

Новые решения для светопрозрачных конструкций

Т.А. АХМЯРОВ, А.В. СПИРИДОНОВ¹, И.Л. ШУБИН

НИИ строительной физики РААСН, Москва

Аннотация

Светопрозрачные конструкции – самое «слабое звено» ограждающей оболочки здания в плане теплотехнических характеристик. Однако по санитарным нормам применение естественного освещения обязательно как в жилых и общественных, так и в большинстве производственных зданий.

В последние годы происходит достаточно активное развитие светопрозрачных конструкций и фасадов – как по повышению функциональных и эксплуатационных показателей, так и по использованию современных технологий. В статье приведены сведения об основных направлениях развития светопрозрачных конструкций, наметившихся в последние годы.

Повышение теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций в основном происходит сейчас за счёт «пассивных» приёмов (увеличение числа камер в стеклопакете и числа стёкол с селективным покрытием, использование более эффек-

тивных инертных газов, повышение толщины рамных профилей и пр.). Однако такой подход в большинстве случаев экономически неэффективен.

На основе предложенных авторами новых принципов проектирования ограждающих конструкций стало возможным получать энергоэкономичные вентилируемые светопрозрачные конструкции, обеспечивающие как возврат (рекуперацию) значительной части тепла, ранее уходившего в атмосферу, так и вентилирование наружным воздухом помещений через наружные ограждения, включая окна и фасады, фактически без дополнительных энергетических потерь.

Ключевые слова: энергоэффективные конструкции, ограждающие конструкции, вентилируемые конструкции, светопрозрачные конструкции, система активного энергосбережения, рекуперация тепла.

Светопрозрачные конструкции (СК) – самое «слабое звено» ограждающей оболочки здания по теплотехническим характеристикам. Так, минимально необходимые при-

ведённые сопротивления теплопередаче (ПСТ) стен существенно отличались от ПСТ окон и балконных дверей для Москвы: в соответствии с нормами 1995 г. [1] – в 2,94 раза (1,0 и 0,34 м²·°С/Вт), а по общероссийскому документу 2012 г. [2] – аж в 5,80 раз (3,13 и 0,54 м²·°С/Вт). Правда, в московских нормативных документах [3], предназначенных для проектирования зданий, начиная с 2016 г., этот разрыв несколько уменьшен – «всего» 3,8 раза (3,80 и 1,0 м²·°С/Вт).

С точки зрения строительной теплофизики для экономии энергии на эксплуатацию зданий более выгодным, конечно, кажется вообще не использовать СК. Однако по санитарным нормам применение естественного освещения пока обязательно как в жилых и общественных, так и в большинстве производственных зданий [4], а нерациональность строительства безоконных зданий была доказана ещё в 40–60-х гг. прошлого века [5–8].

В связи с изложенным выше основные реальные теплотери из помещений происходят именно через СК – от 30 до 60% от общих теплотерь зданий через ограждающие конструкции (в зависимости от конструкции окон и фасадов, климатических условий, методики оценки и ряда других показателей).

В последние годы происходит достаточно активное развитие СК и фасадов – как по повышению функциональных и эксплуатационных показателей, так и по внедрению прогрессивных технологий, в том числе с использованием К- и И-стёкол².

