

УДК 697.922(476)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕЛИОСИСТЕМЫ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ КУЛЬТОВОГО ЗДАНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЕГО МИКРОКЛИМАТА

**Н.А. ВАСИЛЕВИЧ, Д.А. ВАСИЛЕВИЧ,
канд. техн. наук С.И. ПИВОВАРОВА
(Полоцкий государственный университет)**

Впервые предложена гелиосистема с абсорбированием тепла солнечной энергии для приточной механической системы вентиляции с целью улучшения микроклимата в культовом здании (церкви). Разработана и рассчитана схема пассивных коллекторов солнечной энергии и их размещение с учетом особенностей архитектурно-планировочных решений здания церкви. Работа выполнена в рамках решения задач по использованию возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь, созданию «зеленых» рабочих мест, а также энергосбережения.

Ключевые слова: культовое здание, микроклимат, гелиосистемы, коллектор солнечной энергии, энергоэффективная система вентиляции, энергосбережение, естественный воздухообмен, аэрация.

Введение. В Республике Беларусь, как и в Российской Федерации, более 30 лет идет активное восстановление, строительство и реконструкция культовых зданий, среди которых православные храмы, соборы и церкви, построенные в XII–XX веках [1].

По православному канону храм в плане может иметь различные формы [2–5], виды которых приведены в [6, прил. Д, Е и Ж]. Традиционным в православной церкви считается крестово-купольный храм. Основу здания образует четко читаемый в плане равноконечный греческий крест, над центром которого возводится купол – обязательный элемент православных культовых зданий. Многовековой практикой строительства культовых сооружений у славян выработано несколько типов сводчатых перекрытий, выполняемых кладкой из кирпича или естественного природного камня.

Все храмы могут быть объединены в три группы по общему характеру объемно-пространственной архитектурной композиции: с продольным развитием (по оси восток – запад), центричные (круг, треугольник, восьмиугольник), сложные (многопридельные).

Приделы могут располагаться на разных этажах, если церковь двухэтажная, и в разных отсеках одного этажа. В некоторых случаях делают пристройки к храму, где устраиваются отдельные приделы. Другим способом размещения приделов является устройство в цокольном этаже церкви, то есть в подклете. Устройство подклета увеличивает высоту церковного здания.

Храм разделяется на три основные части: притвор, средняя часть храма (помещение для молящихся) и алтарь. Алтарь обычно обращен на восток.

Освещение осуществляется посредством окон, лампад и свечей. Богослужебный устав предусматривает в одних случаях зажжение всех светильников, в других – почти полное их погашение.

Центр культового здания освещает большое паникадило – светильник, имеющий более двенадцати свечей или электрических ламп в форме свечей. Из боковых куполов спускаются светильники на 7–12 свечей. Большой подсвечник ставится всегда в центре храма у восточной стороны аналая. Лампады зажигают перед каждой иконой (у особо чтимых – несколько лампад).

На окнах православных храмов нет больших представительных витражей. На каждой стене рекомендуется иметь три или пять окон. Отношение площади световых проемов к площади пола или объема внутренних помещений церкви не регламентируется. Окна в церкви рекомендуется располагать так, чтобы нижний обреш оконных проемов приходился выше уровня глаз стоящего в храме человека.

Важное значение имеет акустика, которая достигается исторически сложившейся геометрией пространства храма и нахождением такой высоты церкви, чтобы поющий звук имел силу и резонанс с выгодными эффектами звукового пространства (полезные эффекты звуковой камеры).

Основная часть. Проектирование систем вентиляции и отопления культовых зданий сегодня необходимо выполнять с использованием технических норм, принятых в Республике Беларусь [6], которые схожи с нормами для проектирования микроклимата культовых зданий в Российской Федерации [7; 8].

Эксплуатация некоторых культовых зданий в городе Полоцке показала (и это характерно для многих других культовых зданий как в Республике Беларусь, так и в Российской Федерации [5]) ряд недостатков, допущенных при проектировании систем отопления и вентиляции из-за неучтенных архитектурно-планировочных особенностей, а также отсутствия норм на их проектирование в период выполнения реконструкции. На основе результатов обследования с использованием тепловизионной съемки и путем расчетов нами было предложено конструктивно усовершенствовать *систему отопления* [12] и расположение отопительных приборов по высоте помещения культового здания с учетом новых норм на проек-

тирование для индивидуальных жилых домов с высотой этажа более 4 м [9, п. 7.1.17]. При этом значительно изменяется микроклимат и характер движения потоков воздушной среды внутри здания.

