

НОВЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

Т. А. Ахмяров, научный сотрудник

А. В. Спиридонов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией

И. Л. Шубин, доктор техн. наук, директор

Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН)

По данным [3] и Ассоциации навесных фасадных систем (АНФАС) для зданий выше 3 этажей стоимость применения теплоизоляции толщиной больше 150 мм резко возрастает.

В соответствии с рекомендациями [4] для так называемых пассивных зданий необходимо использовать стены с приведенным сопротивлением теплопередаче не менее $10,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (толщина теплоизоляции при этом составляет не менее 400–450 мм), а для окон этот показатель должен составлять не менее $1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Примерно та же ситуация и со светопрозрачными конструкциями. Показано [5], что при использовании окон с приведенным сопротивлением те-

плопередаче $0,80\text{--}0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ срок их окупаемости составляет 4–11 лет в зависимости от места строительства. Однако в некоторых российских регионах планируется увеличить этот показатель до $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ с 2016 года, а в Германии – до $1,25 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Подобные теплотехнические характе-

ристики светопрозрачных конструкций достижимы только при применении специально разработанных профилей и стеклопакетов, что по некоторым данным увеличивает стоимость окон на 75–100% по сравнению с теми, сопротивление теплопередаче которых составляет $0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Одним из самым эффективных утеплителей является воздух, в том случае, если он малоподвижен. Именно поэтому в традиционных утеплителях для повышения теплотехнической эффективности используется увеличение числа конвекционных ячеек, количества воздушных промежутков, задержка движения воздуха пушистыми материалами, использование тяжелых инертных газов с повышенной вязкостью и т. п.



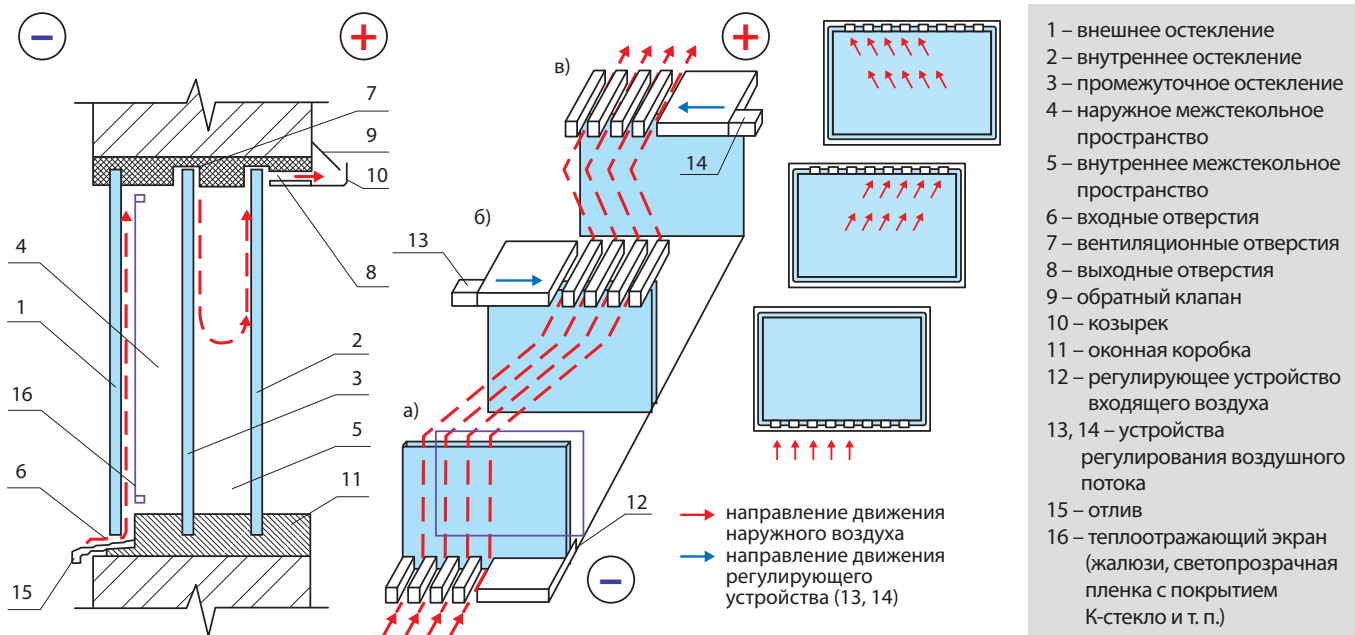


Рис. 1. Принцип действия энергоэффективной вентилируемой ограждающей конструкции (на примере светопрозрачной конструкции)²

Экономическая (да и энергетическая) окупаемость таких конструкций в сегодняшних ценах на энергоносители достаточно проблематична, поэтому все большее внимание уделяется технологиям активного энергосбережения.

Энергоэффективные вентилируемые ограждающие конструкции зданий с использованием САЭ

Предлагаем принципиально новый подход к повышению энергоэффективности наружных ограждающих конструкций с активной рекуперацией выходящего теплового потока, который можно использовать в строительных конструкциях как строящихся, так и реконструируемых зданий и сооружений.

Одним из новых перспективных решений в этом направлении является, на наш взгляд, применение

энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций (ЭВОК) зданий с использованием САЭ с рекуперацией тепла, позволяющих повысить уровень теплозащиты и комфортности микроклимата помещений при значительной экономии топливно-энергетических ресурсов.

Обеспечение экономических энергосберегающих мероприятий во вновь проектируемых, а также в реконструируемых жилых и общественных зданиях в настоящее время является основной тенденцией в строительной отрасли.

В предлагаемых технических решениях используются методы активной рекуперации уходящего тепла (трансмиссионного и радиационного) через наружные ограждения, а также дополнительная рекуперация и утилизация низкопотенциального тепла вентиляционных выбросов в условиях существующей вентиляции и при использовании теплообменников с обменом тепла и влаги.

Планируется повысить эффективность конструкций за счет применения ветровых вентиляционных дефлекторов повышенной энергоэффективности и теплохолодакумуляции на фазовых переходах с использованием солнечной энергии, поступление которой будет регулироваться специально разработанными солнцезащитными и теплоотражающими устройствами.

Принцип действия

Основной принцип действия (рис. 1) системы по рекуперации трансмиссионного тепла (за счет теплопередачи и конвекции) и радиационного тепла (тепловое излучение) заключается в особой организации условий поступления потока наружного воздуха и дальнейшего прохождения его через конструкцию ограждения, а также теплоотражения с помощью специальных экранов (автономных или в виде покрывающих слоев).

² Патент РФ2295622. Вентилируемое окно / Ахмяров Т. А.; Заявл. 14.03.2005. Оpubл. 20.03.07. Бюл. № 8.

В воздушном промежутке на входе воздушного потока создается плоская воздушная завеса из холодного поступающего воздуха, максимально охлаждающая поверхности, слои, теплоотражающие экраны и гибкие связи, которые передают тепло в атмосферу.

Здание снаружи становится более холодным, уходящее ранее тепло передается приточному воздуху, который – уже подогретый – используется в дальнейшем для вентиляции в нормируемом объеме (или даже большем) без зоны дискомфорта, что повышает комфортность микроклимата и позволяет интенсивно вентилировать помещение в присутствии людей.

Таким образом, поток наружного воздуха одновременно используется для нескольких целей:

- необходимой вентиляции и повышения уровня комфортности микроклимата помещений;
- улучшения теплозащиты как своеобразный дополнительный утеплитель;
- активной рекуперации тепла в помещении как удобный, безопасный и дешевый теплоноситель, который осуществляет теплосъем со всего, что передает тепло в атмосферу, повышая теплотехническую однородность и долговечность наружных ограждающих конструкций.

Воздух как утеплитель и теплоноситель

Хорошо известно, что одним из самым эффективных утеплителей является воздух, в том случае, если он неподвижен. Именно поэтому в традиционных утеплителях для повышения теплотехнической эффективности используется увеличение числа конвекционных ячеек, количества воздушных промежутков, задержка движения воздуха пушистыми

материалами, использование тяжелых инертных газов с повышенной вязкостью и т.п. Эти методы снижают конвекцию и теплопередачу.

Естественно, что поток холодного наружного воздуха, особенно интенсивный и влажный, эффективно осуществляет теплосъем с поверхностей наружных ограждений, увеличивает теплопотери и отрицательно действует на энергосбережение. Однако это происходит в случаях, когда поток после взаимодействия с теплыми поверхностями возвращается в атмосферу.

В случае, когда воздушный поток, который осуществил эффективный теплосъем с нужных поверхностей, направляется внутрь помещения путем переключения пути следования, получается также значительный тепло-

вой эффект, но уже с положительным знаком.

Характер описываемых процессов зависит от геометрии прослойки, теплофизических характеристик материалов, температуры внутреннего и наружного воздуха, расхода фильтрующегося воздуха, конструкции приемных и выводящих клапанов.

Следует отметить, что в этих условиях совместное действие теплоотражающего экрана в воздушном промежутке и вентилирования через этот промежуток с активной рекуперацией выходящего теплового потока внутрь помещения повышает тепловой эффект в 5–10 раз, что доказано экспериментально в постановочных экспериментах [6, 7]. Этот эффект в дальнейшем будет повышен в результате оптимизации. Очень важно

СПРАВКА 1

Некоторые основы проектирования ограждающих конструкций с вентилируемыми прослойками разрабатывались в нашей стране во второй половине прошлого века. Так, авторами [8] были исследованы процессы теплообмена через светопрозрачные конструкции при герметичной воздушной прослойке в условиях свободной конвекции, влияние геометрических характеристик конструкции окна на теплообмен.

В [9] изучен характер формирования температурных полей и пограничных слоев при различных режимах и степени фильтрации наружного или внутреннего воздуха, определены значения и изучен характер изменения коэффициентов теплообмена на поверхности остекления в зависимости от высоты воздушной прослойки и режима фильтрующегося воздуха, выполнены расчеты тепловых потоков по конвективной и радиационной составляющей, построены критериальные соотношения, связывающие термическое сопротивление воздушной прослойки с температурными, теплофизическими и аэродинамическими параметрами воздушной среды.

Теоретические основы эффекта рекуперации тепла при поперечной фильтрации воздуха через наружные ограждающие конструкции заложены в [10]. А авторами [11] и [12] разработаны методы расчета наружных ограждений для продольно-поперечной многомерной фильтрации, созданы и испытаны вентилируемые наружные стеновые панели и окна.

и место размещения экрана, его характеристики и то, куда идет тепло от нагретого теплоотражающего экрана, расположенного в воздушной прослойке, – в атмосферу или рекуперируется внутрь помещения.

При правильной организации поступления и прохождения наружного воздуха через конструкцию возможно снизить теплотери из помещения практически до минимума, что также было доказано экспериментально. В предлагаемом техническом решении холодный наружный воздух становится внутренним воздухом конструкции сразу после прохождения входной щели. В зимнем режиме он уже не может выйти в атмосферу, а проходит дальше внутрь конструкции, нагреваясь за счет тепла, выходящего из помещения через ЭВОК. Входная щель расположена в нижней внешней части модуля наружной ограждающей конструкции.

При направлении потока на внутреннюю поверхность наружного экрана происходит срыв воздушной завесы из холодного входящего воздуха естественного конвек-

ционного потока, который ранее (при отсутствии воздушной завесы) опускался по внутренней поверхности наружного экрана (оболочки) здания.

Сразу на начальном этапе воздушная завеса охлаждает практически до наружной температуры наружную оболочку изнутри, а также другие слои, включая теплоотражающие экраны, и гибкие связи, которые передают тепло в атмосферу. Происходит выгодное использование «зоны дискомфорта с наружной температурой» до входа вентиляционного воздуха в помещение с применением установившегося режима с активным обдуванием поверхностей теплосъема большой площади экономичной затопленной полуограниченной плоской струей поступающего холодного воздуха. Соответственно, здание с наружной оболочкой и внешними теплоотражающими экранами, охлажденными практически до наружной температуры, практически не будет терять тепло в атмосферу через наружные ограждающие конструкции.

Подтверждение эффективности инновационного технического решения

Актуальность перехода от неуправляемой инфильтрации наружного воздуха к организованной регулируемой подаче через специальные приточные устройства при условии сохранения комфортного микроклимата в помещении диктуется экономическими и гигиеническими положениями соответствующих нормативных документов.

Эффективность предлагаемого инновационного технического решения определяется возможностью создания специальных условий теплоотражения и плоской струи наружного воздуха, прилегающей к наружному экрану.

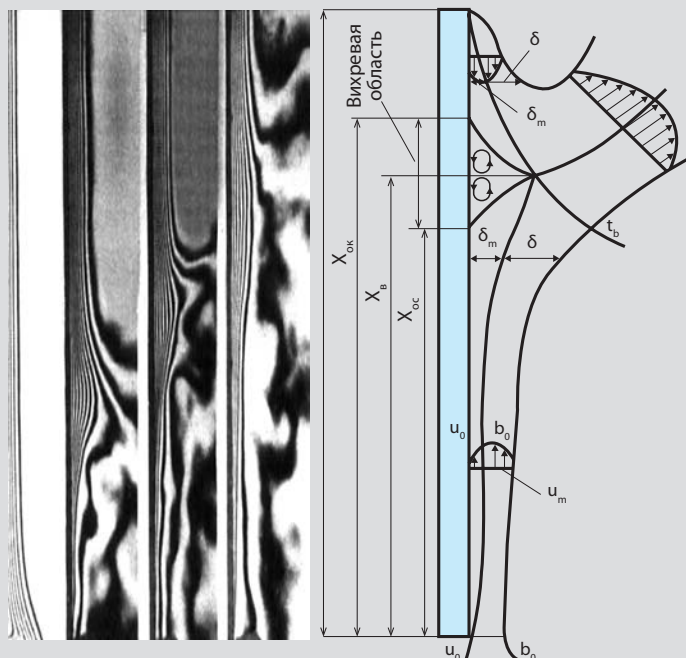
На внутренней поверхности наружного остекления (или облицовочной панели) происходит срыв конвективного потока плоским (полуограниченным, затопленным) потоком поступающего холодного воздуха (своеобразной воздушной завесой) с активным теплосъемом

СПРАВКА 2

Эффект Коанда — физическое явление, названное в честь румынского ученого Анри Коанда, обнаружившего в 1932 году, что струя жидкости, вытекающая из сопла, расположенного у стенки, стремится отклониться по направлению к этой стенке и при определенных условиях прилипает к ней. Это объясняется тем, что боковая стенка препятствует свободному поступлению воздуха с одной стороны струи, создавая вихрь в зоне пониженного давления.

Основной принцип действия эффекта Коанда в ограждающих конструкциях показан на рисунке.

Сегодня эффект Коанда широко используется в авиастроении, автомобилестроении, проектировании систем кондиционирования зданий.



со всех поверхностей, слоев, теплоотражающих экранов и гибких связей, которые передавали тепло в атмосферу.

Этот процесс известен как «эффект Коанда» (см. справку 2) для затопленных (т.к. процесс идет в такой же среде) потоков, которые движутся вблизи плоской поверхности (т.е. являются полуограниченными) и захватывают частицы среды с собой. Между движущимся потоком и твердой плоской поверхностью образуется зона разрежения, которая заставляет поток (ламинарный и турбулентный) «прилипнуть» к плоской поверхности. В случае плоского турбулентного потока в установившемся режиме эффективность теплообмена между потоком и плоскостью повышается многократно.

Этот эффект применяют и в проектировании систем кондиционирования для создания эффекта прилипшей к потолку струи воздуха для лучшей циркуляции воздуха в помещении.

Основные процессы, происходящие в воздушной прослойке энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций при организованной подаче в нее струи наружного воздуха, следующие:

- срыв поступающей воздушной струей падающего конвекционного потока;

- прилипание поступающей воздушной струи к наружной поверхности ограждения за счет эффекта Коанда;

- обеспечение принципа диагональности прохождения плоского воздушного потока за счет разнесения притока и вытяжки воздуха по различным углам конструкции;

- повышение эффективности теплосъема со всех теплоотдающих слоев с помощью плоской прижатой турбулентной воздушной завесы;

- повышение тепловой однородности ограждающей конструкции за счет практически полного исключения утечек тепла по связям (мостикам), что позволяет применять в ЭВОК материалы с большей теплопроводностью;

- охлаждение теплоотражающих поверхностей и экранов, в том числе с активной рекуперацией (возвратом) уходящего из здания тепла.

Определение теплотехнической эффективности конструкций ЭВОК

Общепринятым в России критерием оценки теплотехнической эффективности строительных материалов и изделий, в том числе наружных ограждающих конструкций, является их приведенное сопротивление теплопередаче. Согласно своду правил³ и [13] «приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ – физическая величина, характеризующая усредненную по площади плотность потока теплоты через фрагмент теплозащитной оболочки здания в стационарных условиях теплопередачи, численно равная отношению разности температур по разные стороны фрагмента к усредненной по площади плотности потока теплоты через фрагмент».

Для определения этого показателя имеются как разработанные и стандартизованные методики и оборудование, так и соответствующие методы расчета, что позволяет сравнивать и оценивать теплотехнические характеристики различных конструкций.

Предлагаемые нами энергоэффективные вентилируемые ограждающие конструкции невозможно оценивать только по приведенному сопротивлению теплопередаче, т.к. в процессе эксплуатации они функционируют во внешних условиях, которые изменяются в широком диапазоне. При этом вентилирование и теплосъем в воздушной прослойке осуществляются наружным воздухом в режиме приточных устройств системы приточно-вытяжной вентиляции.

Для оценки описываемых в рамках настоящей работы конструкций ЭВОК предлагаются (дополнительно к существующим) еще два показателя (см. справку 3).

СПРАВКА 3

■ Коэффициент уменьшения плотности теплового потока ($K_{\text{уп}}$) при прохождении в центральной зоне ограждающей конструкции. Коэффициент показывает, насколько уменьшается тепловой поток и, соответственно, повышаются теплотехнические характеристики модуля ограждающей конструкции, и определяется как

$$K_{\text{уп}} = q_{\tau(\text{ц})} / q_{\text{х}(\text{ц})}.$$

■ Коэффициент рекуперации (возвращения) теплового потока ($K_{\text{рп}}$), который определяется в процентах от плотности входящего теплового потока:

$$K_{\text{рп}} = [(q_{\tau(\text{ц})} - q_{\text{х}(\text{ц})}) / q_{\tau(\text{ц})}] \cdot 100 \%,$$

где $q_{\tau(\text{ц})}$ и $q_{\text{х}(\text{ц})}$ – плотность теплового потока на поверхностях ограждающей конструкции соответственно с теплой и с холодной стороны (индекс «ц» – в центральной зоне модуля ограждающей конструкции).

³ Свод правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (актуализированная редакция СНиП 23-02-2003).

Международная выставка оборудования и технологий для градостроительства, энергоснабжения и городской инфраструктуры

CityExpo

14–16 октября 2014 года

Москва, ВДНХ (ВВЦ), павильон 75



www.city-expo.ru



Тел.: +7 (495) 935-81-20
+7 (495) 935-73-50
e-mail: city@ite-expo.ru
www.ite-expo.ru

Поддержка:



Следует отметить, что ЭВОК может успешно функционировать и в жаркое летнее время в режиме кондиционирования с защитой от солнца и перегрева помещения. Поэтому представляется целесообразным оценивать ЭВОК и комплексную САЭ в общепринятом порядке по реальному удельному энергопотреблению здания на отопление и вентиляцию за целый год эксплуатации.

Цели испытаний энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций

В ближайшее время в НИИСФ РААСН совместно с рядом институтов и производственных компаний предполагается провести целый комплекс исследовательских работ по испытаниям различных вариантов энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций с целью разработки методов и технологий для повышения уровня энергосбережения и комфортности микроклимата помещений, а также опытное внедрение технологий активного энергосбережения на различных объектах. Результатом должно стать решение следующих основных проблем:

- повышение теплозащиты энергоэффективных наружных ограждающих конструкций за счет активной рекуперации выходящего теплового потока и оценка энергетической эффективности использования перспективных конструкций в зданиях и сооружениях различного назначения;
- оценка эффективности дополнительного использования регулируемой рекуперации и утилизации низкопотенциального тепла вентиляционных выбросов с повышенным уровнем воздухообмена;
- разработка гибридной системы вентиляции повышенной комфортности с применением ветровых приточных (нагнетающих) и вытяжных вентиляционных дефлекторов повышенной энергоэффективности⁴ на новых принципах эжекции, которая будет совмещена с другими элементами комплексной системы активного энергосбережения;
- применение в системе гибридной вентиляции устройств теплоакумуляции на фазовых переходах с повышенной степенью автономности, а также внедрение солнцезащитных и теплоотражающих устройств с использованием солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения;

⁴ Патент РФ2447366. Эжекционный способ создания тяги в вентиляционных и дымовых трубах с использованием энергии ветра/Аркадов Ю. К., Батура Н. И., Ахмяров Т. А.; Заявл. 10.11.2010. Опубл. 10.04.12. Бюл. № 10.
Патент РФ2447367. Дефлектор ветра для вентиляционных и дымовых труб (варианты)/Аркадов Ю. К., Батура Н. И., Ахмяров Т. А.; Заявл. 10.11.2010. Опубл. 10.04.2012. Бюл. № 10.

■ разработка совмещенной системы контроля и управления параметрами микроклимата, потреблением энергоресурсов, а также энергосберегающее авторегулирование режимов микроклимата, теплозащиты, вентиляции, теплохладоаккумуляции, отопления, инженерного оборудования;

■ разработка решений по использованию технологий активного энергосбережения в светопрозрачных и ограждающих конструкциях, а также оценка влияния различных видов теплоотражающих экранов (автономных, стационарных, регулируемых, съемных, слоев, покрытий, светопрозрачных, непрозрачных и т. п.) и их расположения на эффективность конкретных промышленных конструкций в составе общей комплексной САЭ.

Испытания, проведенные в 2013 году в климатической камере НИИСФ РААСН, показали, что для ЭВОК возможно повысить энергетическую эффективность в несколько раз относительно существующих современных ограждающих конструкций и действующих норм. Были получены коэффициенты рекуперации теплового потока выше 90% для светопрозрачных и выше 95% для непрозрачных ограждающих конструкций. Доказана и возможность ступенчатого повышения эффективности за счет размещения и последовательного действия двух и более теплоотражающих экранов/слоев в зоне действия воздушной завесы.

Это позволяет предположить возможность практически полной рекуперации теплового потока через ЭВОК, включая светопрозрачные конструкции. А это, соответственно, открывает новые перспективы для строительства и реконструкции

зданий (сооружений, теплиц) с большим коэффициентом остекления.

Литература

1. Шубин И. Л., Спиридонов А. В. Законодательство по энергосбережению в США, Европе и России. Пути решения // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3. Т. 1.
2. European Commission. The 2020 Climate and Energy Package. December 12, 2010.
3. Гагарин В. Г. Санация теплозащитной оболочки при реконструкции жилых зданий в городах России. Реконструкция, энергетическая модернизация жилых зданий и тепловой инфраструктуры в Российской Федерации: Материалы Российско-немецкого технического семинара 8–9 декабря 2011. М., 2012.
4. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. М. : АСВ, 2011. 144 с.
5. Абдурафиков Р. М., Спиридонов А. В. Как оценивать энергоэффективные окна // Энергосбережение. – 2013. – №№ 7–8.
6. Беляев В. С., Лобанов В. А., Ахмяров Т. А. Децентрализованная приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла // Жилищное строительство. – 2011. – № 3.
7. Ахмяров Т. А., Беляев В. С., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла // Энергосбережение. – 2013. – № 4.
8. Дроздов В. А., Савин В. К., Александров Ю. П. Теплообмен в светопрозрачных ограждающих конструкциях. М. : Стройиздат, 1979. 307 с.
9. Хлевчук В. Р., Артыкпаев Е. Т. Теплотехнические и звукоизоляционные качества ограждения домов повышенной этажности. М. : Стройиздат, 1979. 255 с.
10. Ушков Ф. В. Теплопередача наружных ограждающих конструкций при фильтрации воздуха. М. : Стройиздат, 1969. 146 с.
11. Беляев В. С., Хохлова Л. П. Проектирование энергоэкономичных и энергоэффективных зданий. М. : Высшая школа, 1992. 255 с.
12. Умнякова Н. П. Теплозащита замкнутых воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией // Жилищное строительство. – 2014. – №№ 1–2.
13. Фокин К. Ф. Строительная теплофизика ограждающих частей зданий. М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. 251 с. ■

АНОНС

В следующем номере будут представлены принципиальные технические решения энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций с активной рекуперацией потока тепла для строительства и реконструкции зданий и сооружений различного назначения с минимальным энергопотреблением.

