

УДК 69.697

**М.М. Ругалев, Е.Н. Сычкина****M.M. Rugalev, E.N. Sychkina**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫЕ  
ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ КАК СИСТЕМА  
АКТИВНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ****ENERGY-EFFICIENT VENTILATED ENCLOSING  
STRUCTURES AS AN ACTIVE ENERGY SAVING SYSTEM**

Статья посвящена новой эффективной технологии энергосбережения. Она заключается в использовании энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций (ЭВОК). Принцип действия основан на снижении теплопотерь с помощью направленного воздушного потока, который осуществляет съем тепла с поверхностей ограждающих конструкций, забирая тем самым тепловую энергию, которая затем передается обратно в помещение с помощью рекуператоров с высоким КПД. Были рассмотрены предпосылки к созданию данных конструкций, дана оценка современному состоянию энергосберегающих технологий в России. Также были приведены результаты исследований, которые проводились в Научно-исследовательском институте строительной физики. Рассмотрены перспективы применения ЭВОК.

**Ключевые слова:** теплопотери, энергоэффективность, энергосбережение, воздушный поток, конвекция, рекуперация, тепловая энергия.

The article is devoted to the new effective energy saving technology. It consists in the use of energy-efficient ventilated enclosing structures. The principle of operation is based on the reduction of heat loss through a directional airflow that removes heat from the surfaces of the enclosing structures, thus taking away heat energy, which is then transferred back to the room with the help of recuperators with high efficiency. The prerequisites for creating these structures were considered, and the current state of energy saving technologies in Russia was assessed. Also, the results of studies carried out in NIISF were presented, prospects for the application of energy-efficient ventilated enclosing structures were considered.

**Keywords:** heat loss, energy efficiency, energy saving, airflow, convection, recovery, heat energy.

В настоящее время в нашей стране около половины всей вырабатываемой энергии тратится на эксплуатацию зданий [1, 2], поэтому снижение теплопотерь и повышение энергоэффективности имеют огромное значение для развития строительной и энергетической отрасли.

Одна из главных характеристик энергетической эффективности зданий – удельный расход энергии на вентиляцию и отопление  $1 \text{ м}^2$  здания

в год. Россия значительно отстает в этом показателе от других европейских стран. В связи с этим был принят план по снижению удельного расхода на отопление зданий (рис. 1).

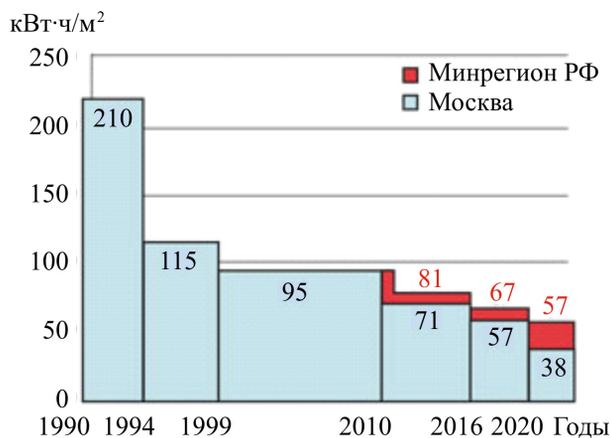


Рис. 1. Снижение удельного энергопотребления на отопление и вентиляцию зданий [3, 4]

Однако следование темпам снижения затруднительно и в наше время не осуществляется. На это есть много причин, но одной из основных является редкое использование в массовом строительстве современных энергосберегающих технологий. Также влияют пассивность региональных властей в отношении энергосбережения и высокая стоимость новых технологий по сравнению с традиционными. Тем не менее необходимость повышения энергетической эффективности строительной отрасли России подтверждается опытом энергосбережения в Европе и США.

Можно отметить, что при проектировании большей части возведенных в России энергоэффективных зданий применялась лишь часть мер по повышению энергоэффективности, которые уже являются нормой для Европы и США. В основном в России используются повышенная теплоизоляция ограждающих конструкций, современные светопрозрачные конструкции, управляемая система отопления. Такие здания не являются в полной мере энергоэффективными. Полученный опыт очень полезен для России, однако удельные энергетические расходы на эксплуатацию большинства уже построенных и проектируемых зданий массовой застройки намного выше, чем в европейских странах [5].