¹ E-mail: spiridonov@aprok.org

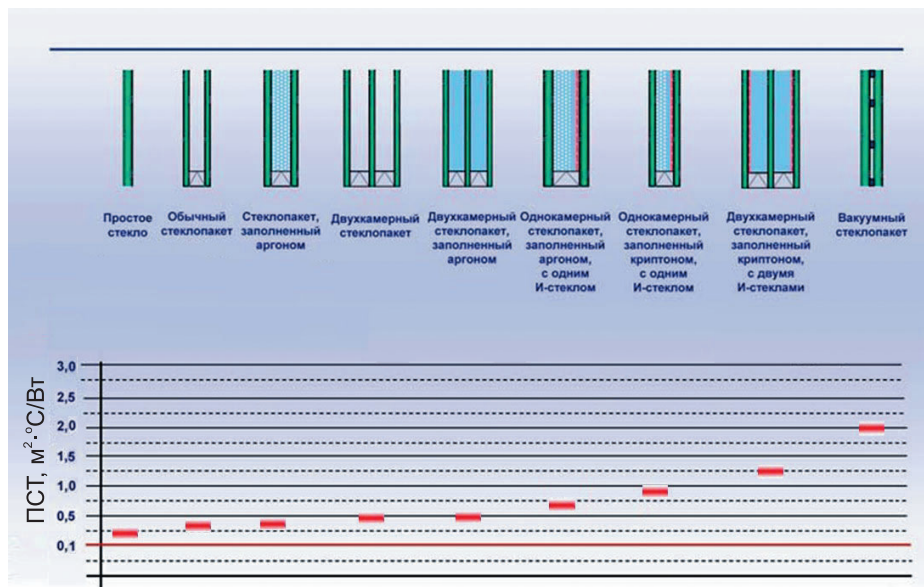


Рис. 1. Развитие светопропускающего заполнения оконных конструкций

² **К-стекло** – это высококачественное стекло с низкоэмиссионным покрытием, нанесённым на одну поверхность стекла в течение его производства флотат-методом. Многоступенчатое металлизированное покрытие методом пиролиза наносится на поверхность стекла в момент, когда стекло всё ещё имеет очень высокую температуру (> 600 °С). При этом происходит проникновение молекул металлизированного покрытия вглубь кристаллической решётки стекла. Покрытие как бы ламинируется слоем стекла, что делает его очень устойчивым, чрезвычайно механически прочным и постоянным. Данная технология носит название «жесткое покрытие».

И-стекло – это высококачественное стекло с низкоэмиссионным покрытием,

Рис. 1 и 2 отражают процесс совершенствования светопропускающего заполнения и деревянных окон в отношении ПСТ.

На сегодня большинство серьезных компаний-изготовителей СК могут без значительных проблем массово производить окна и фасады с ПСТ $0,8-0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ [9]. Однако для того, чтобы добиться значений этого показателя, характеризующего теплотехническую эффективность конструкций, выше $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, необходимо использование новых (и довольно дорогостоящих) технологических решений.

В то же время известны [10, 11] СК, разработанные в последние годы, ПСТ которых достигает $1,5-2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

В качестве вариантов улучшения ряда функциональных показателей традиционных СК и их остекления сегодня используется много технологических новинок, в том числе:

- **электрохромные стекла** (эта технология разрабатывалась довольно долго, уже доведена до массового промышленного производства и показала свою эффективность при остеклении оконных и фасадных конструкций – особенно в регионах с жарким климатом, а также на южных и западных фасадах зданий. Суть этой технологии заключается в возможности изменения светопропускания остекления за счёт использования специальных покрытий, под воздействием на них электрического тока, что позволяет обеспечивать в помещениях комфортный микроклимат);

- **новые поколения теплоотражающих и многофункциональных стёкол** (их получают с использовани-

ем, нанесённым на одну поверхность стекла в условиях вакуума (методом магнетронного напыления) металлосодержащих соединений, обладающих заданными избирательными свойствами. Данные покрытия, нанесённые на стекло, носят название «мягких покрытий». Существенный недостаток И-стекла – низкая химическая устойчивость покрытия. Отсюда и особые требования к И-стеклу. Хранение в герметичной упаковке и ограниченный срок монтажных работ в открытой среде. В среде же инертного газа материал покрытия на И-стекле полностью защищён от воздействия кислорода воздуха и работоспособен вплоть до разгерметизации стеклопакета.

