

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЗДАНИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Использование энергии в системах инженерного обеспечения зданий связано с потреблением первичных энергетических ресурсов, т. е. органических топлив, и нетрадиционных возобновляемых источников энергии, а также с потреблением конечной высокоорганизованной, например электрической, энергии, подведенной непосредственно к установкам систем. Разработаны проекты зданий, которые выполнены с учетом различных подходов к экономии энергоресурсов. Известны проекты энергоактивных, энергоэкономичных, «пассивных», «умных» и других зданий.**

Профессор Ю. А. Табунщиков [1] предлагает следующее определение концептуального подхода к созданию зданий XXI в.

Энергоэффективное здание – здание, в котором эффективное использование энергоресурсов достигается за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, а также приемлемы с экологической и социальной точек зрения и не изменяют привычного образа жизни.

В Европе идеи энергосберегающих технологий трансформировались в концепцию «пассивного здания».

Вольфганг Файст определяет «пассивное здание» как концепцию достижения высоких показателей теплового комфорта и качества микроклимата при низком энергопотреблении.

Предлагаемые принципы трактуют задачи создания энергоэффективных зданий с учетом качества микроклимата помещений, экологических и экономических требований. В то же время на сегодняшний день не создана единая теория проектирования энергоэффективных зданий. Обычно в проект энергоэффективного здания включаются независимые инновационные энергосберегающие решения, к которым относятся:

- оптимизация архитектурных форм здания с учетом возможного воздействия ветра;
- расположение здания, обеспечивающее возможность максимального использования солнечной радиации;
- увеличение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания (наружных стен, покрытий, перекрытий над неотапливаемыми подвалами);

- сведение к минимуму количества и уменьшение теплопроводности имеющихся в конструкции тепловых мостиков;

- повышение сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций;

- обеспечение регулируемого поступления наружного воздуха с использованием как механических систем, так и систем с естественным побуждением;

- создание систем вентиляции в помещениях с организацией утилизации теплоты удаляемого воздуха;

- создание систем отопления, обеспечивающих учет и регулирование расхода теплоты и индивидуального регулирования температуры воздуха в каждом помещении;

- использование как централизованного, так и децентрализованного теплоснабжения.

Анализ используемых технических решений позволяет определить три основополагающих направления при создании энергоэффективного здания:

- обеспечение комфортного микроклимата помещений;

- максимальное использование энергии окружающей среды;

- оптимизация энергетических элементов инженерных систем здания и самого здания как единого целого.

Указанные направления взаимосвязаны, и совместное их решение должно обеспечить основную задачу – создание комфортной среды обитания человека.

Осуществление указанных принципов возможно на основании положений системного анализа. Методология системного анализа наиболее часто используется для построения и реализации математических моделей сложных объектов. Данный подход использован в [2] для построения математических моделей теплового режима здания, состоящих из описания совокупности всех физических факторов и процессов, определяющих тепловую обстановку в его помещениях. Математические модели позволяют выполнить общий анализ взаимодействия отдельных факторов на уровне систем. Например, при проектировании энергоэффективного здания необходимо правильно выбрать архитектурно-планировочное решение. При этом должны быть учтены ориентация здания, топография участка, характеристики грунта, количество солнечной радиации, ветровые характери-

ки, осадки, наличие водоемов и растительности. Перечисленные факторы в той или иной степени влияют на эксплуатацию здания, т. е. на энергопотребление. Поэтому выбор ориентации здания может быть сделан только после оценки всех факторов окружающей среды, влияющих на микроклимат его помещений.

Анализ математических моделей здания на уровне систем позволяет выбрать оптимальное решение его расположения для конкретных условий местности и климата.

Но здания и сооружения состоят не из «единой оболочки». Ограждающие конструкции – это наружные стены, покрытия, чердаки из различных материалов и разной конструкции, оконные заполнения из дерева, пластмасс, металла или композиционных материалов со стеклопакетами и без них, угловые сопряжения стен, стыковые сопряжения панелей, теплопроводные включения и т. д. Каждая из инженерных систем обеспечения микроклимата зданий – это совокупность оборудования, приборов и магистралей, выполняющих разные задачи и имеющих разные функции. Воздушная среда зданий представляет собой смесь неконденсирующихся и конденсирующихся газов, неадекватно ведущих себя при изменении теплового и влажностного режимов помещений. Возможная конденсация водяного пара на поверхности или внутри ограждающих конструкций серьезно ухудшает микроклимат помещений и теплозащитные качества конструкций.