В связи с обозначенной актуальностью целью работы является обзор современных ограждающих конструкций для энергосбережения. Для достижения поставленной цели авторами был выполнен обзор существующих вариантов энергоэффективных ограждающих конструкций, их достоинств и недостатков.

Одним из современных эффективных решений энергосбережения является применение энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций (ЭВОК) с использованием систем активного энергосбережения (САЭ) с рекуперацией тепла, которые позволяют повысить степень теплозащиты и качества микроклимата внутри зданий при высоком уровне экономии энергетических ресурсов. В данных вентилируемых конструкциях использован метод 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. Основным принципом действия системы по рекуперации трансмиссионного тепла и радиационного тепла (см. рис. 1) является определенная организация условий попадания потока наружного воздуха и дальнейшее прохождение его внутри конструкции стены или окна, а также теплоотражение при помощи специальных отражателей (автономных или в виде покрывающих слоев). В воздушном зазоре на входе воздушного потока образуется вертикальная воздушная завеса холодного поступающего воздуха, которая максимально сильно охлаждает все поверхности и элементы, которые могут передавать уходящую тепловую энергию в атмосферу. Внешние поверхности ограждающих конструкций становятся холодным, а уходящая ранее тепловая энергия передается приточному потоку воздуха, который подогревается и используется для вентиляции помещений, что улучшает качество микроклимата и дает возможность интенсивно вентилировать помещение при нахождении в нем людей. Тепловая энергия вентиляционных выбросов передается поступающему воздушному потоку с помощью рекуператоров с высоким КПД (до 90 %), которые могут быть встроены в ограждающие конструкции.

Таким образом, в данной системе поток наружного воздуха используется для трех целей:

- вентиляции и увеличения качества микроклимата;
- увеличения степени теплозащиты;
- активной рекуперации тепла в помещении как удобный, безопасный и имеющий высокую эффективность теплоноситель, который может осуществлять съем тепла с любой поверхности, отдающей тепло в атмосферу.

Поток холодного наружного воздуха эффективно производит съем тепла с поверхностей наружных ограждающих конструкций, значительно повышая теплопотери и снижая энергосбережение. Но это происходит только тогда, когда поток после съема тепла с поверхностей выбрасывается в атмосферу. Если же воздушный поток, который произвел эффективный съем тепла с наружных поверхностей, будет направлен внутрь помещения при помощи изменения пути, получится также высокий тепловой эффект.

При направлении воздушного потока на внутреннюю плоскость наружного экрана происходит срывание естественного конвекционного потока, который при отсутствии воздушной завесы спускался по внутренней поверхности ограждающей здания. Этот процесс известен как эффект Коанда (рис. 2) для затопленных потоков, которые движутся вплотную к плоской поверхности и захватывают частицы среды с собой. Между движущимся воздушным потоком и твердой плоской поверхностью образуется зона разрежения, которая заставляет поток (ламинарный и турбулентный) «прилипнуть» к плоской поверхности [6]. В случае плоского турбулентного потока в установившемся режиме эффективность теплообмена между потоком и плоскостью повышается в разы.

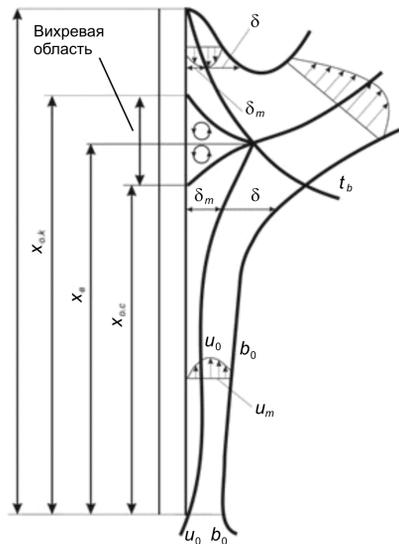


Рис. 2. Схема, отображающая эффект Коанда

Основные процессы, которые происходят в воздушном зазоре ЭВОК при организованной подаче в нее потока наружного воздуха, следующие:

- срывание поступающим воздушным потоком конвекционного потока, выходящего из ограждающей конструкции;
- так называемое «прилипание» поступающего воздушного потока к наружной поверхности ограждения (эффекта Коанда);
- диагональность прохождения плоского воздушного потока при помощи разнесения притока и вытяжки воздуха по различным сторонам конструкции;
- повышение эффективности съема тепла со всех поверхностей с помощью плоского прижатого потока воздуха;
- повышение тепловой однородности ограждающей конструкции за счет почти полного устранения утечки тепловой энергии позволяет применять в ЭВОК материалы с большей теплопроводностью;

– охлаждение теплоотражающих слоев ограждающих конструкций совместно с активной рекуперацией (возвратом) тепла, уходящего из здания.

Подробными исследованиями по оценке эффективности ЭВОК занимались в НИИСФ (Научно-исследовательском институте строительной физики), где проводилось множество натурных испытаний с разными типами конструкций. Было выявлено, что для оценки эффективности ЭВОК недостаточно только лишь одного приведенного сопротивления теплопередаче, по которому оценивают теплотехническую эффективность традиционных ограждающих конструкций, так как вентиляция и съем тепла в вентилируемом зазоре при этом не учитываются. Таким образом, для оценки эффективности предлагаются дополнительно два показателя: коэффициент уменьшения плотности теплового потока и коэффициент рекуперации (возвращения) теплового потока.

*Коэффициент уменьшения плотности теплового потока ( $K_{\text{уп}}$ )* при прохождении в центральной зоне ограждающей конструкции. Коэффициент показывает, насколько уменьшается тепловой поток и повышаются теплотехнические характеристики ограждающей конструкции. Определяется по формуле

$$K_{\text{уп}} = \frac{q_{\text{т(ц)}}}{q_{\text{х(ц)}}},$$

где  $q_{\text{т(ц)}}$  и  $q_{\text{х(ц)}}$  – плотность теплового потока на поверхностях ограждающей конструкции с теплой и с холодной стороны (индекс «ц» – центральная зона ограждающей конструкции) соответственно.

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

$$K_{\text{рп}} = \frac{q_{\text{т(ц)}} - q_{\text{х(ц)}}}{q_{\text{т(ц)}}} \cdot 100 \%$$

По предварительным оценкам, основанным на результатах, полученных в 2010–2012 гг. в ходе лабораторных и натурных испытаний и исследований [7], при использовании САЭ в зданиях различного типа, а также в пассивных домах можно значительно снизить теплотери через ограждающие конструкции, а также в системе вентиляции (рис. 3). Кроме того, возможно снизить удельные расходы на отопление до европейских требований к пассивным домам, которые значительно строже и выше требований правительства РФ по энергосбережению. Использование САЭ для многоквартирных домов, по оценкам специалистов НИИСФ, дает возможность добиться показателей удельного расхода на отопление и вентиляцию в 11–18 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год с примерно равным распределением (по 33 %) по трем основным видам теплотери [7].

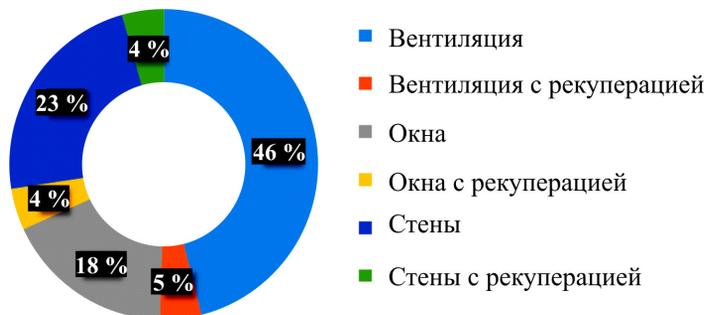


Рис. 3. Диаграмма теплотерь здания с системой активной рекуперации и без нее [8]

Испытания, которые были проведены в 2013 г. в НИИСФ РААСН, показали, что с помощью ЭВОК можно повысить энергетическую эффективность в несколько раз по отношению к существующим современным и традиционным ограждающим конструкциям [9]. Также в ходе исследований были выявлены 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. По результатам исследований стало понятно, что возможна почти полная рекуперация теплового потока через ЭВОК, в том числе и в светопрозрачных конструкциях. Такой высокий объем снижения теплотерь можно считать достижимым при применении предлагаемых систем активного энергосбережения.