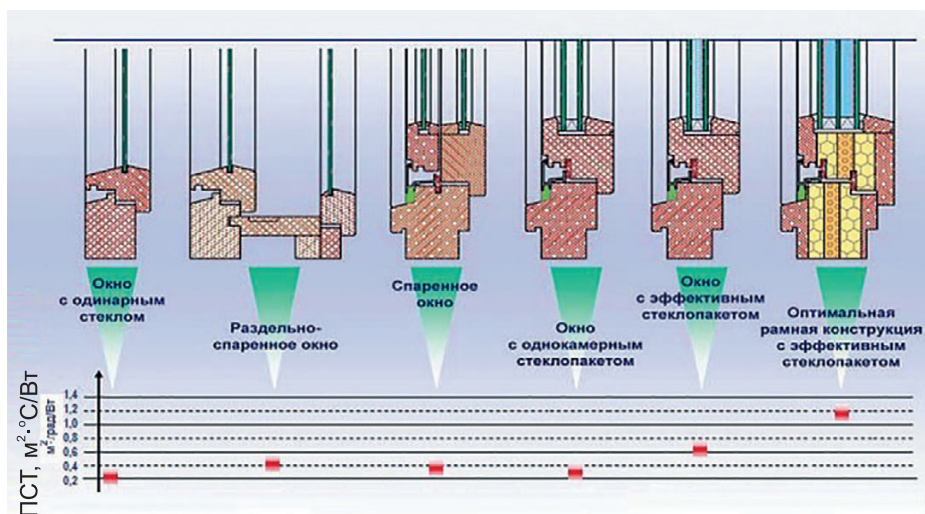


Рис. 2. Развитие конструкций деревянных окон

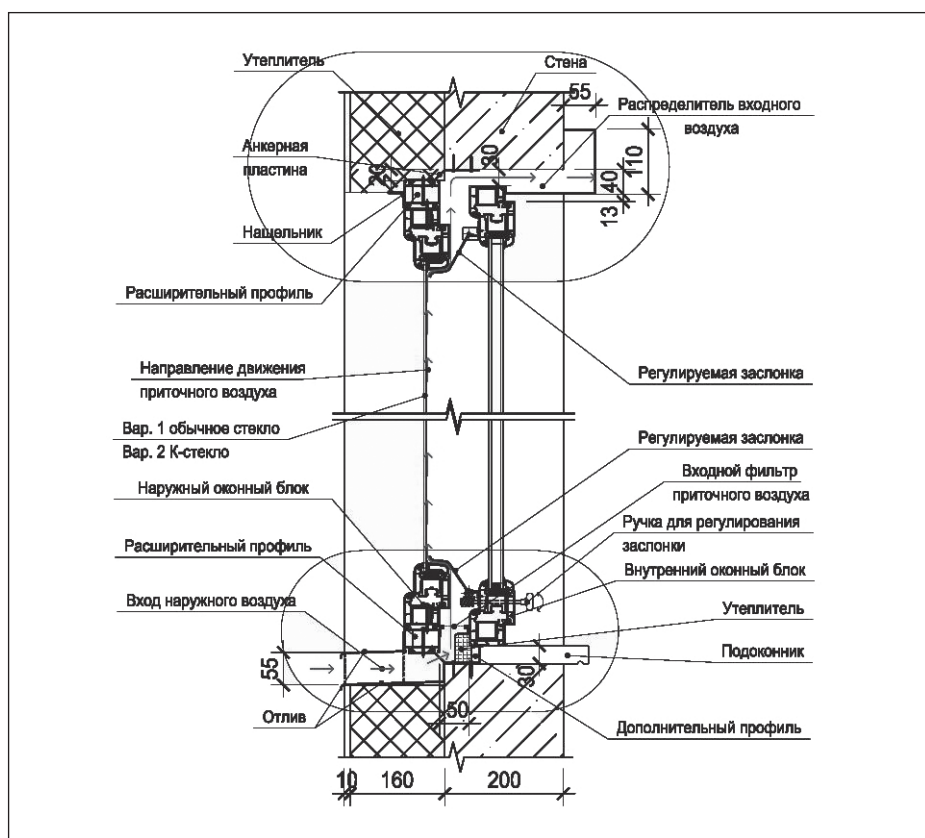


Рис. 3. Раздельный блок с использованием ПВХ-конструкций (стекло + стеклопакет)

ем как традиционного магнетронного напыления специальных покрытий на стёкла, так и – «наливных» и других технологий, что позволяет улучшать теплотехнические и светотехнические характеристики стеклопакетов, обеспечивать их эффективную работу в зимних и летних условиях эксплуатации);

- **стёкла с фотоэлектрическим эффектом** (только в последние несколько лет удалось разработать специальные полупрозрачные покрытия стё-

кол, обладающие способностью преобразования солнечного излучения в электрическую энергию с удовлетворительным КПД, что позволяет использовать в инженерных системах зданий практически неиспользуемые ранее фасады зданий и наделять дополнительной энергетической эффективностью СК и фасадные конструкции);

- **вакуумные стеклопакеты** (впервые они появились на рынке в начале 90-х, имея не только хорошие тепло-

технические характеристики, но и ряд серьёзных ограничений по применению в большинстве зданий. Однако в последние годы был достигнут значительный прогресс в доведении этих перспективных конструкций до промышленного производства, поэтому следует ожидать резкого увеличения предложения подобных стеклопакетов во многих странах – в государствах-членах ЕС, США, КНР, Японии и, может быть, РФ, что позволит значительно повысить теплотехнические характеристики традиционных оконных конструкций (рис. 1));

