf?version=1&modificationDate=1339765553000&api=v2>. Дата обращения: 18.12.2013.

12. Schittich C., Staib G., Balkow D., Schuler M., Sobek D. Glass Construction Manual. Birkhauser Basel, 1999. 328 p.

13. Aschehoug Ø., Bell D. BP SOLAR SKIN — A facade concept for a sustainable future // SINTEF Report. May 2003. Режим доступа: <http://www.sintef.no/upload/BP%20Solar%20Skin%20-%20Final%20Report.pdf>. Дата обращения: 18.12.2013.

14. RENSON. Reference book, 2nd ed. Waregem, Belgium, 2008. Режим доступа: <http://www.rensonuk.net/reference-books-referencebook-2008.html>. Дата обращения: 18.12.2013.

15. Innovations / Energy2 : Saving Energy — Generating Energy. Schüco International KG. 35 p. Режим доступа: <http://www.alukoengstahl.com/AKS/UI/AKSImage.aspx?TabID=0&Alias=Stahl&Lang=hr-HR&Domain=hr&ec=1&imageID=53a7a6f9-54ee-4ac7-935d-96855e8a7546>. Дата обращения: 18.12.2013.

16. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий. Киев : Изд. Домашевская О.А., 2005. 312 с.

*Поступила в редакцию в январе 2015 г.*

Об авторе: **Плотников Александр Александрович** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, plaa@go.ru.

Для цитирования: Плотников А.А. Архитектурно-конструктивные принципы и инновации в строительстве стеклянных зданий // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 7—15.

#### A.A. Plotnikov

#### ARCHITECTURAL AND ENGINEERING PRINCIPLES AND INNOVATIONS IN THE CONSTRUCTION OF GLASS-FACADE BUILDINGS

Though the technologies are dynamically developing and there are a lot of research projects, there is still no general opinion on a glass-facade building among the European scientific community, architects and construction engineers. The increasing requirements to heat-protective qualities of translucent structures make us think of the necessity of a quantum leap both in technologies and in principal approaches to the development of architectural and constructive solutions of translucent shells. Together with economical features, the dynamics of heat-protective indicators' increase show the tendencies to reaching the possibilities limits of mass glass units. The European construction practice usually solve this problem by developing sealed insulating glass units and by different conceptual solutions of the systems of translucent double facades.

In the given article the basic theoretical principles and innovative engineering ideas are formulated dealing with the modern glass-facade building construction. "Green Building" conception is analyzed as a European new building philosophy.

**Key words:** Green building, building envelope, translucent structures, ecology, energy efficiency, sealed insulating glass unit, curtain wall, sun protection

#### References

1. Maritz Vandenberg. Farnsworth House (Architecture in Detail), Mies van der Rohe. Phaidon Press Inc., 2005, 60 p.
2. Schossing E., Behnisch S., Fisch N. About Energy and Architecture. Profile — Architecture Magazine. Schueco International KG, 2007, no. 5, pp. 11—13.
3. Benits-Vil'denburg Yu. Noveyshie tekhnologii teploizolyatsii i ventilyatsii s pomoshch'yu okon i fasadov [New Heat Insulating and Ventilation Technologies with the Help of Windows