Существует необходимость рассмотрения особенностей проектирования зданий и сооружений не только на уровне систем, но и на уровне отдельных элементов инженерных систем, ограждающих конструкций. Сопряжение оконных блоков с наружными стенами, выполнение стыковых соединений панельных зданий, организация притока и удаления воздуха в помещениях, выбор и установка нагревательных приборов, подготовка воздуха имеют не меньшее значение, чем выбор варианта ограждающей конструкции, инженерных систем или архитектурно-планировочного решения. Перечисленные задачи являются чисто конструктивными и теплотехническими.

Энергосбережение зданий связано с экономией тепловой, электрической и, в меньшей степени, механической энергии. Оценка их энергопотребления выполняется по уровню общего расхода энергии, включающего все перечисленные виды, используемые на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение здания. Строительные нормы государств регламентируют энергопотре-

бление зданий. Европейские нормы устанавливают потребление энергии на уровне 80...100 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). Но уже разработаны концепции энергоэффективного дома с нормой 15 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), которые реализуются в Европе в районах, лежащих на широте, южнее 50° параллели [Стандарт «пассивного дома»].

Реализация концепции энергоэффективного здания зависит от наличия энергосберегающих технологий и оборудования. На рисунке 1 представлена схема, показывающая направление возможной реализации энергосберегающих мероприятий в жилом доме.

К основным энергосберегающим технологическим направлениям относятся:

- повышенная теплоизоляция ограждающих конструкций зданий;
- использование автономных источников теплоснабжения;
- утилизация теплоты вентиляционных выбросов и сточных вод;
- использование возобновляемых источников энергии;
- использование современных энергоэкономичных систем ОВК.

## 1. ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

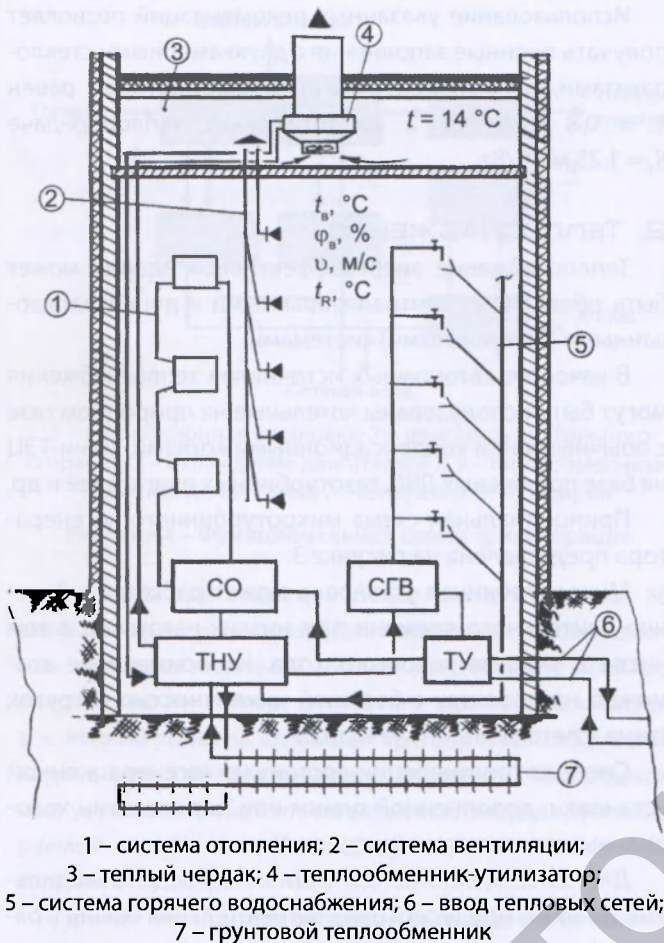
Современные ограждения зданий всегда являются неоднородными, имеют ребра жесткости, бетонные вставки, металлические связи и крепления, т. е. имеют теплопроводные включения, оказывающие влияние на перенос теплоты. Наличие повышенных стоков теплоты может увеличить суммарные теплотери зданий на 10...20 %.