- **стеклопакеты с электронагревом** (в последнее десятилетие стали очень популярны светопрозрачные покрытия крыш, перекрытия атриумов, стеклянные козырьки и т.п., которые в условиях РФ требуют удаления снеговых отложений. Для таких конструкций, а также для удаления конденсата в ограждениях бассейнов, стали очень актуальны стеклопакеты и стёкла с электрообогревом, изготавливаемые с использованием, как правило, стёкол с твёрдым теплоотражающим покрытием. Путём пропускания по теплоотражающему покрытию электрического тока можно регулировать температуру стекла в достаточно широких пределах. Также эффективно применение подобных стеклопакетов в северных климатических зонах России – для увеличения зоны комфорта в жилых и рабочих помещениях);

- **заполнение межстекольного пространства стеклопакетов аэрогелем** (попытки заполнения аэрогелем межстекольного пространства стеклопакетов ведутся с конца 70-х гг. и связаны с уникальными теплотехническими характеристиками этого материала, открытого в 1931 г. американским химиком Стивеном Кистлером. Однако, несмотря на потрясающе низкую теплопроводность и высокую прочность аэрогеля, при его использовании в стеклопакетах возникает целый ряд технологических проблем, связанных как с заполнением полости между стёклами, так и с его высокой гигроскопичностью. Кроме того, этот материал полупрозрачен, а также довольно дорог, что также мешает его широкому применению. При этом, по некоторым данным, в последнее время в использовании аэрогелей в оконной промышленности был достигнут значительный прогресс);

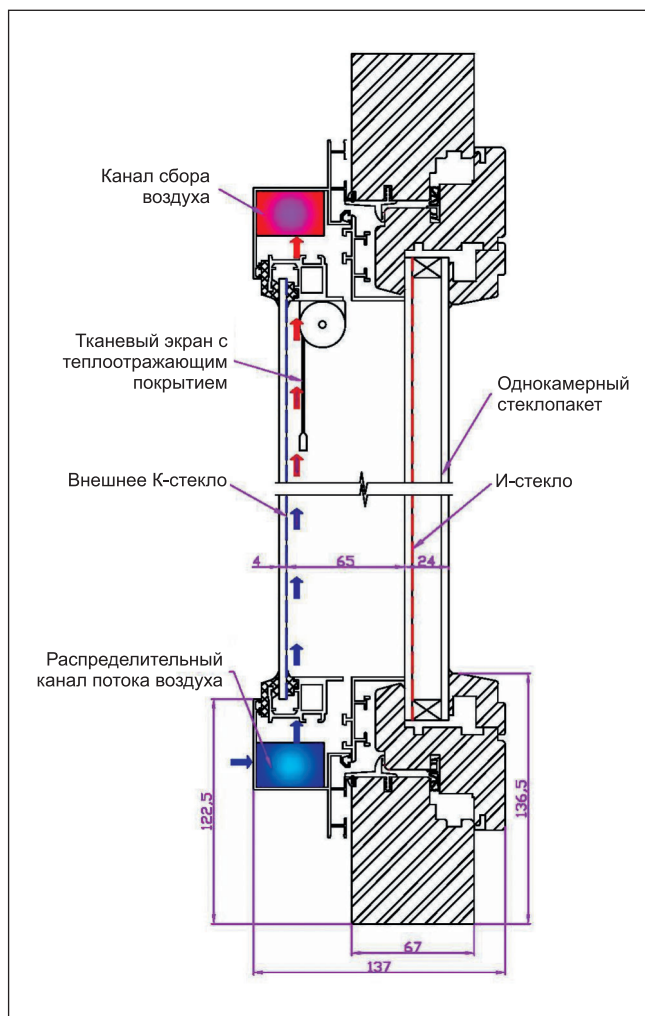


Рис. 4. Деревяно-алюминиевый блок с активной рекуперацией выходящего теплового потока

