

Т.А. АХМЯРОВ, А.В. СПИРИДОНОВ, И.Л. ШУБИН
Научно-исследовательский институт строительной физики, Россия

НОВЫЕ ИДЕИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ И ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье представлены новые идеи для повышения энергетической эффективности светопрозрачных и фасадных конструкций. Реализация предложенных энергоэффективных вентилируемых светопрозрачных ограждающих конструкций может быть выполнена практически на всех видах оконных систем и профилей.

Ключевые слова: повышение энергетической эффективности, светопрозрачные конструкции

Светопрозрачные конструкции являются самым «слабым» элементом ограждающей оболочки здания с точки зрения теплотехнических характеристик. Так, минимально необходимые значения приведенного сопротивления теплопередаче стен, а также окон и балконных дверей для условий г. Москвы в соответствии с нормами 1995 г. [1] отличались в 2,94 раза (1,0 и 0,34 м²·°С/Вт), а в последнем общероссийском документе 2012 г. [2] - 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., это соотношение несколько уменьшено - «всего» 3,8 раза (3,80 и 1,00 м²·°С/Вт).

С точки зрения строительной теплофизики для экономии энергии на эксплуатацию зданий более выгодным, конечно, кажется вообще не использовать светопрозрачные конструкции. Однако, применение естественного освещения является пока обязательным по санитарным нормам как в жилых и общественных, так и в большинстве производственных зданий [4]. Нерациональность строительства безоконных зданий была доказана еще в 40-х-60-х годах прошлого века [5-8].

В связи с изложенным выше, основные реальные теплотери из помещений происходят именно через светопрозрачные конструкции - 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 светопрозрачных конструкций и фасадов - как с точки зрения повышения функциональных

и эксплуатационных показателей, так и по использованию современных технологий. На рисунках 1 и 2 показано совершенствование светопропускающего заполнения и деревянных окон по показателю приведенного сопротивления теплопередаче.