Известно [3; 4], что еще сто лет назад учитывались особенности быстрого остывания воздушных потоков внутри культовых зданий: создавался дополнительный подогрев воздуха в холодный период года с использованием печного отопления и организовывался естественный воздухообмен и проветривание с учетом погодных условий. Например, простой способ, основанный на физическом законе, можно применить и сейчас [8]. Для этого в неотапливаемом помещении в наиболее холодной части здания ставится массивный стеклянный сосуд с водой для выравнивания температуры в сосуде с температурой в помещении. Сосуд периодически выносят на улицу. Если на улице стекло сосуда запотеваает, то это означает, что наружный воздух, попадая внутрь храма, при соприкосновении с элементами интерьера, имеющими ту же температуру поверхности, что и сосуд, будет приводить к выпадению конденсата. Следовательно, выполнять неорганизованный воздухообмен в культовом здании проветриванием в такие периоды нельзя. Положительный эффект для организации *аэрации* и естественного воздухообмена вызвало предложенное нами мероприятие для храма Покрова Пресвятой Богородицы в городе Полоцке (рисунок 1, а), которое успешно реализовали, установив электрооткрывающуюся фрамугу (электрофрамугу) с дистанционным управлением в оконном проеме под куполом над помещением для молящихся. Удобство регулирования электрофрамуги в том, что управление выведено на уровень 1,5 м от уровня чистого пола в отдельное помещение ризницы.

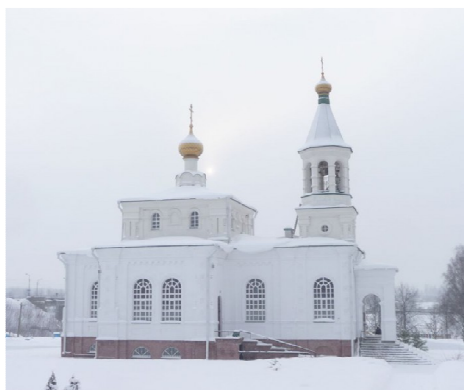
Удаление воздуха из помещений храма следует предусматривать аэрацией из верхней зоны с помощью вытяжных отверстий, расположенных в барабанах глав и куполах, или через заполнения световых проемов в верхней зоне храма [5]. Такая схема помимо эффективного удаления влаги, которая появляется после мытья полов и выделяется при дыхании людей, решает проблему отопления барабанов глав, повышая температуру на внутренних поверхностях стен, термическое сопротивление которых значительно ниже, чем для основных конструкций, и предотвращает выпадение конденсата на поверхности внутренних стен и потолка.

При проектировании системы отопления [12] нами впервые учтены в расчетах особенности архитектурно-планировочного решения культовых зданий с учетом изменения высоты под сводом купола церкви и собора с применением рекомендаций [9, п. 7.1.17]. Изменение высоты помещения для молящихся и высоты над окнами первого яруса создает быстрое охлаждение конвективных потоков над отопительными приборами, традиционно установленными под окнами [10]. Нами предложена схема системы отопления с расположением отопительных приборов на двух ярусах и проектирование второй ветки для обогрева купола. На первом ярусе необходимо размещать отопительные приборы на горизонтальном стояке над уровнем чистого пола выше на 70 мм под оконными проемами, на втором ярусе – гладкие трубы (стальные водогазопроводные по ГОСТ 3262-75*) под окнами купола на высоте +8,300 м (рисунок 1, б). Для работы котла в топочной используется теплоноситель с низкими параметрами – вода (60–25 °С), подогреваемая электрической энергией, вырабатываемой в плоском гелиоколлекторе; также применяется вакуумный расширительный бак.

Предложенные нами конструкции пассивных гелиоколлекторов для механической системы *приточной вентиляции* культового здания с использованием плоского коллектора солнечной энергии (далее – КСЭ) КСЭ № 1 и КСЭ № 2 с адсорбирующим наполнителем представлены на рисунках 2 и 3 с учетом рекомендаций [13].