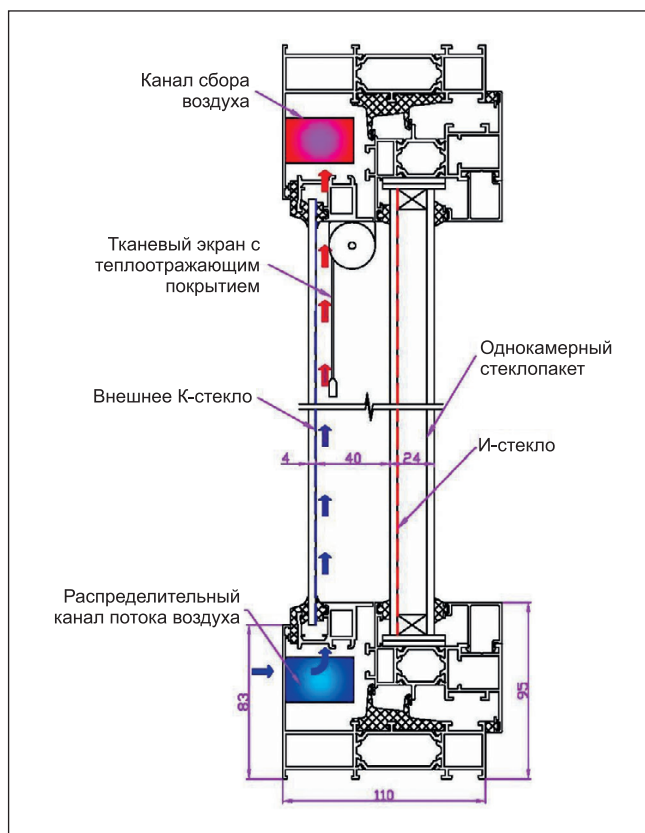
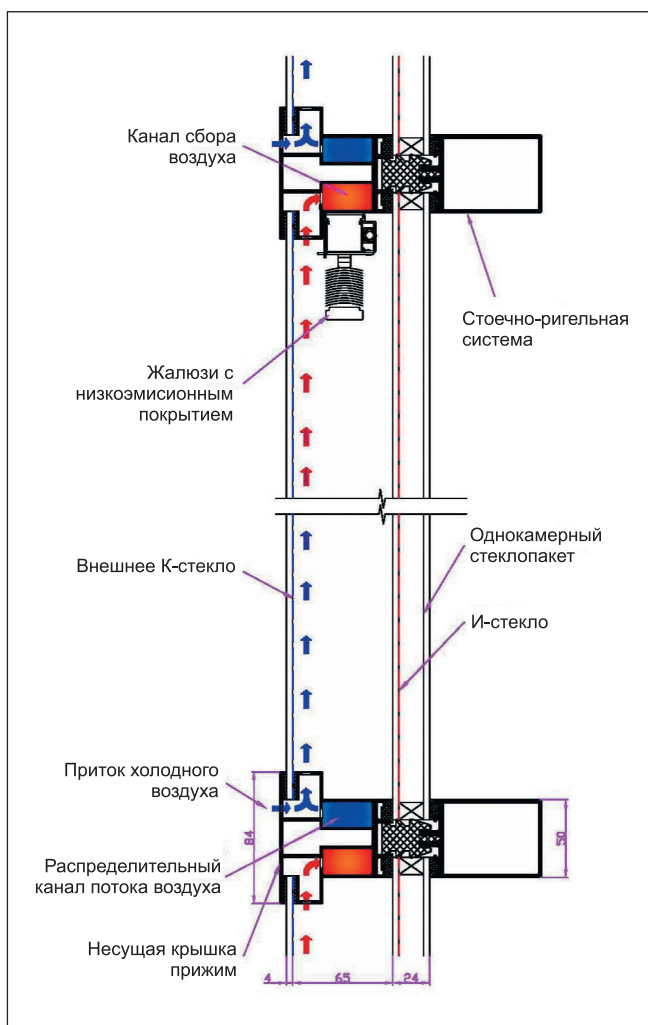


Рис. 5. Тёплое алюминиевое окно с активной рекуперацией выходящего теплового потока

Рис. 6. Стоечно-ригельная алюминиевая система с активной рекуперацией выходящего теплового потока



- **композитные материалы рамных конструкций** (для повышения прочности и исключения стальных усилителей в стандартных ПВХ-профилях, а также для повышения теплотехнических характеристик окон в целом, было разработано целое поколение оконных профилей из разных композитных материалов – в том числе стекловолокна, комбинации ПВХ и стеклопластика, смеси деревянных опилок и ПВХ крошки и многих других. Большинство из них, однако, пока имеют ограниченное использование. В то же время в связи с повышением теплотехнических и экологических требований к оконным конструкциям в большинстве развитых стран и необходимостью утилизации отходов от производства ПВХ- и других видов оконных конструкций в последние годы многие крупные фирмы обратили на эти материалы повышенное внимание, что позволяет надеяться на расширение их использования в ближайшие годы).