Оценку теплозащитных качеств ограждающих конструкций и расчет теплотерь помещений необходимо выполнять с учетом всех теплопроводных включений, т. е. по приведенному сопротивлению теплопередаче.

Величины приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и методики их расчета принимаются в соответствии с действующими нормативными документами. В Республике Беларусь – по ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника».

При проектировании и строительстве экспериментальных и энергоэффективных зданий приведенные сопротивления теплопередаче ограждений при обосновании могут быть приняты выше нормативных величин или отличаться от них.

Для экспериментального крупнопанельного жилого дома, построенного в Москве в микрорайоне Никулино-2,



**Рисунок 1 – Схема возможных энергосберегающих мероприятий в жилых зданиях**

расчетные сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций приняты [3]:

- стен – 3,28 м<sup>2</sup>·°C/Вт;
- покрытия – 4,39 м<sup>2</sup>·°C/Вт;
- окон – 0,60 м<sup>2</sup>·°C/Вт.

В Республике Беларусь в основу экспериментально эффективного здания принят типовый проект панельного жилого дома серии 111-90 с «теплым» чердаком [4]. Расчетные приведенные сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций для него равны:

- оконные заполнения – 1,2 м<sup>2</sup>·°C/Вт;
- стеновые панели со средним значением – 4,0 м<sup>2</sup>·°C/Вт.

По данным [5] многоэтажное энергоэффективное жилое здание в Нью-Йорке имеет следующие величины сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций:

- оконные заполнения – 0,43 м<sup>2</sup>·°C/Вт;
- наружные стены – 1,49 м<sup>2</sup>·°C/Вт;
- покрытия – 4,0 м<sup>2</sup>·°C/Вт.

При решении задач экономии теплоты с учетом энергоэффективности систем инженерного оборудования зданий целесообразным является повышение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен до  $R_T^{np} \sim 3,0$  м<sup>2</sup>·°C/Вт. Дальнейший рост  $R_T^{np}$  стен позволяет получить экономию теплоты в здании на каждую термическую единицу не более 4 %, при этом возрастает значимость расхода энергии на вентиляцию и отопление. Это связано с тем, что увеличение толщины утеплителя вызовет конструктивные изменения всех узлов стены, в результате чего интенсифицируется перенос теплоты через теплопроводные включения.

При теплоизоляции наружных стен эксплуатируемых зданий наиболее дешевым является способ утепления с укрытием изоляции легкими или тяжелыми штукатурными системами, при облицовке кирпичом стоимость утепления возрастает на 30...40 %, а при выполнении вентилируемого фасада – в 1,9...2,0 раза.

Во вновь построенных зданиях единовременные затраты на теплоизоляцию ограждающих конструкций окупаются в течение 9...10 лет.

К энергосберегающим технологиям в энергоэффективных зданиях относится и использование «теплых» чердаков [6].

Существенное влияние на поддержание микроклимата в помещениях и на расход энергии инженерным оборудованием зданий оказывает конструкция и размеры их остекления [7]. Повышение теплозащитных качеств современных окон может быть осуществлено только с одновременным повышением сопротивления теплопередаче оконного блока, стеклопакетов и узлов примыкания оконных блоков к наружной стене.

Базовые оконные и фасадные профили для изготовления блоков современных энергосберегающих светопрозрачных ограждений должны иметь повышенное сопротивление теплопередаче, близкое к нормативному сопротивлению всей конструкции. Это требование для профилей ПВХ выполняется при заполнении камер эффективным теплоизолирующим материалом, увеличением ширины блока до 100...120 мм и створок до 70 мм.

При изготовлении блоков из древесины повышение сопротивления теплопередаче достигается путем замены в трехламберном клееном бруске среднего слоя древесины на слой из полимерного материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda < 0,05$  Вт/(м·°C).