Сотрудниками НИИСФ были разработаны различные варианты ограждающих конструкций зданий. Одна из наиболее интересных и эффективных – навесная фасадная система с воздушным вентилируемым зазором, которая была переработана в ЭВОК. Конструкция представлена на рис. 4 [7].

Представленные конструкции фактически становятся приточными устройствами системы вентиляции с дальнейшей активной рекуперацией тепла, которое обычно уходит в атмосферу через наружные ограждающие конструкции и с вентиляционными выбросами. Показатели влажностного режима и теплотехнической однородности данных ограждающих конструкций зданий также значительно улучшаются.

Кроме того, сейчас сотрудники НИИСФ совместно с фирмами – производителями навесных фасадных систем разрабатывают различные варианты ЭВОК для нового строительства (рис. 5, 6).

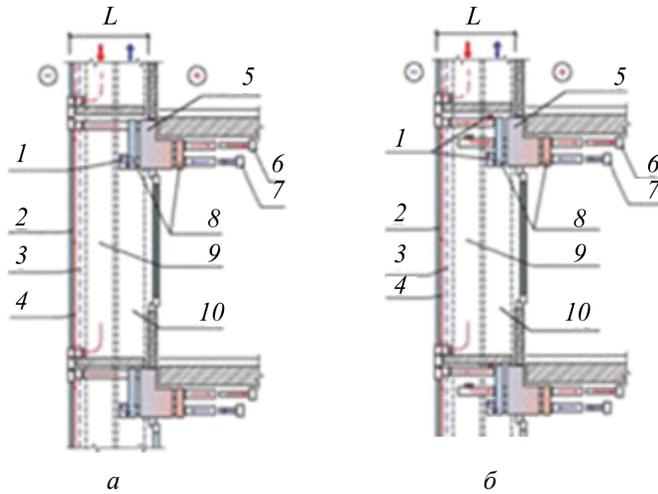


Рис. 4. Ограждающая конструкция с системой активной рециркуляции [7]:

1 – вентиляционная шахта выбрасываемого воздуха; 2 – наружная облицовка; 3 – теплоотражающий экран; 4 – движение приточного воздуха; 5 – рекуператор; 6 – приточная решетка; 7 – вытяжная решетка; 8 – секции теплохладоаккумуляторов; 9 – вентиляционная шахта приточного воздуха с ветровым приточным вентиляционным дефлектором повышенной энергоэффективности; 10 – вентиляционная шахта выбрасываемого воздуха с ветровым вытяжным вентиляционным дефлектором повышенной эффективности

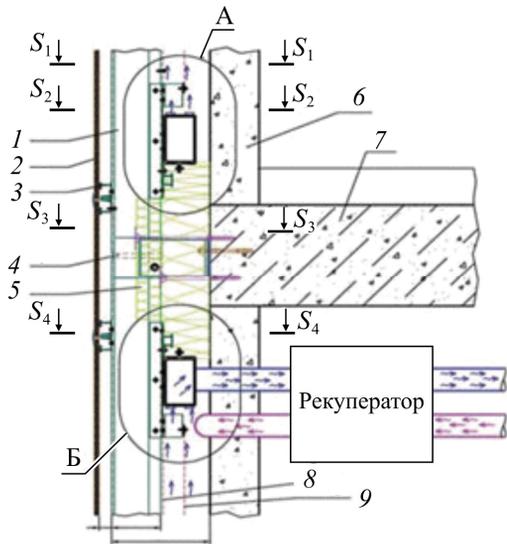


Рис. 5. Навесная фасадная система с активным энергосбережением (вертикальный разрез по плите перекрытия) [7]: 1 – вертикальная направляющая; 2 – декоративная облицовка; 3 – ригель крепления облицовки; 4 – кронштейн; 5 – утеплитель; 6 – кладка; 7 – плита перекрытия; 8 – наружный теплоотражающий экран; 9 – внутренний теплоотражающий экран