Следует отметить, что повышение теплотехнических характеристик СК в основном ещё осуществляется «пассивными» приёмами (увеличение числа камер в стеклопакете, числа стёкол с селективным покрытием, использование более эффективных инертных газов, повышение толщины рамных профилей и пр.). Однако, как и в ситуации с непрозрачными ограждениями [12], такой подход к повышению ПСТ СК в большинстве случаев экономически неэффективен: увеличение числа слоёв стекла, естественно, снижает светопропускание конструкции.

Кроме того, переход в массовом строительстве на современные герметичные окна со стеклопакетами, наряду с положительными факторами, такими как удобство эксплуатации, снижение теплопотерь и улучшение акустических характеристик, привёл к ухудшению воздушного режима помещений. Практически все оконные и фасадные конструкции «европейского образца» не обеспечивают

нормативного воздухообмена в помещениях. Это приводит как к неблагоприятным условиям микроклимата в них, так и к появлению на внутренних откосах и стенах грибка и плесени. Предлагаемые многими фирмами-производителями окон «залповые проветривания» помещений некомфортны и нивелируют все усилия по повышению теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций, а также дискредитируют саму политику энергосбережения. Для улучшения вентиляции помещений (особенно в многоэтажных зданиях с естественной вентиляцией, которая в большинстве из них практически не работает) стали популярны т.н. вентиляционные клапаны (устройства для проветривания помещений) [13]. Однако и они, очевидно, увеличивают стоимость СК.

На основе предложенных авторами новых принципов проектирования ограждающих конструкций [14], стало возможным получать энергоэкономичные вентилируемые СК, обеспечивающие как повышение их теплотехнических характеристик с возвратом (рекуперацией) значительной части теплового потока, ранее уходившего в атмосферу, так и вентилирование наружным воздухом помещений через наружные ограждения, включая окна и фасады, фактически без дополнительных энергетических потерь. Более подробно механизм предлагаемого принципа функционирования современных энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций (ЭВОК) описан ранее [12, 14, 15]. Следует только добавить, что совместное действие теплоотражающего экрана в воздушном промежутке и вентилирования через этот промежуток с активной рекуперацией тепла и влаги внутрь помещения наружным холодным воздухом **многократно повышает тепловой эффект**, что доказано экспериментально в постановочных экспериментах [15, 16].

Характер этих процессов зависит от геометрии воздушной прослойки, теплофизических характеристик материалов, температур внутреннего и наружного воздуха, расхода фильтрующегося воздуха, конструкции приёмных и выводящих клапанов. Для каждого конкретного модуля энергоэффективных вентилируемых светопрозрачных ограждающих конструкций (ЭВСОК) эти параметры могут

быть оптимизированы, а регулировка может осуществляться только положением теплоотражающих экранов и расходом поступающего воздуха с применением рециркуляции вентвыбросов.

На основе предложенных авторами новых принципов было разработано несколько вариантов ограждающих СК (рис. 3–6)³, в которых, пройдя созданную воздушную прослойку, нагретый наружный воздух поступает в рекуператор.

На рис. 3 приведена конструкция ЭВСОК, практически не требующая изменений в профильных системах: здесь совмещены рамы из ПВХ-профиля (одна с одинарным стеклом, вторая – со стеклопакетом), между которыми и организованы основные принципы продольно-поперечной вентиляции с активной рекуперацией теплового потока. Это достаточно простой способ модернизации СК, однако, достаточно затратный. Тем не менее и он быстро окупается за счёт резкого повышения теплотехнических характеристик окна.

В соответствии с предлагаемыми авторами принципами, довольно просто осуществима реконструкция популярных дерево-алюминиевых оконных блоков (рис. 4) – необходимы новые наружные алюминиевые профили. В пространстве между наружным стеклом и внутренним стеклопакетом размещается не только подъёмный теплоотражающий экран (жалюзи), но и необходимые для эффективной вентиляции межстекольного пространства и обеспечения активной рекуперации теплового потока распределительные устройства входа наружного воздуха и сбора нагретого воздушного потока.

Аналогично, по предлагаемой авторами концепции ЭВСОК с активной рекуперацией теплового потока, решается и вопрос совершенствования тёплого алюминиевого окна (рис. 5).