Основное влияние на приведенное сопротивление теплопередаче окон оказывают теплозащитные качества



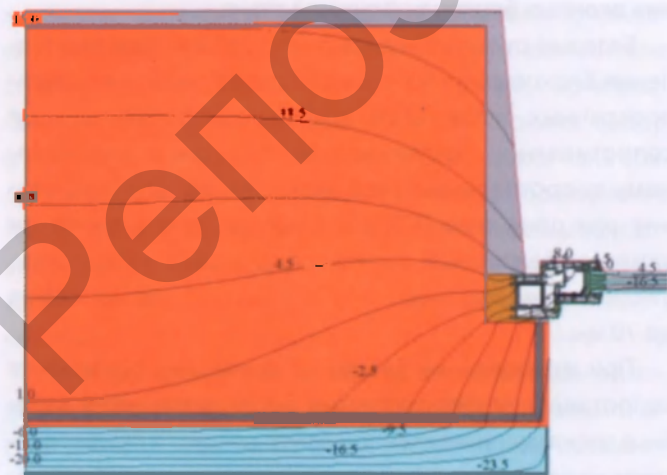
стеклопакетов. Перенос теплоты через стеклопакет происходит излучением, конвекцией и теплопроводностью. Повышать его теплозащитные качества можно, уменьшая или изменяя интенсивность и механизм процессов переноса теплоты, учитывая при этом требования условий летней и зимней эксплуатации.

Теплозащитные качества стеклопакетов зависят от использования при их изготовлении специальных стекол с низкоэмиссионным селективным покрытием и количества их в изделии. Вследствие этого очевиден переход к применению двухкамерных стеклопакетов, в которых два стекла обычно имеют низкоэмиссионное мягкое покрытие. При этом стекло, непосредственно контактирующее с внутренним воздухом, преграждает путь энергии из помещения к наружному воздуху.

Для уменьшения конвективного теплообмена в межстекольном пространстве стеклопакетов необходимо создать вакуум порядка  $10^{-2} \dots 10^{-3}$  мм рт. ст. или заполнить камеры инертными газами – аргоном, криптоном или др.

Тот факт, что современные оконные блоки имеют узкие коробки, влияет на повышение теплопотерь через откосы наружных стен и возможность конденсации водяного пара из воздуха помещений. Это указывает на необходимость особого внимания к тепловому режиму их узлов сопряжения с наружными стенами.

Расчеты температурных полей для различных условий сопряжения узлов со стенами кирпичных, панельных зданий показали, что наиболее простыми и эффективными решениями является теплоизоляция стен или откосов с наружной и внутренней сторон (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Температурное поле узла сопряжения оконного блока из ПВХ с кирпичной стеной толщиной 510 мм и наружной теплоизоляцией пенополистирольными плитами толщиной 60 мм**

Использование указанных рекомендаций позволяет получать оконные заполнения с двухкамерными стеклопакетами, коэффициент теплопередачи которых равен  $k = 0,8$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С), а сопротивление теплопередаче  $R_t \approx 1,25$  м<sup>2</sup>·°С/Вт.

## 2. ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

Теплоснабжение энергоэффективных зданий может быть обеспечено централизованными и децентрализованными (автономными) системами.

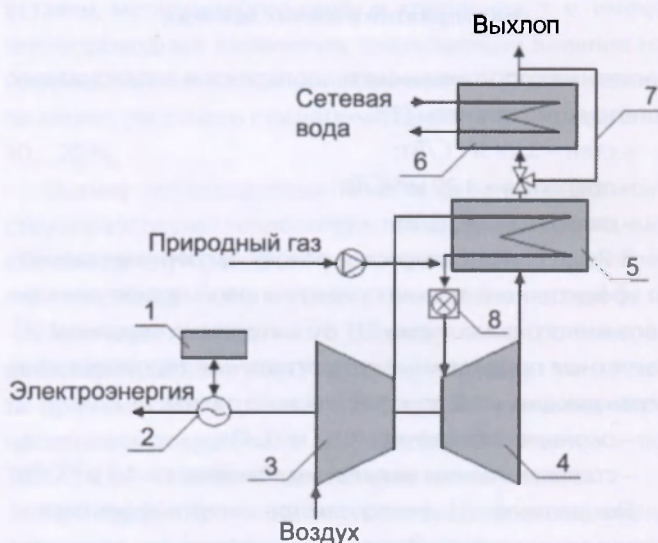
В качестве автономных источников теплоснабжения могут быть использованы котельные на природном газе с обычными или конденсационными котлами, мини-ТЭЦ на базе поршневых ДВС, газотурбинных двигателей и др.