Конструктивно КСЭ № 1 и КСЭ № 2 представляют собой плоские панели, расположенные под углом β , составляющим 53° (угол β равен широте местности), с восточного и южного фасадов здания церкви [16, § 16.3]. Адсорбер выполнен из пластин хорошо проводящего металла – меди. Использовано неселективное стекло, которое не пропускает волны светового и теплового излучений. В отличие от плоского солнечного коллектора здесь нет трубок, воздух абсорбирует тепло и нагревается непосредственно при контакте с пластиной адсорбера. Для увеличения площади теплоотдачи адсорбер имеет разную форму: в конструкции КСЭ № 1 адсорбером является накопитель из камней или красного глиняного кирпича. В коллекторе КСЭ № 2 адсорбер-накопитель выполнен из ребристого листа меди или двух расположенных один за другим медных листов: первый от стекла – перфорированный лист, а второй – ребристый. Коллектор должен быть хорошо изолирован со стороны стены здания, чтобы уменьшить тепловые потери. Циркуляция воздуха в таких системах может быть как естественной, так и принудительной с применением вентилятора и шумоглушителя (рисунок 4).

Ранее рассматривались конструкции плоских коллекторов с различным числом слоев остекления в плоском пассивном коллекторе солнечной энергии [12]. Принятая скорость движения воздуха в КСЭ равна 4 м/с. Кратность воздухообмена в здании церкви составляет не менее 30 м³/ч наружного воздуха на 1 человека [6] и одновременное нахождение в помещении 50 молящихся. Однако в большие праздники в помещении церкви присутствует на службах примерно на 150% больше людей, чем по нормам [6]. Для использования возобновляемых источников энергии, применительно к климатическим особенностям Республики Беларусь, нами предлагаются схемы расположения пассивных гелиоколлекторов КСЭ № 1 и № 2 относительно восточной и южной стен здания церкви и фасада с учетом рекомендаций [9; 13] (рисунки 4, 5).



а

б

а – фотоснимок храма Покрова Пресвятой Богородицы, Полоцк;
б – изображение строящейся церкви, Полоцкий район, в редакторе Autodesk 3ds Max

Рисунок 1. – Архитектурный вид культовых зданий
русской православной христианской церкви

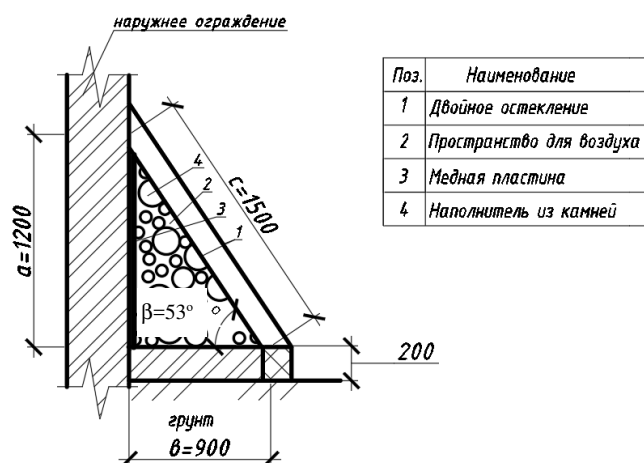


Рисунок 2. – Конструктивная схема коллектора солнечной энергии № 1,
установленного наклонно у наружных стен с восточной и южной сторон

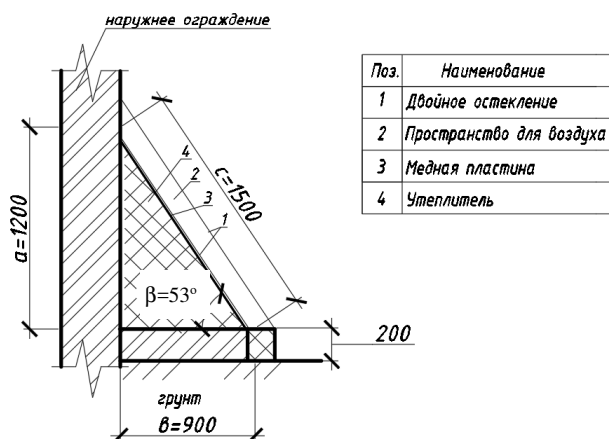


Рисунок 3. – Конструктивная схема коллектора солнечной энергии № 2,
установленного наклонно у наружных стен с восточной и южной сторон

Мы предлагаем установить утепленный клапан, осевой вентилятор и шумоглушитель с внутренней стороны здания после КСЭ. Нами рассчитаны размеры плоского КСЭ № 2 и выбрана ширина щели для прохода воздуха, равная 50 мм, в соответствии с воздухообменом и нормами [6].