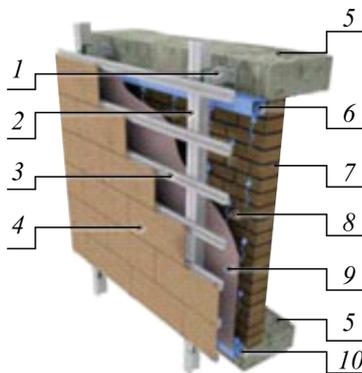


Рис. 6. Навесная фасадная система с активным энергосбережением (общий вид с двумя теплоотражающими экранами) [7]: 1 – кронштейны фасада фасадной системы; 2 – вертикальный направляющие каркаса фасадной системы; 3 – горизонтальный профили; 4 – облицовка; 5 – плита перекрытия; 6 – канал сбора воздуха; 7 – несущая стена; 8 – активный поток воздуха; 9 – воздухо- непроницаемый экран; 10 – распределительный канал потока воздуха

В настоящее время планируется выполнение ряда лабораторных испытаний новых конструкций [7]. Для проведения аэродинамических и теплотехнических испытаний частей вентилируемых ограждающих конструкций создан универсальный стенд, который значительно упростит настройку параметров воздушного потока в непрозрачных конструкциях, а также дальнейшие теплотехнические испытания.

Таким образом, энергоэффективные вентилируемые ограждающие конструкции являются очень перспективной разработкой, что подтверждается результатами исследований и натурных испытаний. Внедрение этих конструкций поможет значительно снизить энергопотребление зданий различных типов, даст большой толчок развитию новейших энергосберегающих технологий, поможет выполнению плану по снижению энергопотребления. Поскольку наша страна постоянно нуждается в огромных затратах на отопление (как было сказано в начале статьи), снижение этих затрат может стать стимулятором роста экономики.

Внедрение указанных технологий не требует больших затрат, их конструкция достаточно проста, и многие ее части сейчас используются в системах вентиляции с рекуперацией. Следовательно, можно добиться значительного экономического эффекта при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений с использованием энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций.

### Список литературы

1. Шубин И., Спиридонов А. Проблемы энергосбережения в российской строительной отрасли // Энергосбережение. – 2013. – № 1. – С. 22–31.
2. Бирюков П.П., Табунщиков Ю.А. Повышение энергетической эффективности многоквартирных жилых домов. Приказ Минстроя России // Энергосбережение. – 2017. – № 1. – С. 10–20.
3. Бараненко А.В. Итоги работы МАХ в 2012–2013 годах (доклад президента МАХ на 20-м общем годовичном собрании 23 апреля 2013 г.) // Вестник Международной академии холода. – 2013. – № 2. – С. 4–12.
4. Об утверждении требований к форме программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства и муниципального образования, организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности, и отчетности о ходе их реализации: Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30 июня 2014 г. № 398. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Шубин И., Спиридонов А. Законодательство по энергосбережению в США, Европе и России. Пути решения // Вестник Моск. гос. строит. ун-та. – 2011. – Т. 3. – С. 79–89.
6. Эффект Коанда [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 05.11.2017).
7. Системы с активной рекуперацией теплового потока в ограждающих конструкциях зданий / Т.А. Ахмяров, В.С. Беляев, А.В. Спиридонов, И.Л. Шубин // Энергосбережение. – 2014. – № 6. – С. 26–34.
8. Handel C. Ventilation with heat recovery is a necessity in “nearly zero” energy buildings // Rehva Electronic Journal. – 2011. – Vol. 2, № 1. – URL: <http://www.rehva.eu> (дата обращения: 08.11.2017).
9. Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Новый подход к повышению энергоэффективности зданий // Энергосбережение. – 2014. – № 5. – С. 45–54.

Получено 17.11.2017

**Ругалев Михаил Михайлович** – магистрант, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [rugalev\\_mihail@mail.ru](mailto:rugalev_mihail@mail.ru).

**Сычкина Евгения Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [spstf@pstu.ac.ru](mailto:spstf@pstu.ac.ru).