Принципиальная схема микротурбинного когенератора представлена на рисунке 3.

Микротурбинная установка может работать в течение длительного времени при низких нагрузках, в том числе в режиме холостого хода. Их применение возможно на объектах с большой цикличностью нагрузок (зима – лето, день – ночь и др.).

Система тригенерации состоит из когенерационной установки, дополненной одним или несколькими холодильными агрегатами (рисунок 4).

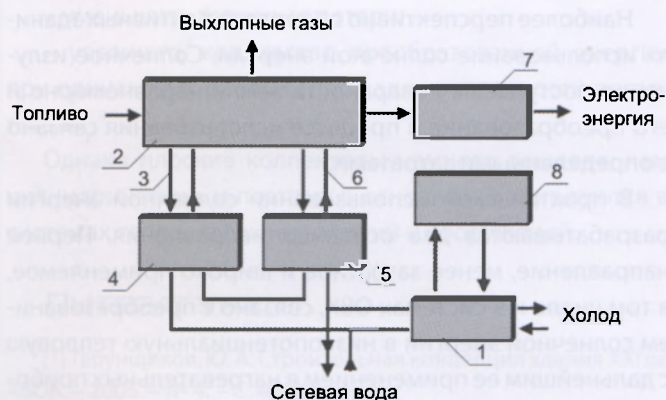
Для охлаждения конденсационной воды холодильной машины предусмотрена испарительная башня (градирня).



1 – блок силовой электроники; 2 – генератор;  
3 – компрессор; 4 – турбина;

5 – рекуперативный теплообменник; 6 – котел-утилизатор;  
7 – байпасный газоход; 8 – камера сгорания

**Рисунок 3 – Принципиальная схема микротурбинного когенератора**



1 – абсорбционная установка; 2 – двигатель внутреннего сгорания; 3 – охлаждение двигателя; 4 и 5 – теплообменники; 6 – охлаждение газов; 7 – генератор; 8 – градирня

**Рисунок 4 – Функциональная схема тригенерации**

В схемах тригенерации более распространены абсорбционные установки. Достоинствами абсорбционных chillеров является низкое потребление электроэнергии, почти полное отсутствие движущихся частей, т. е. низкий уровень шума и вибрации, и использование воды в качестве компонента хладагента. Абсорбционные установки работают на тепловой энергии, утилизируемой на станции тригенерации (отработанные газы, горячая вода, пар).

При организации теплоснабжения зданий от когенерационных и тригенерационных установок общая эффективность использования топлива, отнесенная ко всей экономии на производство теплоты, может достигать 90 % – 100 %, так как одно и то же топливо одновременно используется на получение и электроэнергии, и холода.

Перспективными объектами для систем тригенерации являются, например, больничные комплексы. Они работают 365 дней в году, являются крупнейшими потребителями электричества (использование медицинской аппаратуры, оснащение операционных и пр.), теплоты (отопление, пар для стерилизации инструмента) и холода для нужд кондиционирования воздуха. На таких объектах комбинированные системы двойного и тройного действия работают в постоянном режиме.

### 3. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Основным направлением повышения эффективности систем отопления является применение технических решений и оборудования, позволяющих поддерживать, устранять или сокращать избыточный нагрев помещений зданий.

Сокращение затрат на энергоснабжение систем отопления достигается путем:

- применения регулируемых, автоматизированных систем;
- применения прерывистого отопления;
- устройства локальных систем;
- применения низкотемпературного отопления и др.

### 4. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

Решение вопросов по экономии энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха (КВ) начинается при разработке проектной документации на здание или объект. Энергосбережение является многоплановой задачей и затрагивает все этапы проектирования от выбора исходных данных до проекта автоматизации.

Например, тепловая мощность, потребляемая приточной системой вентиляции в зимний период года для подогрева приточного воздуха, определяется по формуле

$$Q = L \cdot \rho_n \cdot (h_b - h_n), \quad (1)$$

где  $Q$  – тепловая мощность, Вт;

$L$  – производительность, м<sup>3</sup>/с;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$h_b$  и  $h_n$  – соответственно энтальпия внутреннего и наружного воздуха, кДж/кг.

А мощность на валу вентилятора указанной системы – по формуле

$$N = \frac{L \cdot P}{\eta} \cdot \beta, \quad (2)$$

где  $N$  – мощность привода, кВт;

$P$  – давление, Па;

$\eta$  – коэффициент полезного действия вентилятора;

$\beta$  – коэффициент запаса мощности.

Из приведенных формул видно, что уменьшение энергопотребления зависит от уменьшения величин, входящих в них, в основном от производительности вентиляционной системы по воздуху.

Важное значение на потребление энергии системой вентиляции и КВ имеет выбор правильной подачи и распределения приточного воздуха в помещении. Комфортные условия в нем достигаются за счет смешивания приточного и внутреннего воздуха до приемлемых условий или замещения отработанного воздуха, а также выбора рабочей разности температур

$$\Delta t_p = t_{вн} - t_{пр}.$$

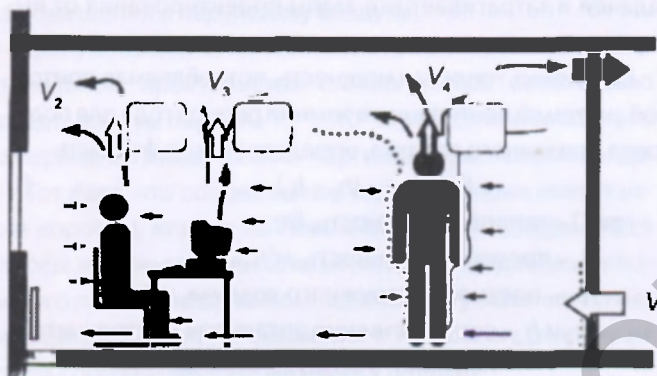
Одним из способов повышения эффективности систем является использование вытесняющей вентиляции.



Ее преимущество заключается в повышении эффективности воздухообмена в рабочей зоне и снижении энергозатрат на подготовку воздуха. Конвективные потоки переносят чистый приточный воздух в зону дыхания человека.

В системах вытесняющей вентиляции приточный воздух подается через воздухораспределители, расположенные на уровне пола либо встроенные в пол, в обслуживаемую зону помещения. Его температура должна быть на 1 °С...8 °С ниже температуры воздуха в помещении.

Удаление загрязненного воздуха, вытесняемого в верхнюю зону, осуществляется под потолком помещений. Схема движения потоков воздуха показана на рисунке 5.



**Рисунок 5 – Схема движения потоков воздуха вытесняющей вентиляции в непроизводственных помещениях**

Устойчивая работа вытесняющей вентиляции обеспечивается при условии, что объемы подаваемого воздуха равны сумме объемов воздуха в конвективных потоках, образующихся над тепловыми источниками выше уровня обслуживаемой зоны.

$$V_1 = V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n, \quad (3)$$

где  $V_1$  – объем подаваемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$V_2, V_3, V_4, V_n$  – объемы воздуха в конвективных потоках, м<sup>3</sup>/ч.

Примером использования вытесняющей вентиляции служит подача воздуха из-под кресел в театрально-концертных залах.

## 5. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

К основным нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии в Республике Беларусь можно отнести гидро-, ветроэнергетические и геотермальные ресурсы, солнечную энергию, биомассу, твердые бытовые отходы.

Наиболее перспективно в энергоэффективных зданиях использование солнечной энергии. Солнечное излучение поступает к поверхности земли неравномерно и его преобразование в процессе использования связано с определенными затратами.

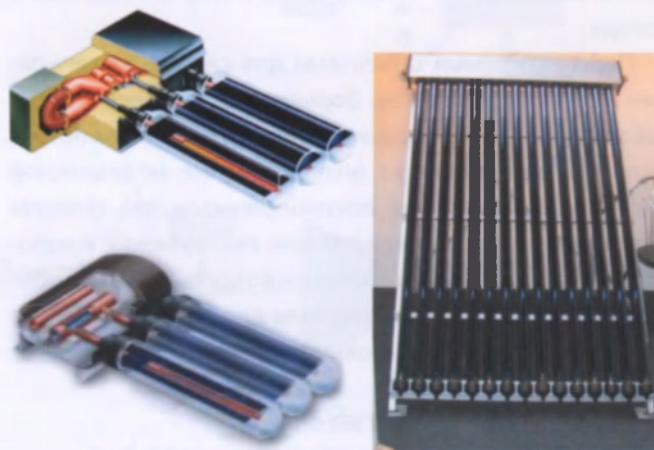
В практическом использовании солнечной энергии разрабатываются два основных направления. Первое направление, менее затратное и широко применяемое, в том числе и в системах ОВК, связано с преобразованием солнечной энергии в низкопотенциальную тепловую с дальнейшим ее применением в нагревательных приборах различных термических устройств и системах теплоснабжения. Второе направление, требующее более высоких затрат, связано с преобразованием в электрическую энергию.

Возможности использования энергии солнца связаны с наличием приемников энергии. Наиболее распространенными и дешевыми являются плоские приемники энергии. Но они менее эффективны, чем вакуумные коллекторы (рисунок 6).

В вакуумных коллекторах поглощающая поверхность находится в стеклянном цилиндре (трубе), выполненном по принципу термоса – одна трубка вставлена в другую с большим диаметром, а пространство между ними вакуумировано.

Цилиндрические трубчатые коллекторы имеют ряд преимуществ по сравнению с плоскими коллекторами. При их использовании можно:

- получить более высокие рабочие температуры в системе теплоснабжения (120 °С – 160 °С);



а) трубчатый коллектор с тепловой трубой;  
б) прямоугольный вакуумированный трубчатый коллектор;  
в) общий вид приемника

**Рисунок 6 – Трубчатые приемники солнечной энергии**

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

– уменьшить тепловые потери;  
– увеличить количество преобразованной энергии при одинаковых рабочих площадях поверхности поглотителя.

Однако плоские коллекторы намного дешевле, чем цилиндрические, и поэтому в основном используются в системах теплоснабжения зданий и сооружений.

Плоский коллектор с селекционным покрытием панели и простейшим прозрачным покрытием корпуса считается самым выгодным для низкотемпературного преобразования солнечной энергии в условиях стран Европы.

**А. М. ПРОТАСЕВИЧ**, доцент кафедры «Теплоснабжение и вентиляция» Белорусского национального технического университета, канд. техн. наук

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Табунщиков, Ю. А. Строительная концепция здания XXI века в области теплоснабжения и климатизации / Ю. А. Табунщиков // АВОК. – 2005. – № 4. – С. 4 – 7.
- [2] Табунщиков, Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
- [3] Васильев, Г. П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2 / Г. П. Васильев // АВОК. – 2002. – № 4. – С. 10 – 18.
- [4] Таурогинский, В. И. Опыт строительства энергоэффективных зданий в Белоруссии / В. И. Таурогинский // Энергосбережение. – 2008. – № 1. – С. 74 – 76.
- [5] Бродач, М. М. Многоэтажное энергоэффективное жилое здание в Нью-Йорке / М. М. Бродач // АВОК. – 2003. – № 4. – С. 38 – 44.
- [6] Протасевич, А. М. Аэродинамические особенности систем вентиляции жилых зданий с «теплыми» чердаками / А. М. Протасевич, Д. Д. Якимович, В. Н. Короткий // Строительная наука и техника. – 2008. – № 1. – С. 56 – 61.
- [7] Протасевич, А. М. Особенности тепловлажностного режима оконных заполнений жилых зданий / А. М. Протасевич, А. Б. Крутилин, Е. С. Калиниченко // Мастерская. Современное строительство. – 2009. – № 3. – С. 39 – 41.