Для подогрева приточного воздуха можно использовать другие источники энергии, в том числе возобновляемые – энергию ветра или источники низкопотенциальной энергии для тепловых насосов.

В предложенной нами энергоэффективной схеме системы механической вентиляции используется солнечное тепло путем абсорбции в воздушных плоских и объемных КСЭ.

Забор воздуха для приточной механической системы вентиляции с КСЭ № 1 и КСЭ № 2 осуществляется с восточной стороны здания через три наружные воздухозаборные решетки марки РА4С-3, которые установлены на прямоугольном воздуховоде сечением 500×500 мм, закрепленном на наружной стене здания на высоте не менее 2000 мм [7–9] от поверхности земли.

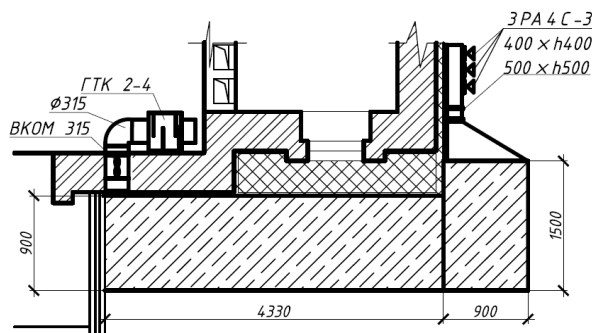


Рисунок 4. – Коллектор солнечной энергии, установленный у наружных стен церкви с восточной и южной сторон (вид сверху)

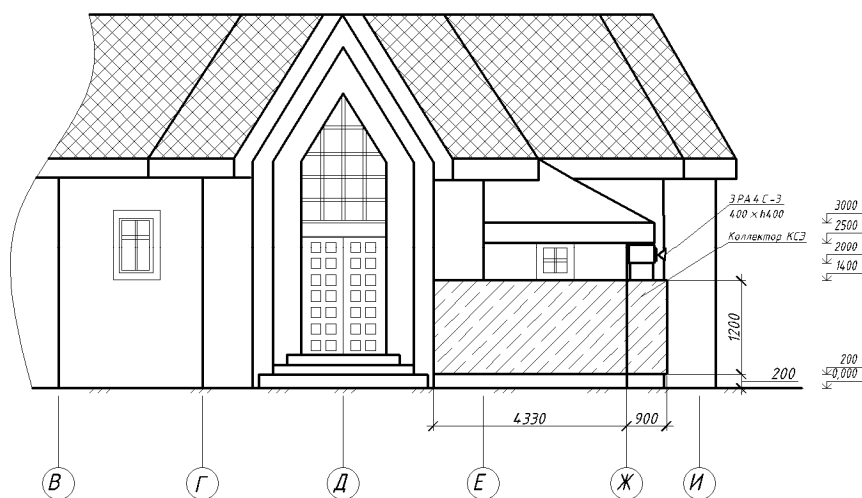


Рисунок 5. – Коллектор солнечной энергии, установленный у наружных стен церкви с восточной и южной сторон (фасад здания)

При аккумулировании энергии от гелиоколлектора можно в дальнейшем использовать ее в системе воздушного отопления или приточной вентиляции. Низ фундамента КСЭ расположен на высоте 250 мм над уровнем земли, что выше толщины снежного покрова и позволяет легко обслуживать поверхность КСЭ, содержать в чистоте солнцеприемную наклонную поверхность, сберегая до 30% солнечного потока.

Конструктивные особенности пассивного солнечного коллектора КСЭ № 1 (см. рисунки 2, 4, 5) отражены в следующем оборудовании:

- забор воздуха осуществляется с правой стороны от панели с помощью трех наружных воздухозаборных решеток марки РА4С-3;
- круглый оцинкованный стальной воздуховод монтируется к установке при помощи диффузора, осуществляя переход с круглого сечения на треугольное;
- диаметр воздуховода и конструкция диффузора подбирались в соответствии со справочником проектировщика [15, 16];

- после диффузора устанавливается утепленный клапан [10, 11, 15, 16];
- для помещения рассчитаны к установке вентилятор осевой низкого давления марки ВКОМ 315, калорифер электрический или на низкопотенциальном тепле, или от теплоутилизатора воздух–воздух;
- перед подачей воздуха в помещение установлен глушитель шума трубчатый марки ГТК 2-4.