- and Facades]. *Okna. Dveri. Vitrazhi* [Windows. Doors. Stained Glass]. 2008, Business Issue. Available at: [http://okna.ua/library/art-novejshie\\_tehnologii\\_teploizoljacii\\_i\\_1](http://okna.ua/library/art-novejshie_tehnologii_teploizoljacii_i_1). Date of access: 18.12.2013. (In Russian)
4. Stratiy P.V., Boriskina I.V., Plotnikov A.A. Klimaticheskaya nagruzka na steklopakety [Climatic Load on Insulating Glass Units]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 2, vol. 2, pp. 262—267. (In Russian)
  5. Plotnikov A.A., Stratiy P.V. Raschet klimaticheskoy nagruzki na steklopaket na primere g. Moskvy [Calculating the Climatic Load on Glass Units on the Example of Moscow]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2013, no. 9, pp. 190—194. (In Russian)
  6. Stratiy P.V., Plotnikov A.A., Boriskina I.V. Issledovanie progibov stekol paketa pri deystvii atmosfernoy sostavlyayushchey klimaticheskoy nagruzki [Investigation of Glass Unit Deflection in the Case of Atmospheric Impact of the Climatic Load]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011, no. 4, pp. 33—36. (In Russian)
  7. Aleksandrov Yu.P., Glikin S.M., Drozdov V.A., Tarasov V.P. *Konstruktsii s primeneniem steklopaketov* [Structures with Insulating Glass Units]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978, 193 p. (In Russian)
  8. Vakuumnyy steklopaket: budushchee poka tumanno [Sealed Insulating Glass Unit. The Future is still Cloudy]. *Okna. Dveri. Fasady* [Windows. Doors. Facades]. 21.04.2013. Available at: [http://odf.ru/stat\\_end.php?id=483](http://odf.ru/stat_end.php?id=483). Date of access: 18.12.2013. (In Russian)
  9. Rossa M. *Innovationsnoe ispol'zovanie stekla: doklad na 2-m spetsializirovannom kongresse «Okna — fasady — steklo»* [Innovative Use of Glass: Report on the 2nd Subject-oriented Congress “Windows — Facades — Glass”]. Moscow, 2007. Available at: [http://cwe.ru/archive/detail.php?el=1039&phrase\\_id=439020](http://cwe.ru/archive/detail.php?el=1039&phrase_id=439020). Date of access: 18.12.2013. (In Russian)
  10. Tenhunen O., Lintula K., Lchtinen T., Lehtovaara J., Viljanen M., Kesti J., Makelainen P. Double Skin Facades — Structures and Building Physics. Conceptual Reference Database for Building Envelope Research. Available at: <http://users.encs.concordia.ca/~raojw/crd/reference/reference001114.html>. Date of access: 18.12.2013.
  11. Basnet Arjun. Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into Buildings: Master's Thesis in Sustainable Architecture. Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture and Fine Arts, Trondheim, June 2012, 96 p. Available at: <https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/48431699/Master-Basnet.pdf?v=ersion=1&modificationDate=1339765553175>. Date of access: 18.12.2013.
  12. Schittich S., Staib G., Balkow D., Schuler M., Sobek D. Glass Construction Manual. Birkhauser Basel, 1999, 328 p.
  13. Aschehoug Ø., Bell D. BP SOLAR SKIN — A Facade Concept for a Sustainable Future. SINTEF Report, May 2003. Available at: <http://www.sintef.no/upload/BP%20Solar%20Skin%20-%20Final%20Report.pdf>. Date of access: 18.12.2013.
  14. RENSON. Reference book, 2nd ed. Waregem, Belgium, 2008. Available at: <http://www.rendonuk.net/reference-books-referencebook-2008.html>. Date of access: 18.12.2013.
  15. Innovations / Energy2: Saving Energy — Generating Energy. Schüco International KG. 35 p. Available at: <https://www.alukoengstahl.com/AKS/UI/AKSImage.aspx?TabID=0&Alias=Stahl&Lang=hr-HR&Domain=hr&ec=1&imageID=53a7a6f9-54ee-4ac7-935d-96855e8a7546>. Date of access: 18.12.2013.
  16. Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zakharov A.V. *Proektirovanie sovremennoykh okonnykh sistem grazhdanskikh zdaniy* [Design of Modern Window Systems of Civil Buildings]. Kiev, Domashevskaya O.A. Publ., 2005, 312 p. (In Russian)

**About the author:** **Plotnikov Aleksandr Aleksandrovich** — Candidate of Technical Sciences, senior research worker, Professor, Department of Civil and Industrial Buildings Architecture, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; [plaa@go.ru](mailto:plaa@go.ru).

**For citation:** Plotnikov A.A. Arkhitekturno-konstruktivnye printsipy i innovatsii v stroitel'stve steklyannykh zdaniy [Architectural and Engineering Principles and Innovations in the Construction of Glass-Facade Buildings]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 11, pp. 7—15. (In Russian)