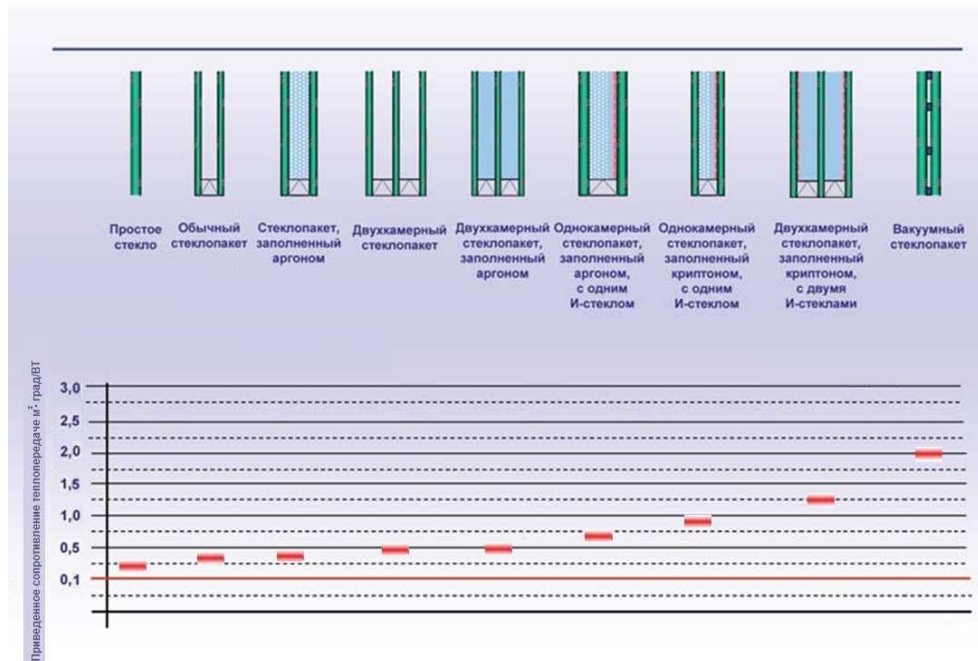


Рис. 1. Развитие светопропускающего заполнения оконных конструкций

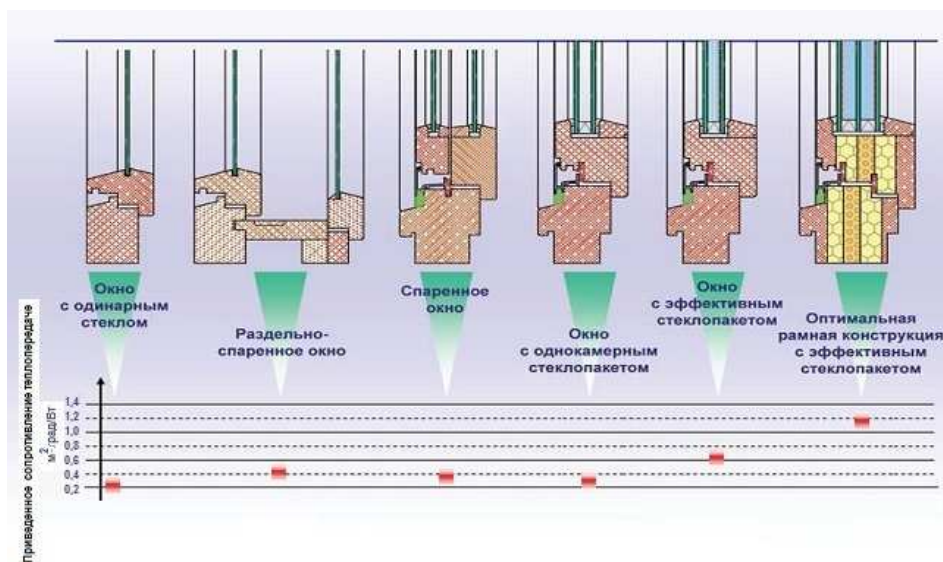


Рис. 2. Развитие конструкций деревянных окон

На сегодняшний день большинство серьезных компаний, изготавливающих светопрозрачные конструкции, могут без значительных проблем массово производить окна и фасады с приведенным сопротивлением теплопередаче $0,8 \div 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ [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] светопрозрачные конструкции, разработанные в последние годы, приведенное сопротивление теплопередаче которых достигает $1,5 \div 2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

В качестве вариантов улучшения ряда функциональных показателей традиционных светопрозрачных конструкций и их остекления в настоящий момент используется много различных современных технологических новинок, в том числе:

- **электрохромные стекла** (эта технология разрабатывалась довольно длительное время, однако, сегодня она 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 счет использования специальных покрытий под воздействием электрического тока, что позволяет обеспечить в помещениях комфортный микроклимат);
- **новые поколения теплоотражающих и многофункциональных стекол** (такие стекла получают с использованием как традиционного магнетронного напыления специальных покрытий на стекла, так и с применением «наливных» и других технологий, что позволяет улучшить теплотехнические и светотехнические характеристики стеклопакетов и обеспечить их эффективную работу в зимних и летних условиях эксплуатации);
- **стекла с фотоэлектрическим эффектом** (только в последние несколько лет удалось разработать специальные полупрозрачные покрытия стекол с удовлетворительным КПД, обладающие способностью преобразования солнечного излучения в электрическую энергию, что позволяет использовать в инженерных системах зданий практически неиспользуемые ранее фасады зданий и обеспечить дополнительную энергетическую эффективность светопрозрачных и фасадных конструкций);
- **вакуумные стеклопакеты** (впервые такие стеклопакеты появились на рынке в начале 90-х годов прошлого века, однако, они имели не только хорошие теплотехнические характеристики, но и ряд серьезных 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 ЕС, США, Китае, Японии и, может быть, в России, что позволит