Когда используются зажженные восковые или парафиновые свечи и сгорает лампадное масло, в помещении для молящихся отмечается негативное присутствие ниспадающих рециркуляционных конвективных воздушных потоков [8], которые содержат сажевые включения и при ниспадающем движении вдоль наружных стен приводят к оседанию сажевой пыли на стены, предметы и отопительные приборы, отрицательно влияют на интерьер, ухудшают микроклимат. Ранее [5] были рассчитаны влияние конструкций оконных переплетов, вентиляционных систем и выделяющихся вредностей на микроклимат культовых зданий, а также время эксплуатации здания без выпадения конденсата на внутренние поверхности стен при различной численности прихожан. Например, при численности 1000 человек время до выпадения конденсата на внутренних поверхностях храма во время службы составляет 2 ч 49 мин, 2000 человек – 1 ч 28 мин, 2500 человек – 1 ч 11 мин [5]. Отмечено, что без наличия систем вентиляции во время проведения молитвенной службы в культовом здании выпадение конденсата будет происходить быстрее в течение второго часа при численности в 2000 человек. Минимальный воздухообмен для разбавления углекислого газа и влаги должен составлять не менее 15 335 м³/ч при численности прихожан 1000 человек, 30 665 м³/ч – при 2000 человек и 38 335 м³/ч – при 2500 человек [5].

Заключение. С целью создания оптимального микроклимата в культовых зданиях, в которых предъявляются повышенные требования к интерьеру и акустике, а также использования возобновляемых источников энергии при реконструкции или строительстве систем их отопления и вентиляции [6; 10] с учетом технических нормативных требований, существующих в Республике Беларусь [1; 4; 6; 9; 13], рекомендуется применение гелиосистем. Использование КСЭ в культовом здании позволяет:

- 1) обеспечить воздухообмен согласно санитарным нормам, что улучшит микроклимат в помещении для молящихся и позволит работать общеобменной системе вентиляции для рассеивания вредностей от людей, сгорания свечей и лампад, что устранил негативное влияние ниспадающих воздушных потоков, возникающих при открытых наружных дверях и окнах;
- 2) рассматривать КСЭ как альтернативу гелиосистемам с жидким теплоносителем, а также с фотоэлектрическими преобразователями и аккумулярованием. Для подогрева теплоносителя воды в системе водяного отопления можно также использовать КСЭ. Для устранения недостатков желательно применять комбинированную схему тепло- и энергоснабжения инженерных систем [9];
- 3) использовать схему с сочетанием энергий от КСЭ и полученной в теплоутилизаторе позволит использовать тепло внутреннего удаляемого воздуха из культового здания (перед использованием удаляемый воздух необходимо очистить от копоти).
- 4) подогревать воздух в системах воздушного отопления или нагревать теплоноситель для систем водяного отопления за счет электрической энергии, полученной в плоских полупроводниковых КСЭ;
- 5) использовать энергию Солнца для получения электрической энергии в плоских КСЭ, а далее нагревать в котле теплоноситель воду для системы отопления культового здания. Обязательно выполнение рекомендации по проектированию отдельной ветки системы отопления для подкупольной зоны [12];
- 6) проектировать напольное отопление в некоторых помещениях с использованием энергии тепловых насосов и КСЭ [12];
- 7) в ночное время при необходимости использовать теплоту, накопленную в аккумуляторах тепла за солнечный световой день;
- 8) подавать и подогревать наружный приточный воздух и другие пассивные системы солнечной энергии по принципу «стены Тромба» [12].

В отличие от плоского солнечного коллектора в КСЭ нет трубок, воздух нагревается непосредственно при контакте с пластиной адсорбера. Для увеличения площади теплоотдачи адсорбер имеет ребристую форму или перфорацию. Коллектор должен быть хорошо изолирован со стороны стены здания, чтобы уменьшить тепловые потери. Циркуляция воздуха в таких системах может быть как естественной, так и принудительной с применением вентилятора и шумоглушителя. Мы предлагаем установить утепленный клапан, осевой вентилятор и шумоглушитель с внутренней стороны здания после КСЭ.