В современных алюминиевых стоечно-ригельных фасадных системах возможна установка стеклопакетов значительной толщины (до 75 мм и более). Это позволяет осуществлять модернизацию большинства современных фасадов по концепции ЭВСОК. Реализация идеологии энер-



Рис. 7. Новый облик старого здания (здание с двойным фасадом)

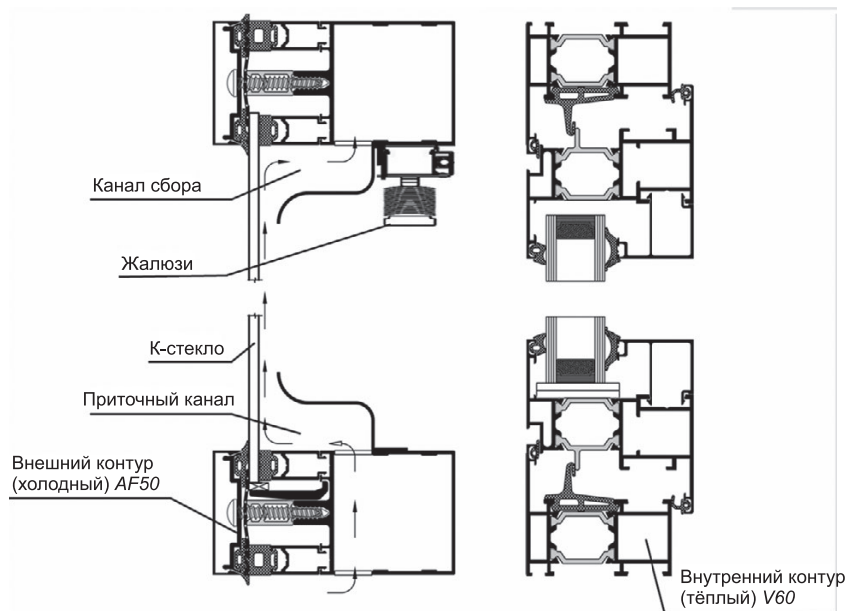


Рис. 8. Вариант двойного фасада с элементами активного энергосбережения

гоэффективных вентилируемых фасадных конструкций в этом случае возможна как на стандартных стеклопакетах, так и на несколько модифицированных алюминиевых профилях (рис. 6). Кроме того, использование предлагаемых авторами принципов особенно интересно в распространённых сегодня элементных фасадах в связи с тем, что возможно снижение относительных затрат на модернизацию конструкций за счёт использования систем распределения и сбора воздуха сразу на нескольких этажах.

Одной из главных проблем отечественного строительного комплекса

и ЖКХ является необходимость модернизации зданий, построенных в эпоху индустриального домостроения (50-е–начало 0-х гг.), которые имеют огромные теплотери через наружные ограждающие конструкции. Санация, как правило, проводится путём дополнительного утепления фасадов и замены некоторых инженерных систем. Проведённый в 2011–2013 гг. в Москве мониторинг затрат на отопление и вентиляцию осуществлённых проектов (более 150 объектов) показывает как энергетическую, так и экономическую неэффективность такого подхода.

³ Авторы благодарят компанию ADITIM и Олега Фомина за помощь в подготовке рис. 4–6 для настоящей статьи.

В последние годы довольно популярным способом реконструкции старых энергетически неэффективных зданий считается создание дополнительного второго фасада (рис. 7), что получило в зарубежной практике название «*double-skin facade*» (двойной фасад). Такой приём позволяет не только обеспечивать современные энергосберегающие свойства ограждающих конструкций, но и удобство обслуживания фасадов. Конечно, такой способ санации зданий значительно дороже, чем тот, что в подавляющем большинстве случаев применяется в нашей стране. Но и результат «дополнительного утепления фасадов», получаемый в России, неутешителен.

Предлагаемые авторами ЭВОК идеально подходят для устройства двойных фасадов и реконструкции старых зданий (рис. 8). При использовании наших предложений осуществимо не только дополнительное утепление наружных ограждений и достижение значений ПСТ, запланированных в РФ к 2030 г., уже сегодня, но и обеспечение комфортного микроклимата в помещениях зданий. Кроме того, предварительные оценки показывают, что при использовании ЭВОК и ЭВСОК возможна минимизация дополнительной наружной теплоизоляции, ведущая к меньшему сроку окупаемости затрат на санацию зданий.