- обеспечить значительное повышение теплотехнических характеристик традиционных оконных конструкций - см. рис. 1);
- **стеклопакеты с электронагревом** (в последнее десятилетие стали очень распространенными 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 популярными стеклопакеты и стекла с электрообогревом, которые изготавливаются с использованием, как правило, стекол с твердым теплоотражающим покрытием. За счет подведения к теплоотражающему покрытию электрического тока, возможно обеспечение регулирования температуры стекол в достаточно широких пределах. Также эффективным является 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 проводятся с конца 70-х годов прошлого века и связаны с уникальными теплотехническими характеристиками этого материала, открытого американским химиком Стивеном Кистлером в 1931 г. Однако, несмотря на потрясающе низкую теплопроводность аэрогеля и его высокую прочность, при практическом его использовании в стеклопакетах возникает целый ряд технологических проблем, связанных как с заполнением полости между стеклами, так и с его высокой гигроскопичностью. Кроме того, этот материал полупрозрачен, а также довольно дорог, что также мешает его широкому применению. По некоторым данным, в последние годы был достигнут значительный прогресс в использовании аэрогелей в оконной промышленности);
 - **композитные материалы рамных конструкций** (для повышения прочности, исключения стальных усилителей в стандартных ПВХ профилях, а также для повышения теплотехнических характеристик окон в целом, было разработано целое поколение оконных профилей из различных композитных материалов - в том числе, стекловолокна, комбинации ПВХ и стеклопластика, смеси деревянных опилок и ПВХ крошки и многих других. Большинство из них имеют, однако, ограниченное использование на сегодняшний день. В то же время, в связи повышением теплотехнических и экологических требований к оконным конструкциям в большинстве развитых стран, а также 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 светопрозрачных конструкций происходит в настоящее время, в основном, за счет «пассивных» мероприятий (увеличения числа камер в стеклопакете, числа стекол с селективным покрытием, использования более эффективных инертных

газов, повышения толщины рамных профилей и пр.). Однако, как и в ситуации с непрозрачными ограждениями [12], такой подход к повышению сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций неэффективен в большинстве случаев с экономической точки зрения.

В подавляющем большинстве многоэтажных зданий, построенных в СССР и строящихся в РФ сегодня, предусмотрена **исключительно** естественная вентиляция. В предыдущих редакциях нормативных документов даже указывалось, что «поступление свежего воздуха в помещения происходит через неплотности в оконных рамах». Именно поэтому, переход в массовом строительстве на современные герметичные окна со стеклопакетами, наряду с положительными факторами, такими как удобство эксплуатации, снижение теплопотерь и улучшение акустических характеристик, привел 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. Это не только чисто «российская» проблема - например, в США в начале - середине 80-х годов прошлого века была очень успешная когорта юристов, которых так и называли «mold lawyers» (адвокаты по плесени). И жили они очень хорошо - до того момента, пока не были разработаны специальные технические решения, обеспечивающие нормальный воздухообмен в помещениях с герметичными окнами.

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 популярными т.н. вентиляционные клапаны (устройства для проветривания помещений) [13]. Однако и они, очевидно, увеличивают стоимость светопрозрачных конструкций.

На основе предложенных авторами [14] новых принципов проектирования ограждающих конструкций, стало возможным получить энергоэкономичные вентилируемые светопрозрачные конструкции, обеспечивающие как повышение их теплотехнических характеристик с возвратом (рекуперацией) значительной части теплового потока ранее ушедшего в атмосферу, так и вентилирование наружным воздухом помещений через наружные ограждения, включая окна и фасады, фактически без дополнительных энергетических потерь.

Здание снаружи становится холоднее. Прохождение воздуха через специально организованную прослойку ведет к изменению температур ограждающих её стенок, радиационного теплообмена между помещением, стеклами и теплоотражающими экранами. Более подробно механизм предлагаемого

принципа функционирования современных энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций (ЭВОК) описан ранее [12, 14, 15]. Как известно, существуют три основных составляющих теплопотерь через наружные ограждения зданий. Примерно одна треть уходящей из здания энергии приходится на трансмиссионные теплопотери (конвекция и теплопроводность), а две трети - на радиационную составляющую теплопотерь.

Все вышеперечисленные составляющие теплопотерь находятся во взаимосогласованной связи. При активном воздействии на механизм одной из них (к примеру, самой мощной, радиационной) за счет установки в созданной воздушной прослойке теплоотражающего экрана, изменяются механизмы и условия действия и других составляющих теплопотерь в связи с тем, что реальный теплоотражающий экран, отражая тепловое излучение обратно внутрь помещения, нагревается и сам, что изменяет температурное поле вблизи него. Очень важно место размещения экрана, его характеристики и направление потока тепла от нагретого теплоотражающего экрана (уходит оно в атмосферу или возвращается, рекуперировано внутри помещения). Следует отметить, что совместное действие теплоотражающего экрана в воздушном промежутке и вентилирования через этот промежуток с активной рекуперацией тепла и влаги внутрь помещения наружным холодным воздухом, **многokrратно повышает тепловой эффект**, что доказано экспериментально в постановочных экспериментах [15, 16]. Характер описываемых процессов зависит от геометрии 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 будет осуществляться только положением теплоотражающих экранов и расходом поступающего воздуха с применением рециркуляции вентвыбросов. Более подробно все эти процессы будут описаны в следующей статье цикла, в которой будут приведены результаты многовариантных исследований принципиально новых ограждающих конструкций (ЭВСОК), проведенных в НИИ строительной физики в 2013-2014 годах.

На основе предложенных авторами новых принципов было разработано несколько вариантов светопрозрачных ограждающих конструкций (рис. 3-6). Авторы благодарят компанию ADITIM и Олега Фомина за помощь в подготовке рисунков 4-6 для настоящей статьи.

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 светопрозрачной конструкции, однако, достаточно затратный. Тем не менее, и такой способ окупается за незначительное время за счет резкого повышения теплотехнических характеристик окна.

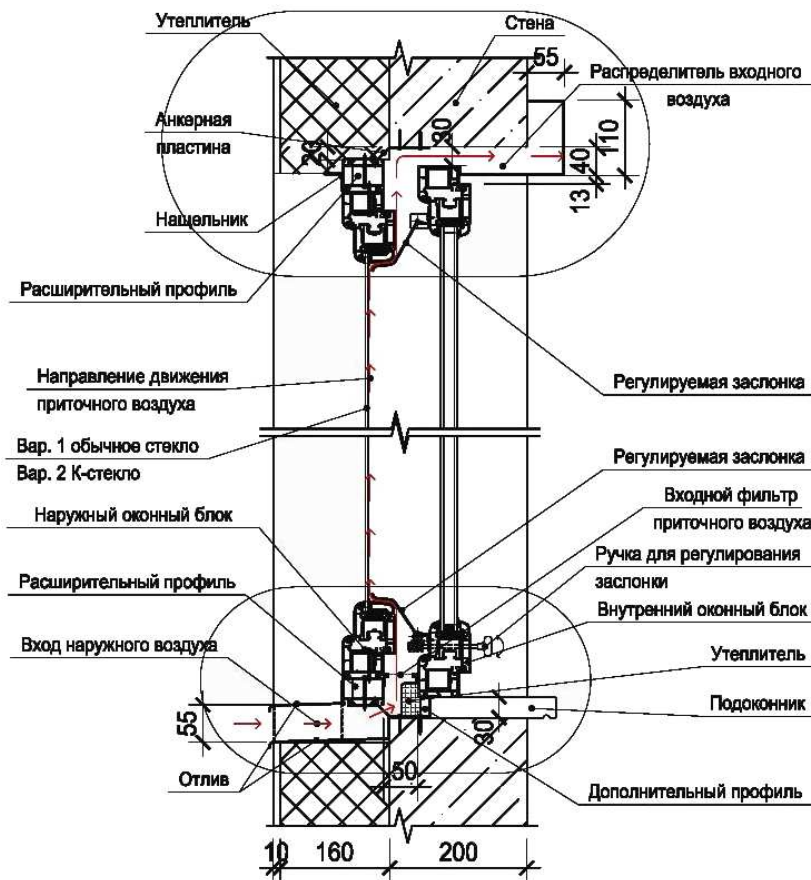


Рис. 3. Раздельный блок с использованием ПВХ-конструкций (стекло + стеклопакет)

Достаточно просто осуществить реконструкцию популярных дерево-алюминиевых оконных блоков (рис. 4) в соответствии с предлагаемыми авторами принципами - необходимы новые наружные алюминиевые профили. В пространстве между наружным стеклом и внутренним стеклопакетом размещается не только подъемный 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 модернизации дерево-алюминиевого окна (рис. 4) решается и вопрос совершенствования под предлагаемые авторами принципы ЭВСОК с активной рекуперацией теплового потока теплового алюминиевого окна (рис. 5).

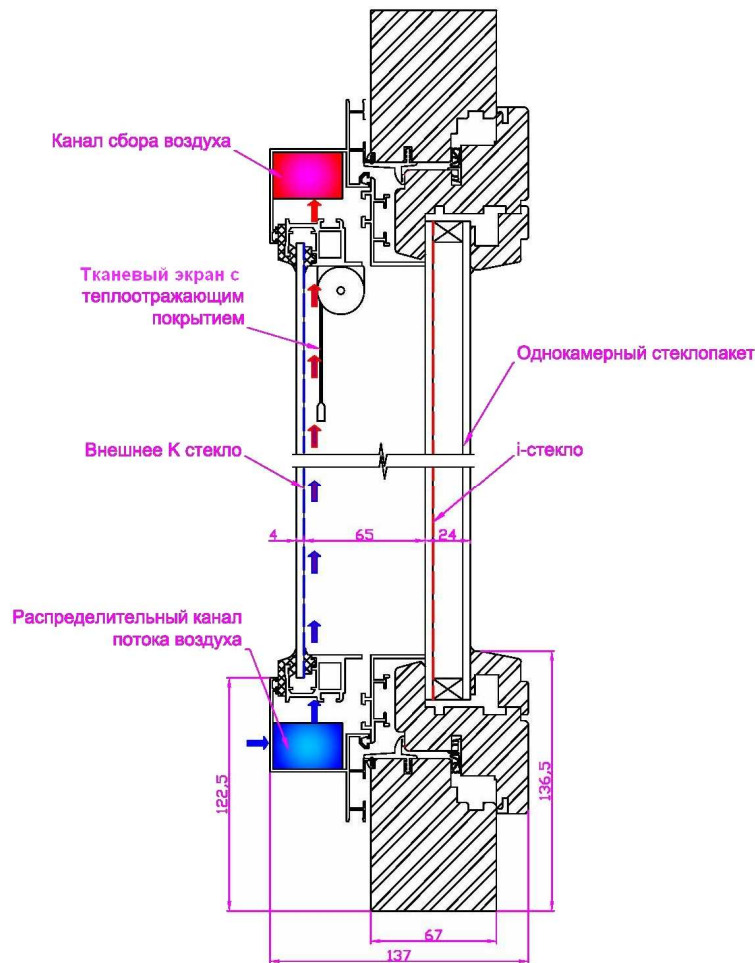


Рис. 4. Дерево-алюминиевый блок с активной рекуперацией выходящего теплового потока

В современных алюминиевых стоечно-ригельных фасадных системах возможна установка стеклопакетов значительной толщины (до 75 мм и более). Это позволяет осуществить модернизацию большинства современных фасадов под разработанную авторами концепцию энергоэффективных вентилируемых светопрозрачных ограждающих конструкций. Реализация идеологии энергоэффективных 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 распространенных сегодня элементных фасадах в связи с тем, что возможно снижение относительных затрат на модернизацию конструкций за счет использования систем распределения и сбора воздуха сразу на нескольких этажах.

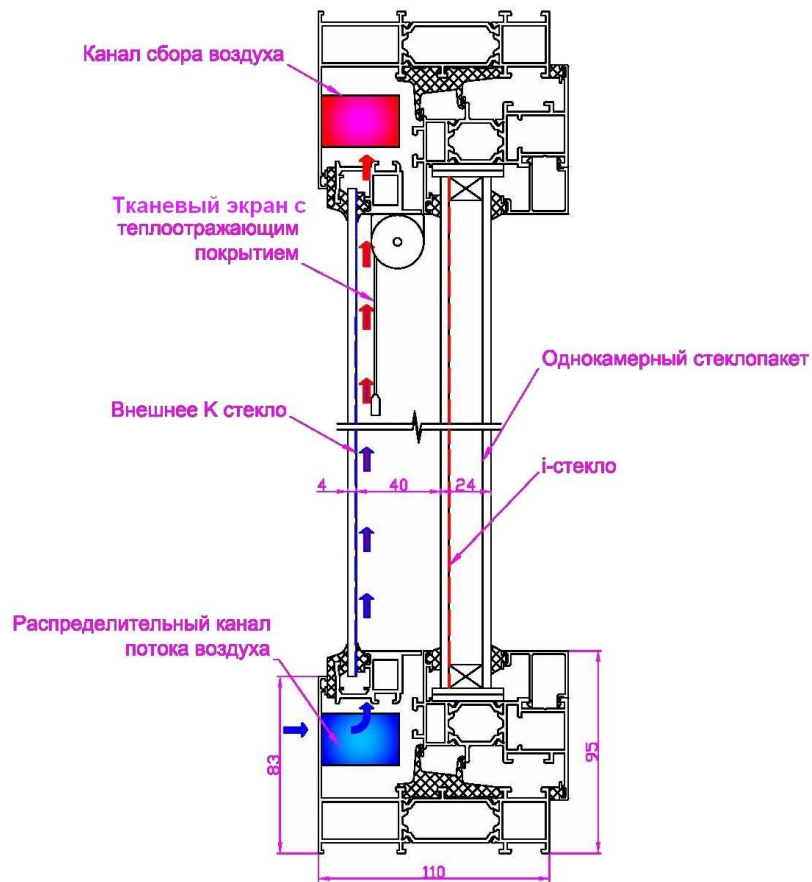


Рис. 5. Теплое алюминиевое окно с активной рекуперацией выходящего теплового потока

Одной из главных проблем отечественного строительного комплекса и ЖКХ является необходимость модернизации зданий, построенных в эпоху индустриального домостроения (1950-е - по начало 2000-х годов), которые имеют огромные теплопотери через наружные ограждающие конструкции. Санация, как правило, проводится за счет дополнительного утепления фасадов и замены некоторых инженерных систем. Проведенный в 2011-2013 годах в г. Москве мониторинг затрат на отопление и вентиляцию осуществленных проектов (более 150 объектов), показывает как энергетическую, так и экономическую неэффективность такого подхода. Это произошло во многом из-за использования самых дешевых и не всегда эффективных решений и конструкций, а также некомплексного проведения реконструкции (в большинстве случаев утеплялись стены, производилась замена окон и, частично, инженерных коммуникаций).

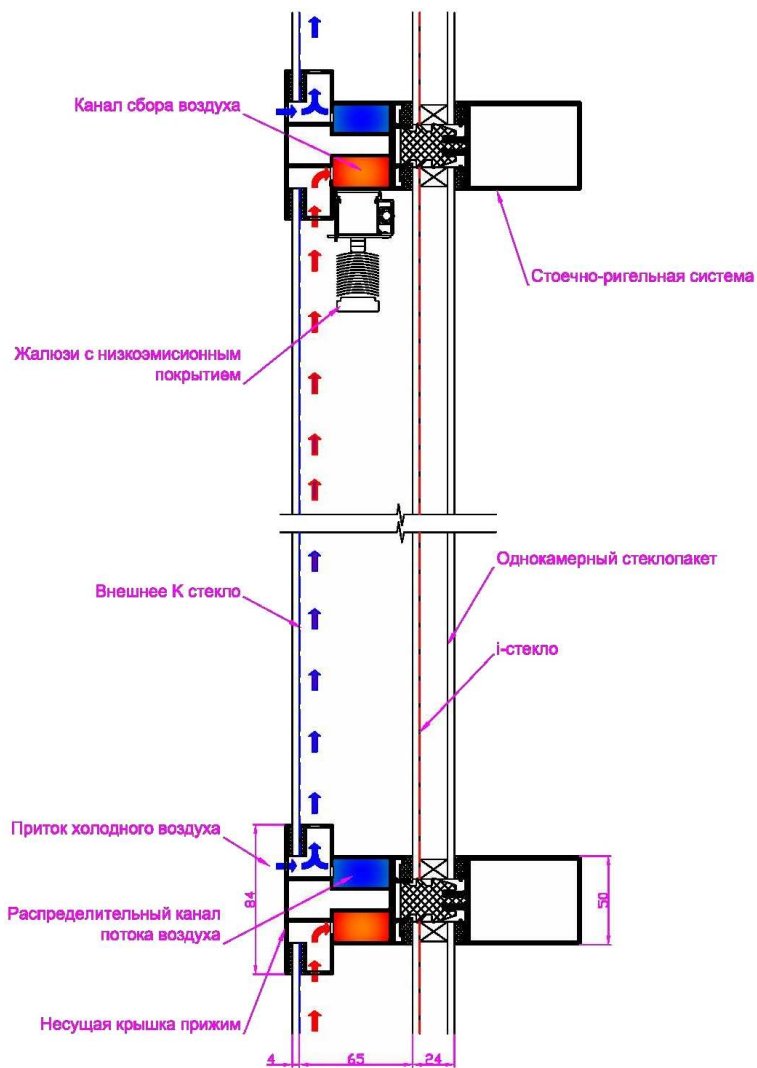


Рис. 6. Стоечно-ригельная алюминиевая система с активной рекуперацией выходящего теплового потока

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 façade» (двойной фасад). Такой прием позволяет не только обеспечить современные энергосберегающие свойства ограждающих конструкций, но и удобство обслуживания фасадов, а также сохранение исторического вида архитектурных памятников. 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.



Рис. 7. Новый имидж старого здания.
(здание с двойным фасадом - double - skin façade)

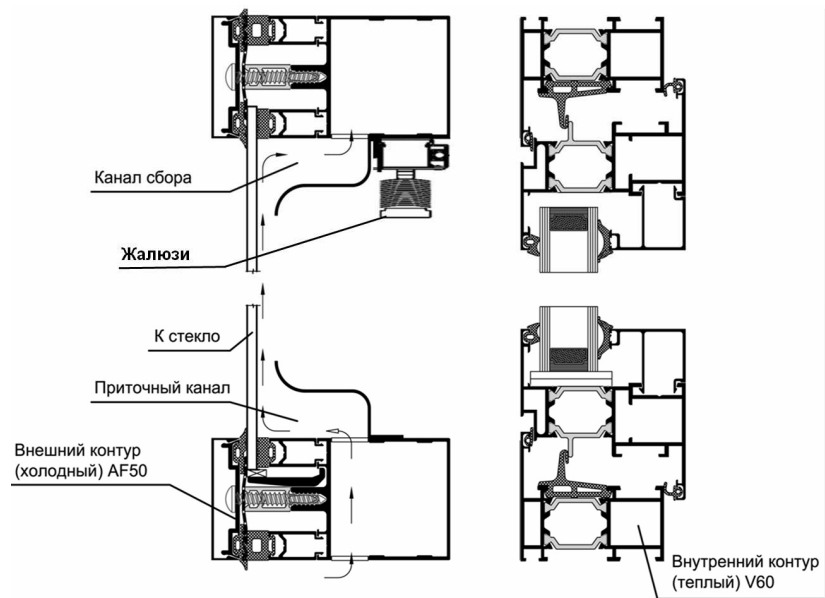


Рис. 8. Вариант двойного фасада с элементами активного энергосбережения

Предлагаемые авторами энергоэффективные вентилируемые светопрозрачные ограждающие конструкции идеально подходят для устройства двойных фасадов и реконструкции старых зданий (рис. 8). При использовании наших предложений возможно обеспечить не только дополнительное утепление наружных ограждений и достичь значений приведенного сопротивления теплопередаче, которые запланированы в России к 2030 году уже сегодня, но и обеспечить комфортный микроклимат в помещениях зданий. Кроме того, предварительные оценки показывают, что при использовании ЭВОК и ЭВСОК возможно минимизировать дополнительную наружную теплоизоляцию, что приведет 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 [12, 14], могут обеспечить не только значительное увеличение приведенного сопротивления теплопередаче и уменьшение теплопотерь из помещений [15], но и эффективно работают как в зимний период года (рекуперация теплового потока, уходящего из зданий), так и в летний жаркий период (снижение затрат на кондиционирование).

Кроме того, при повышении теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций за счет использования предлагаемых технологий активного энергосбережения, появляется возможность увеличения относительной площади остекления фасадов, что приведет к более эффективному использованию естественного освещения в строительстве.

В заключение настоящей статьи необходимо отметить, что реализация предложенных авторами энергоэффективных вентилируемых светопрозрачных ограждающих конструкций (ЭВСОК) может быть выполнена практически на всех видах оконных систем и профилей. Однако, осуществление наших предложений не так элементарно, как это может показаться из приведенных выше схем (рис. 3-6, 8). Для каждого из типов конструкций необходимо проведение соответствующих расчетов модулей ЭВСОК, организация систем вентилирования воздушных прослоек, а также создание системы сменных/регулируемых теплоотражающих экранов. Тем не менее, получаемый выигрыш в энергосбережении оправдывает эти затраты. По результатам проведенных в 2013-2014 годах в НИИСФ исследований возможно повысить условное сопротивление теплопередаче усовершенствованных светопрозрачных конструкций в 5-12 раз в зависимости от режима эксплуатации.

Авторы приглашают архитекторов, генеральных подрядчиков, инвесторов, фирмы производящие оконные системные профили, светопрозрачные конструкции и навесные фасадные системы к взаимовыгодному сотрудничеству.

ЛИТЕРАТУРА

- [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, Стройиздат, М.: 1975, 440 с.
- [6] Лицкевич В.К., Жилище и климат, Стройиздат, М.: 1984, 288 с.
- [7] Соловьев А.К., Физика среды, Изд-во АСВ, М.: 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., Heschong L., Residential Windows - A Guide to New Technologies and Energy Performance, W.W. Norton, New York 2007, 256 p.
- [11] Carmody J., Selkowitz S., Lee E., Arasteh D., Willmert T., Window Systems High-Performance Buildings, W.W. Norton&Company, 2003, 400 p.
- [12] Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л., Создание наружных ограждающих 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», БСТ, Москва 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 2013, № 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.

NEW IDEAS TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY OF TRANSPARENT AND FACADE CONSTRUCTIONS

The paper presents new ideas to improve energy efficiency of transparent and facade constructions. The implementation of the proposed energy efficiency ventilated transparent constructions can be performed practically for all types of windows and profiles.

Keywords: improve energy efficiency, transparent constructions