К недостаткам использования гелиосистем стоит отнести непостоянство поступления солнечной радиации в течение суток и года, а также несовершенство систем аккумулярования уловленной солнечной энергии [9; 12; 13].

Все предложенные нами схемы и обе предложенные конструкции коллекторов КСЭ № 1 и КСЭ № 2 достаточно просты с технической точки зрения (конструкция, монтаж) и удобно монтируются из доступных материалов и оборудования, производимых в Республике Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арлоў, Ул. Таямніцы Полацкай гісторыі / Ул. Арлоў – 2-е выд. дап. – Мінск : Полымя, 2002. – 464 с.
2. Бутурлинец, В.Б. Выбор места постановки деревянного культового строения и ориентация его воздухоприточных проемов в зависимости от климатических факторов местности / В.Б. Бутурлинец // Изв. вузов. Строительство. – 1996. – № 9. – С. 137–140.
3. Хрулёв, В.М. Обеспечение долговечности деревянных зданий зодчими Севера России / В.М. Хрулёв, Ю.А. Варфоломеев, Л.Г. Шаповалова // Изв. вузов. Строительство. – 1995. – № 4. – С. 111–114.
4. Кронфельд, Я.Г. Принципы устройства систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, тепло- и холодоснабжения в зданиях культовой архитектуры / Я.Г. Кронфельд // Авок. – 2000. – № 1. – С. 7–19.
5. Кочев, А.Г. Микроклимат православных храмов / А.Г. Кочев. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2004. – 448 с.
6. Культовые здания и сооружения. Здания, сооружения и комплексы православных храмов. Правила проектирования : ТКП 45-3.02-83-2007. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь (Минстройархитектуры Республики Беларусь), 2008. – 46 с.
7. Здания, сооружения и комплексы православных храмов : СП 31-103-99. – Введ. 1999–12–27. – М. : ГУП ЦПП, 2000. – 34 с.
8. Храмы православные. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха : Стандарт АВОК-2-2004. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2004. – 12 с.
9. Системы отопления и вентиляции усадебных жилых домов. Правила проектирования : ТКП 45-4.02-74-2007 (02250). – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2008. – 36 с.
10. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СНБ 4.02.01-03. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2005. – 62 с.
11. Внутренние инженерные системы зданий и сооружений. Производство работ. Правила монтажа (с изм.) : ТКП 45-1.03-85-2007. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2008. – 33 с.
12. Пивоварова, С.И. Энергоресурсосберегающие системы отопления и вентиляции культовых зданий с применением нетрадиционных источников энергии [Электронный ресурс] / С.И. Пивоварова, Д.А. Василевич, Н.А. Василевич // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электрон. сб. ст. междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Полоц. гос. ун-та, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоц. гос. ун-т ; под ред. А.А. Бакатовича, Л.М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 409–417.
13. Гелиосистемы теплоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Республики Беларусь : рекомендации по проектированию / В.В. Покотилов, М.А. Рутковский. – Минск, 2017. – 60 с.
14. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под ред. проф. Б.М. Хрусталёва. – Минск : ДизайнПРО, 1997. – 384 с.
15. Внутренние санитарно-технические устройства : справочник проектировщика : в 3 ч. / В.Н. Богословский [и др.] ; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – Изд. 4-е. перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1992. – Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. – 319 с.
16. Внутренние санитарно-технические устройства : справочник проектировщика : в 3 ч. / В.Н. Богословский [и др.] ; под ред. И.Г. Старовойта и Ю.И. Шиллера. – Изд. 4-е. перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1990. – Ч. 1. Отопление. – 344 с.

Поступила 16.10.2019

FEATURES OF SOLAR SYSTEM DESIGN FOR MECHANICAL VENTILATION SYSTEM OF THE CULT BUILDING TO IMPROVE ITS MICROCLIMATE

N. VASILEVICH, D. VASILEVICH, S. PIVOVAROVA

For the first time the solar system with absorption of heat of solar energy for supply mechanical ventilation system for the purpose of improvement of a microclimate in a cult building – Church is offered. The scheme of passive solar collectors and their placement taking into account features of architectural and planning decisions of the Church building is developed and calculated. The work was carried out in order to solve the problems of using renewable energy sources in the Republic of Belarus, to create "green" jobs, as well as to save electricity and heat.

Keywords: place of worship, climate, solar system, air solar energy collectors, energy efficient ventilation system, energy saving, natural air exchange, aeration.