Следует заметить, что ограждающие конструкции с активной рекуперацией теплового потока и влаги, основанные на принципах, изложенных в настоящей статье, а также в предыдущих публикациях авторов [12, 14], могут обеспечивать не только значительное увеличение приведённого сопротивления теплопередаче и уменьшение теплотерь из помещений [15], но и эффективно работают как в зимний период года (рекуперация теплового потока, уходящего из зданий), так и в летний жаркий (снижение затрат на кондиционирование).

Кроме того, при повышении теплотехнических характеристик СК за счёт использования предлагаемых технологий активного энергосбережения, появляется возможность увеличения относительной площади остекления фасадов, что ведёт к более эффективному использованию естественного освещения в строительстве. Это позволяет исключить негативное влияние использования дополнительных слоёв остекления и теплоотража-

ющих экранов на естественное освещение помещений. Следует ещё отметить и то, что теплоотражающие экраны могут использоваться только в тёмное время суток.

В заключение необходимо отметить, что реализация предложенных авторами ЭВСОК подходит практически ко всем видам оконных систем и профилей. Однако осуществление этого не так просто, как может показаться из приведённых выше схем (рис. 3–6, 8). Для каждого вида конструкций необходимы проведение соответствующих расчётов модулей ЭВСОК и организация систем вентилирования воздушных прослоек, а также создание системы сменных/регулируемых теплоотражающих экранов. Тем не менее получаемый выигрыш в энергосбережении оправдывает, по мнению авторов, эти затраты.

Авторы приглашают архитекторов, генеральных подрядчиков, инвесторов, компании-производители оконных системных профилей, СК и навесных фасадных систем к взаимовыгодному сотрудничеству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительные нормы и правила СНиП II-3–79* «Строительная теплотехника» (1995 г.)
2. Свод Правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (актуализированная редакция СНиП 23–02–2003).
3. Государственная программа города Москвы «Градостроительная политика на 2012–2016 годы».
4. Свод Правил СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23–05–95*).
5. Гусев Н.М. Основы строительной физики. – М.: Стройиздат, 1975. – 440 с.
6. Лицкевич В.К. Жилище и климат. – М.: Стройиздат, 1984. – 288 с.
7. Соловьёв А.К. Физика среды. – М.: АСВ, 2011. – 342 с.
8. Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Развитие светопрозрачных конструкций в России // Светотехника. – 2014. – № 3. – С. 46–51.
9. Спиридонов А.В. Выгодно ли устанавливать энергосберегающие окна? // Энергосбережение. – 2013. – № 3. – С. 62–67.
10. Carmody J., Selkowitz S., Arasteh D., Heschang L. Residential Windows – A Guide to New Technologies and Energy Performance. – New York: W.W.Norton, 2007. – 256 p.
11. Carmody J., Selkowitz S., Lee E., Arasteh D., Willmert T. Window Systems for High-Performance Buildings. – New York: W.W.Norton&Company, 2003. – 400 p.
12. Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Создание наружных огражда-

ющих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты // Энергосбережение. – 2014. – № 6. – С. 26–33.

13. СТО НОСТРОЙ 2.23.61–2012 «ОКНА. Часть 1. Технические требования к конструкциям и проектированию». – М.: БСТ, 2013. – 28 с.

14. Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Принципы проектирования и оценки наружных ограждающих конструкций с использованием современных технологий «активного» энергосбережения и рекуперации теплового потока // Жилищное строительство. – 2014. – № 6. – С. 8–13.

15. Ахмяров Т.А., Беляев В.С., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла // Энергосбережение. – 2014. – № 4. – С. 36–46.

16. Беляев В.С., Лобанов В.А., Ахмяров Т.А. Децентрализованная приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла // Жилищное строительство. – 2011. – № 3. – С. 73–77.



Ахмяров Тагир Алиевич,
инженер-физик.
Научный сотрудник
лаборатории
«Энергосберегающие
технологии
в строительстве»
НИИСФ РААСН.

Соискатель учёной степени кандидата техн. наук в НИИСФ РААСН



Спиридонов Александр Владимирович,
кандидат техн. наук.
Окончил в 1975 г.
МЭИ (специальность
«Светотехника и
источники света»)
Зав. лабораторией
«Энергосберега-

ющие технологии в строительстве» НИИСФ РААСН. Президент Ассоциации производителей энергоэффективных окон (АПРОК). Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники



Шубин Игорь Любимович, док-тор техн. наук, проф-фессор. Окончил в 1980 г. МИСИ им. В.В. Куйбышева. Директор НИИСФ РААСН. Советник РААСН. Заслуженный строитель РФ.

Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники