



УДК 05.23.01

DOI 10.25628/UNIIP.2021.49.2.007

АЛЕХИН В. Н., ШАРОВАРОВА Е. П., ЩЕКЛЕИН С. Е., АБДУЛЛАХ ХУССЕЙН, НОВОСЕЛОВА Н. Е.

Многослойные панели для энергоэффективных зданий с солнечно-геотермальным энергоснабжением

Алехин Владимир Николаевич

кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой САПРОС, Институт строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: referetsf@yandex.ru



Шароварова Екатерина Петровна

доцент, Институт строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: sharovarovakatya@mail.ru

Основную долю энергии в геосфере составляют солнечная и геотермальная энергия. Ресурсный потенциал геотермальной энергии признается таким же неисчерпаемым, как и солнечной. Имеются оценки, согласно которым потенциал геотермальной энергии в России превышает запасы органического топлива более чем в 10 раз. В связи с этим немалую актуальность приобретают здания с комплексом возобновляемых источников энергии. Высокая эффективность использования возобновляемых источников энергии в зданиях достигается в случае применения ограждающих конструкций с высокими теплоизолирующими характеристиками.

Ключевые слова: энергоэффективные ограждающие конструкции, зеленые здания, возобновляемые источники энергии.

ALEKHIN V. N., SHAROVAROVA E. P., SHCHEKLEIN S. E., ABDULLAH HUSSEIN, NOVOSELOVA N. E.

MULTI-LAYER PANELS ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS WITH SOLAR-GEOTHERMAL POWER SUPPLY

Most of the energy in the geosphere is solar and geothermal energy. The resource potential of geothermal energy is recognized to be as inexhaustible as that of solar energy. There are estimates according to which the potential of geothermal energy in Russia exceeds the reserves of fossil fuel by more than 10 times. In this regard, buildings with a complex of renewable energy sources are acquiring considerable relevance. High efficiency of the use of renewable energy sources in buildings is achieved in the case of the use of enclosing structures with high thermal insulation characteristics.

Keywords: energy efficient building envelopes, green buildings, renewable energies.



Щеклеин Сергей Евгеньевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский энергетический институт, Уральский федеральный университет (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru



Абдуллах Хуссейн

студент, Институт строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: hussein.abdallah.1996@gmail.com



Новоселова Нина Евгеньевна

заместитель директора, Проектный центр УралГАХУ, Уральский государственный архитектурно-художественный университет (УрГАХУ), Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: deal.so21@gmail.com

Введение

В настоящее время в мире особо актуальна проблема экономии энергетических ресурсов. Развитые страны делают упор на сокращение удельного энергопотребления и рост использования возобновляемых источников энергии. Основными факторами, влияющими на развитие в мире возобновляемой энергетики, являются сокращение запасов топливных ресурсов, увеличение стоимости ископаемого топлива, быстрый рост населения земли, рост энергопотребления, повышение температуры биосферы. Одновременно с быстрым ростом численности населения планеты растет энергопотребление, в результате этого происходит резкое увеличение объемов выбросов парниковых газов [1, 2]. Концепция устойчивого развития активно обсуждается, воплощается и популяризуется во всем мире. Она подразумевает под собой обеспечение безопасной окружающей природной среды, сохранение ресурсов для будущих поколений, ограничение негативного воздействия на окружающую среду, а также обеспечение рационального использования всех видов природных ресурсов при осуществлении любой градостроительной деятельности [3]. В мире существует более миллиарда зданий, на строительство и эксплуатацию которых приходится более 40% всех материалов и энергии. Многие развитые страны принимают срочные меры по развитию энергетической политики. Повышение энергоэффективности осуществляется за счет инвестиций в «зеленое» строительство, создания законодательной базы для стимулирования внедрения технологий возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в здания и сооружения. Растущий спрос на электроэнергию способствует заинтересованности в возобновляемой энергии.

Страны Евросоюза выстроили стратегию по энергосбережению «Energy Strategy 2020», направленную на сокращение выбросов парниковых газов более чем на 20%, увеличение доли возобновляемых источников энергии более чем на 20%, а также на экономию энергии не менее чем на 20% к 2020 г. [4, 5]. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2030 года», утвержденная Правительством РФ в 2009 г., направлена на совершенствование нормативно-правовой базы и реализацию механизмов повышения энергетической эффективности, повышение экологической безопасности,

сокращение удельной энергоемкости валового внутреннего продукта более чем в 2 раза по сравнению с 2005 г. [6].

Кроме того, согласно действующей Программе РФ по освоению территорий Дальнего Востока и Стратегии развития Арктической зоны, становятся необходимыми развитие и создание новых технологий и конструкций для строительства зданий и сооружений в труднодоступных регионах с экстремальными природно-климатическими условиями. Как правило, в этих районах резервы ископаемого топлива ограничены или труднодоступны, строительство централизованных сетей энергопередачи зачастую технически невозможно.

Огромным потенциалом ВИЭ обладают территории России с децентрализованным энергоснабжением. Энергетика сельского хозяйства России характеризуется рассредоточенностью сельских потребителей, невысокой потребительской мощностью, протяженностью электрических, тепловых и газовых сетей, малой плотностью населения территорий без централизованного энергоснабжения. Это задает дополнительные требования по надежности к системам энергоснабжения вследствие существенного износа линий передач и низкого качества питания, сбоя и потери мощности в линиях. Большая часть сельских населенных пунктов Российской Федерации расположена в районах с децентрализованным энергоснабжением. Проблема энергообеспечения существенно влияет на условия жизни населения, демографическую ситуацию и развитие сельскохозяйственного производства на этих территориях. Значительная часть населенных пунктов, не имеющая доступа к электросетям, питается от топливных генераторов. Ежегодно до 8 млн тонн топлива и до 30 млн тонн угля импортируется в районы Крайнего Севера, Дальнего Востока и Сибири, при этом для труднодоступных районов стоимость топлива превосходит цену мирового [7]. В некоторых случаях нехватка топлива ставит под угрозу жизни людей. По данным сельскохозяйственной переписи, менее 35% крупных и средних сельскохозяйственных предприятий имеют доступ к централизованной системе газоснабжения, и только 20% из них подключены к централизованным системам отопления [8].

Одним из механизмов повышения энергосбережения является «зеленое» строительство. «Зеленые» здания подразумевают высокий уровень качества строительства при миними-

зации затрат и сохранении комфорта. Отечественный и зарубежный опыт показывает возможности сокращения удельного энергопотребления при использовании дополнительной теплоизоляции ограждающих конструкций, светопрозрачных ограждений, чердачных и технических пространств, а также рациональной эксплуатацией инженерных систем. Эффективные, легкие ограждающие конструкции зданий изготавливаются из материалов, которые после переработки могут быть использованы вторично. При этом ограждающие конструкции должны соответствовать предъявляемым санитарно-гигиеническим и эстетическим требованиям.

Высокая эффективность использования ВИЭ в зданиях достигается при применении ограждающих конструкций с высокими теплоизолирующими характеристиками. Поскольку вклад ВИЭ нередко ограничен по различным причинам, здание должно иметь наименьшие потери энергии. Экономически эффективный к использованию потенциал солнечной энергии в Российской Федерации оценивается в 12,5 млн т. у. т. Имеются оценки, согласно которым потенциал геотермальной энергии в России превышает запасы органического топлива более чем в 10 раз.

Существует множество способов пассивного использования солнечной энергии в зданиях. К примеру, известная солнечная стена французского инженера Ф. Тромбе представляет собой массивную каменную конструкцию, установленную на южной стороне здания за фасадным остекленным ограждением. Запатентованная идея Э. Морса не получила широкого применения до 1960 г., пока Ф. Тромбе не поставил опыты по изучению системы пассивного солнечного отопления [9]. Стена может быть покрыта поглощающей фольгой или окрашена в черный цвет. Это позволяет накапливать солнечную энергию, а затем отдавать помещению тепловую энергию в ночное время. В концепции солнечного дома Дугласа Балкомба применен принцип обогрева жилых помещений с использованием двухсветной солнечной теплицы с южной стороны. Дом построен в 1979 г. в Санта-Фе, США [9]. Нагреваемый в теплице воздух распространяется по остальным помещениям путем естественной конвекции или по каналам с механическим побуждением. Шведскому архитектору Бенгту Варне принадлежит идея создания дома-теплицы, построенного внутри прозрачного футляра, выполненного из стекла или поликарбоната. Снижение ветро-

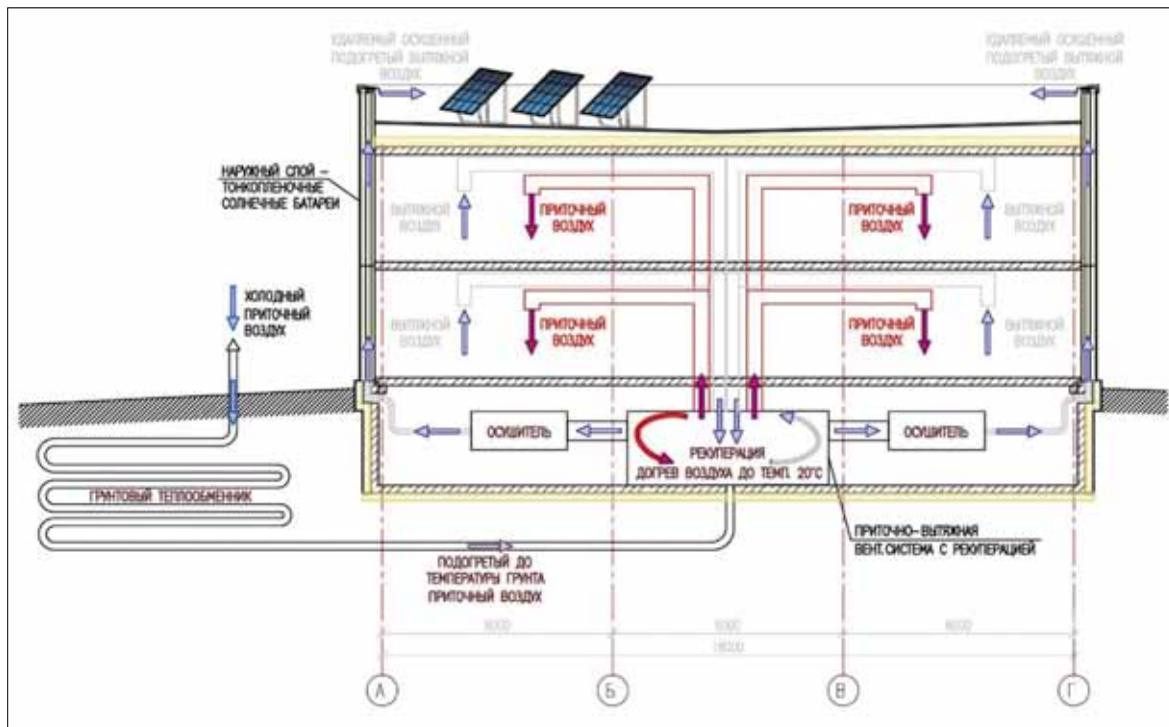


Иллюстрация 1. Схема работы МФП (удаление теплого воздуха из зазора непосредственно наружу). Автор Е. П. Шароварова

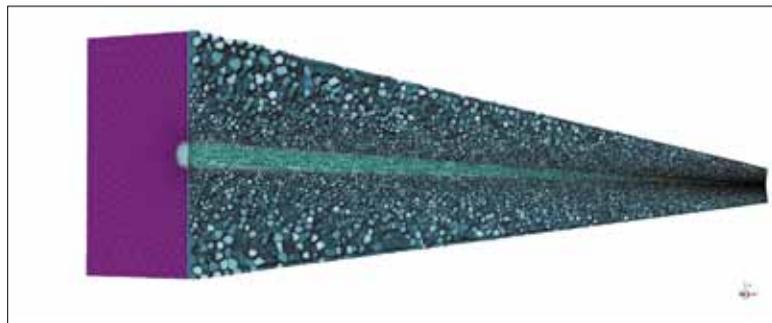


Иллюстрация 2. Сетка расчетной модели грунтового коллектора в программном комплексе ANSYS. Автор Е. П. Шароварова

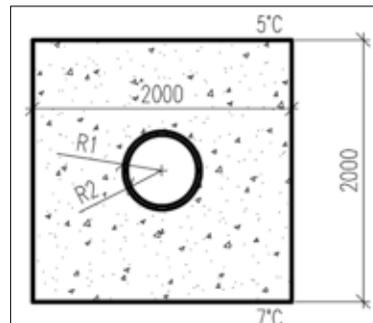


Иллюстрация 4. Фрагмент модели в поперечном разрезе (условно). Автор Е. П. Шароварова

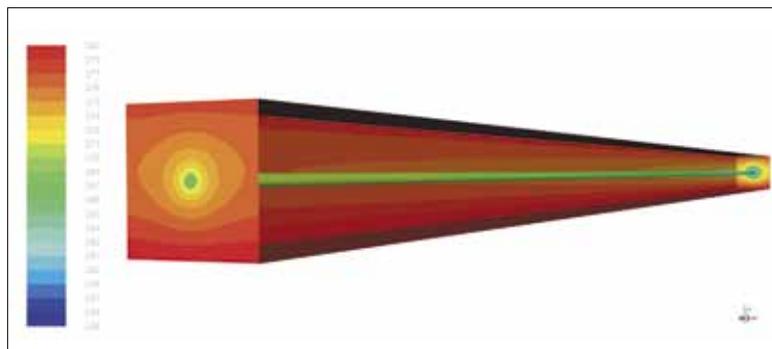


Иллюстрация 3. Расчетная модель грунтового коллектора в программном комплексе ANSYS. Автор Е. П. Шароварова

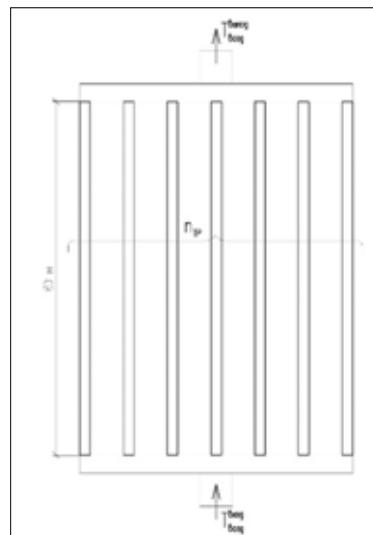


Иллюстрация 5. Фрагмент модели в поперечном разрезе (условно). Автор Е. П. Шароварова

вой нагрузки и воздушный зазор между фасадами позволяет уменьшить температурный напор между помещениями и улицей. Существуют различные активные способы использования солнечной энергии, такие как фасадные и кровельные панели с установленными фотоэлектрическими преобразователями.

Развитие технологий в области возобновляемой энергетики и анализ достоинств и недостатков современных фасадных конструкций зданий различного назначения привели к идее создания *нового типа ограждающей конструкции – многослойной фасадной панели (МФП)*, которая отвечает требованиям, предъявляемым к ограждающим конструкциям, имеет эстетичный вид и высокие тепло-технические и эксплуатационные характеристики. Прототипом для МФП послужил один из трендов европейской архитектуры – климатический фасад, или фасад с «двойной кожей» (double-skin façade) [10].

Конструкция МФП с воздушным вентилируемым зазором состоит из внутреннего и внешнего теплоизоляционных слоев, между которыми расположен каркас из перфорированных швеллеров. Каркас, выполненный из перфорированных профилей для беспрепятственного движения воздуха, образует воздушный зазор по всей плоскости фасада здания. Герметичность конструкции стены, выполненной из данных фасадных панелей, позволяет использовать нагретый воздух в зазоре для снижения расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию. С южной стороны фасада предусмотрена возможность монтажа на внешний алюминиевый лист МФП тонкопленочных фотоэлементов. Данную панель можно применять в регионах с различными климатическими условиями, изменяя толщины внутреннего и внешнего слоев теплоизоляции, размеры перфорированного профиля и перфораций, температуру приточного осушенного воздуха в зазор и др. Панель предполагается заводского исполнения, возможно применение МФП как самостоятельной навесной ограждающей конструкции с креплением к плитам перекрытия или системе фахверка, а также использование при реконструкции зданий как систему утепления и облицовки фасада. Преимущество многослойной фасадной панели состоит в значительном снижении ресурсоемкости и упрощении монтажа фасада, повышении срока службы теплоизоляции, а также снижении энергопотребления здания. Для эффективной работы многослойной фасадной панели может быть использован грунтовой теплообменник. На Иллюстрации 1 показано, что наружный холодный воздух поступает в грунтовой теплообменник, затем поступает в приточно-вытяжную установку, где происходит догрев, и оттуда подается в помещения. Отработанный вытяжной воздух сначала проходит через рекуператор, затем через конденсационный осушитель, после чего поступает в нижнюю часть вентилируемого воздушного зазора фасада. Теплый воздух в зазоре панелей поднимается вверх, где происходит удаление вытяжного воздуха через вентиляционные решетки в уровне парапета здания [11–13].

В летний период приточный воздух, охлажденный за счет использования грунтового теплообменника до температуры грунта, подается в воздушный зазор фасада, вследствие чего уменьшается требуемая мощность системы кондиционирования.

Такие схемы работы образуют собой замкнутый цикл движения воздушных масс, в результате которого весь объем нагретого воздуха для систем принудительной вентиляции направлен на сохранение положительной температуры в вентилируемом зазоре. Подача нагретого осушенного воздуха происходит через распределительный лоток, который расположен под панелью первого этажа.

Для анализа эффективности солнечного и геотермального энергоснабжения здания с многослойными фасадными панелями были проанализированы три варианта исполнения многоквартирного трехэтажного жилого дома в г. Екатеринбурге:

- здание с МФП, грунтовым коллектором, тепловым насосом (вариант 1);
- здание с МФП, грунтовым коллектором, тепловым насосом, интегрированной на южный фасад СЭС (вариант 2);
- здание с традиционным вентилируемым фасадом, системой отопления, приточно-вытяжной системой вентиляции с рекуперацией тепла (вариант 3).

Для предварительного подогрева приточного воздуха можно использовать воздушный грунтовой коллектор. На примере трехэтажного жилого дома в программном комплексе ANSYS рассчитан грунтовой теплообменник. Его предполагается устанавливать на глубине 3 м. Параметры рассчитывались для нагрева приточного воздуха при температуре улицы от минус 18 °С до 0 °С. В программном комплексе ANSYS смоделирован фрагмент полиэтиленовой трубы с массивом грунта. Расчетная модель представлена на Иллюстрациях 2 и 3. В расчете принят влагонасыщенный суглинок с плотностью 1600 кг/м³ и удельной теплоемкостью 1000 Дж/(кг·К). Толщина стенки полиэтиленовой трубы принята равной 9,8 мм для всех вариантов наружных диаметров.

Фрагмент модели в поперечном разрезе изображен условно на Иллюстрации 4. Для окружающего грунта заданы температуры верхнего и нижнего слоя, равные 5 °С и 7 °С соответственно. На входе в трубу коллектора задана скорость воздуха с температурой минус 18 °С. Скорость воздуха зависит от диаметра трубы и количества параллельных труб коллектора. Схема грунтового коллектора представлена на Иллюстрации 5.

Массовый расход воздуха через трубу коллектора определяется по формуле

$$Q_m^{TP} = \frac{Q \cdot \rho_{возд}}{3600 \cdot n_{TP}}, \quad (1)$$

где $\rho_{возд}$ – плотность воздуха, входящего в трубу;
 n_{TP} – количество параллельных труб грунтового коллектора;
 Q – объемный расход.

Удельный теплосъем с погонного метра трубы коллектора определяется по формуле

$$q = \frac{Q_m^{TP} \cdot C_{возд} \cdot (T_{возд}^{выход} - T_{возд}^{вход})}{L}, \quad (2)$$

где $C_{возд}$ – удельная теплоемкость воздуха, входящего в трубу;
 $T_{возд}^{выход}$ – температура воздуха на выходе из грунтового коллектора;
 $T_{возд}^{вход}$ – температура воздуха на входе в грунтовой коллектор;
 L – длина трубы коллектора.

Скорость потока воздуха в трубе коллектора определяется по формуле

$$V^{TP} = \frac{4Q}{3600 \cdot 3,14 \cdot (D - 2t)^2 \cdot n_{TP}}, \quad (3)$$

где D – наружный диаметр трубы коллектора;
 t – толщина стенки трубы.

Были проанализированы три варианта диаметров труб коллектора при различных значениях скоростей тока воздуха. Результаты расчетов по определению требуемых параметров грунтового коллектора представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов по определению требуемых параметров грунтового коллектора

№ опыта	D , мм	n_{TP} , шт.	Q_m^{TP} , кг/с	V^{TP} , м/с	$T_{выход\ вод}$, К	$T_{выход\ возд}$, К	ΔT , К	q , Вт/п.м
1	0,4	3	0,44	2,77	255	262,29	7,29	54
2	0,4	6	0,22	1,39	255	265,86	10,86	40
3	0,4	9	0,15	0,92	255	268,35	13,35	33
4	0,4	12	0,11	0,69	255	270,49	15,49	28
5	0,4	16	0,08	0,52	255	272,65	17,65	24
6	0,4	18	0,07	0,46	255	273,68	18,68	23
7	0,28	10	0,13	1,78	255	269,45	14,45	32
8	0,28	14	0,09	1,27	255	271,75	16,75	26
9	0,28	16	0,08	1,11	255	272,58	17,58	24
10	0,28	20	0,07	0,89	255	273,77	18,77	21
11	0,225	6	0,22	4,76	255	265,91	10,91	40
12	0,225	9	0,15	3,17	255	268,61	13,61	33
13	0,225	10	0,13	2,85	255	268,59	13,59	30
14	0,225	12	0,11	2,38	255	268,88	13,88	25
15	0,225	14	0,09	2,04	255	269,71	14,71	23
16	0,225	18	0,07	1,59	255	271,53	16,53	20
17	0,225	22	0,06	1,30	255	272,64	17,64	18
18	0,225	26	0,05	1,10	255	276,4	21,4	18

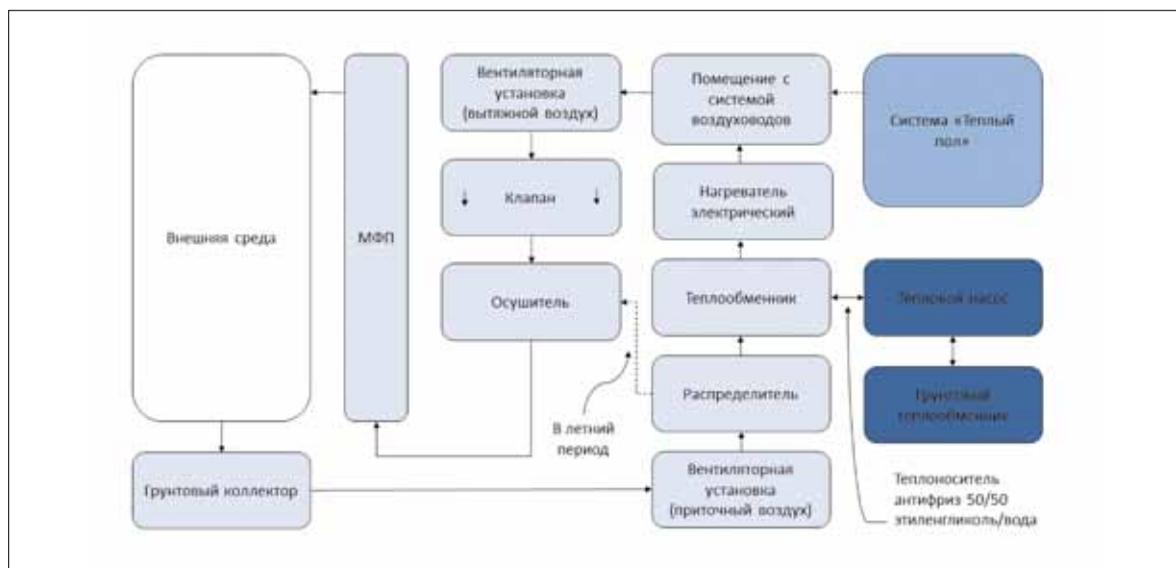


Иллюстрация 6. Схема работы инженерного оборудования. Автор Е. П. Шароварова

Результаты расчетов показали, что при снижении скорости потока в трубе увеличивается разница температур воздуха на входе и выходе и снижается удельный теплосъем. Снижение количества параллельных труб коллектора напрямую приводит к сокращению объема земляных работ по устройству котлована. Минимальное количество параллельных ветвей коллектора достигается при применении труб с наружным диаметром 400 мм.

Для определения расхода электрической энергии здания на отопление и вентиляцию за отопительный период была проанализирована работа

оборудования при разных температурах.

При температурах ниже минус 18 °С для догрева приточного воздуха после грунтового коллектора используется электрический нагреватель.

Результаты теплотехнического расчета МФП показали, что использование теплого пола требуется при температурах наружного воздуха ниже минус 18 °С. Расчетная мощность теплого пола при температуре уличного воздуха минус 32 °С составляет 75 Вт/м². Для обеспечения механической вентиляции здания и вентилируемого зазора фасадных панелей используются две вентиляторные установки высо-

кого давления, подобранные с учетом суммарного аэродинамического сопротивления элементов системы.

С целью снижения энергозатрат на нагрев приточного воздуха используется тепловой насос с тепловой мощностью 27,6 кВт и коэффициентом преобразования 4,6. Для работы насоса необходимо устройство 14 скважин для геотермальных зондов глубиной 60 м.

Вытяжной воздух из помещений перед подачей в вентилируемый зазор фасадных панелей проходит через канальный конденсационный осушитель.

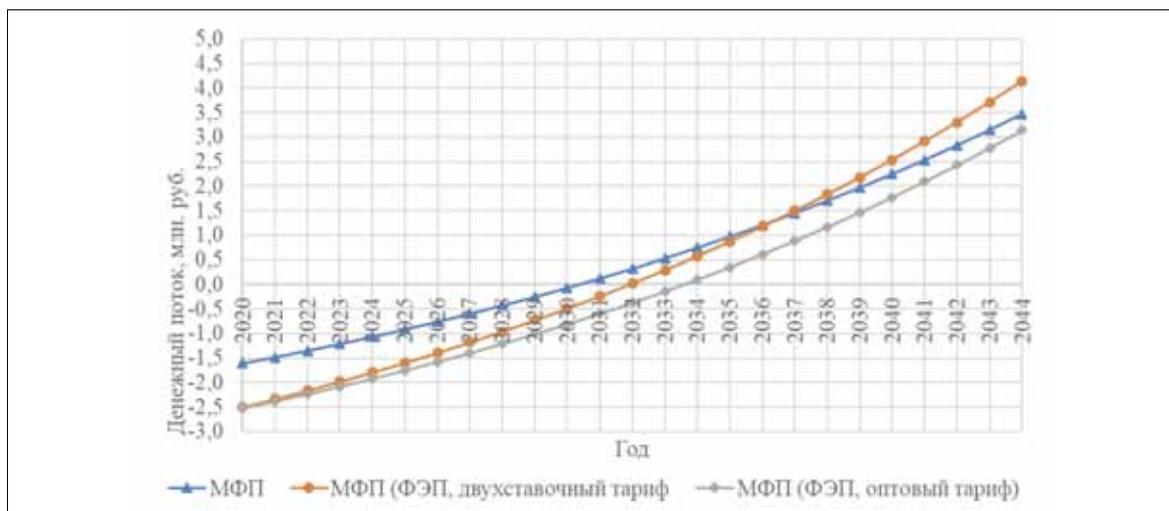


Иллюстрация 7. График сроков окупаемости. Автор Е. П. Шароварова

Схема работы оборудования представлена на Иллюстрации 6.

Для экономической оценки рассматриваемых вариантов использован метод чистого приведенного дохода NPV (Net Present Value) [14–16].

Срок окупаемости рассчитывается для трех вариантов с одинаковым сроком эксплуатации — 25 лет. Выбранный период обусловлен заявленным сроком службы минераловатной теплоизоляции. Экономический эффект определяется с учетом разницы первоначальных капитальных затрат и разницы ежегодных эксплуатационных затрат с учетом дисконтирования. Первоначальные капитальные затраты приняты как разница исходных инвестиций для сравниваемых вариантов.

Чистый приведенный доход рассчитывается по формуле

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i}, \quad (4)$$

где CF_i — чистый денежный поток, $i = 0, 1, \dots, t$; r — ставка дисконтирования, принятая равной 4%, как прогнозируемый ежегодный рост стоимости тарифов на электрическую и тепловую энергию.

Ожидаемый чистый денежный поток за установленный период времени определен как разница ежегодных эксплуатационных затрат на электрическую и тепловую энергию для сравниваемых вариантов. Результаты расчетов сроков окупаемости приведены на Иллюстрации 7.

Заключение

Анализ достоинств и недостатков современных фасадных конструкций зданий и развитие технологий в области возобновляемой энергетики привели к идее создания нового типа ограждающей конструкции — многослойной фасадной панели (МФП), которая отвечает требованиям, предъявляемым к эффективным ограждающим конструкциям. Предложенную конструкцию многослойной фасадной панели с вентилируемым зазором можно применять в новом строительстве и при реконструкции. Использование МФП при возведении зданий особо актуально в районах с децентрализованным энергоснабжением за счет эффективности работы совместно с энергосистемами на основе возобновляемых источников энергии.

Список использованной литературы

- World population growth. — URL: <https://ourworldindata.org/world-population-growth> (дата обращения: 04.02.2020).
- Carbon dioxide and other greenhouse emissions. — URL: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> (дата обращения: 04.02.2020).
- Бенуж А. А., Колчигин М. А. Анализ концепции зеленого строительства как механизма по обеспечению экологической безопасности строительной деятельности // Вестн. МГСУ. — 2012. — №12. — С. 161–165.
- 2020 Energy Strategy. Energy 2020: A strategy for competitive, sustainable and secure energy. — URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1409650806265&uri=CELEX:52010DC0639> (дата обращения: 04.02.2020).
- 2050 Energy Strategy. Energy roadmap 2050. — URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/document/s/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf (дата обращения: 04.02.2020).
- Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года». — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/ (дата обращения: 04.02.2020).
- Лукутин Б. В., Киушкина В. П. Влияние возобновляемой энергетики на энергетическую безопасность децентрализованных систем электроснабжения // Журнал СФУ. Техника и технологии. — 2020. — № 5. — С. 632–642.
- Соловьев А. А. Становление современной возобновляемой энергетики и ее роль в развитии строительной индустрии // Вестн. МГСУ. — 2016. — № 6. — С. 5–6.
- Брызгалин В. В., Соловьев А. К. Использование пассивных систем солнечного отопления как элемента пассивного дома // Вестн. МГСУ. — 2018. — №13. — Вып. 4 (115). — С. 472–481.
- Exploring the advantages and challenges of double-skin facades (DSFs)/Ali Ghaffarianhoseini, Amirhosein Ghaffarianhoseini, Umberto Berardi, John Tookey, Danny Hin Wa Li, Shahab Kariminia // Renewable and Sustainable Energy. — 2016. — № 60. — P. 1052–1065.
- Шароварова Е. П. Многослойная фасадная панель с воздушным зазором для энергоэффективных зданий с комплексом ВИЭ / Е. П. Шароварова, С. Е. Щеклеин, В. Н. Алехин, И. А. Степанов // СОК. — 2020. — № 5. — С. 36–40.

- 12 Sharovarova E.P. Multilayer Façade Panel Structure Analysis / E.P. Sharovarova, V.N. Alekhin, A.Y. Skachkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). – 2020. – № 962 (2).
- 13 Многослойная фасадная панель: пат. 191998 Рос. Федерация: МПК E04F 13/075, E04F 13/077/Алехин В.Н., Шароварова Е.П., Бударин А.М.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина». – № 2018141862; заявл. 28.11.2018; опубл. 29.08.2019, Бюл. № 25.
- 14 Графова Г.Ф. Дисконтированный экономический эффект как основной показатель для оценки инвестиционных проектов // Инновации. – 2006. – № 3 (90). – С. 106–108.
- 15 Хорев А.И., Бербенец В.И. К вопросу о критериях и показателях эффективности инвестиций // Российское предпринимательство. – 2009. – № 4. – С. 70–76.
- 16 Уильям Ф. Шарп. Инвестиции / Шарп Уильям, Александер Гордон, Бэйли Джеффри. – М.: Инфра-М, 1999. – 1028 с.
- 12 Sharovarova E.P. Multilayer Façade Panel Structure Analysis / E.P. Sharovarova, V.N. Alekhin, A.Y. Skachkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). – 2020. – № 962 (2).
- 13 Mnogoslojnaya fasadnaya panel': pat. 191998 Ros. Federaciya: MPK E04F 13/075, E04F 13/077/Alekhin V.N., SHarovarova E.P., Budarin A.M.; zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO «Ural'skij federal'nyj universitet im. pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'cina». – № 2018141862; zayavl. 28.11.2018; opubl.29.08.2019, Byul. № 25.
- 14 Grafova G.F. Diskontirovannyj ekonomicheskij effekt kak osnovnoj pokazatel' dlya ocenki investicionnyh projektov // Innovacii. – 2006. – № 3 (90). – S. 106–108.
- 15 Horev A.I., Berbenec V.I. K voprosu o kriteriyah i pokazatelyah effektivnosti investicij // Rossijskoe predprinimatel'stvo. – 2009. – № 4. – S. 70–76.
- 16 Uil'yam F. Sharp. Investicii / Sharp Uil'yam, Aleksander Gordon, Bejli DzhEFFri. – M.: Infra-M, 1999. – 1028 s.

Статья поступила в редакцию в мае 2021 г.
Опубликована в июне 2021 г.

References

- 1 World population growth. – URL: <https://ourworldindata.org/world-population-growth> (data obrashcheniya: 04.02.2020).
- 2 Carbon dioxide and other greenhouse emissions. – URL: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> (data obrashcheniya: 04.02.2020).
- 3 Benuzh A.A., Kolchigin M.A. Analiz koncepcii zelenogo stroitel'stva kak mekhanizma po obespecheniyu ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'noj deyatel'nosti // Vestn. MGSU. – 2012. – №12. – S. 161–165.
- 4 2020 Energy Strategy. Energy 2020: A strategy for competitive, sustainable and secure energy. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1409650806265&uri=CELEX:52010DC0639> (data obrashcheniya: 04.02.2020).
- 5 2050 Energy Strategy. Energy roadmap 2050. – URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf (data obrashcheniya: 04.02.2020).
- 6 Rasporiyazhenie Pravitel'stva RF ot 13.11.2009 № 1715-r «Ob Energeticheskoy strategii Rossii na period do 2030 goda». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/ (data obrashcheniya: 04.02.2020).
- 7 Lukutin B.V., Kiushkina V.R. Vliyanie vozobnovlyаемой energetiki na energeticheskuyu bezopasnost' decentralizovannyh sistem elektrosnabzheniya // Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologii. – 2020. – № 5. – S. 632–642.
- 8 Solov'ev A.A. Stanovlenie sovremennoj vozobnovlyаемой energetiki i ee rol' v razvitiy stroitel'noj industrii // Vestn. MGSU. – 2016. – № 6. – S. 5–6.
- 9 Bryzgalin V.V., Solov'ev A.K. Ispol'zovanie passivnyh sistem solnechnogo otopeniya kak elementa passivnogo doma // Vestn. MGSU. – 2018. – №13. – Vyp. 4 (115). – S. 472–481.
- 10 Exploring the advantages and challenges of double-skin facades (DSFs)/Ali Ghaffarianhoseini, Amirhoseini Ghaffarianhoseini, Umberto Berardi, John Tookey, Danny Hin Wa Li, Shahab Kariminia // Renewable and Sustainable Energy. – 2016. – № 60. – P. 1052–1065.
- 11 Sharovarova E.P. Mnogoslojnaya fasadnaya panel' s vozdushnym zazorom dlya energoeffektivnyh zdaniy s kompleksom VIE / E.P. Sharovarova, S.E. Shcheklein, V.N. Alekhin, I.A. Stepanov // SOK. – 2020. – № 5. – S. 36–40.

Vladimir Alekhin

Candidate of technical sciences, Professor, Head of Department of CAD systems in Civil Engineering, Institute of construction and architecture, Ural Federal University (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: referetsf@yandex.ru

Ekaterina Sharovarova

Associate Professor, Institute of construction and architecture, Ural Federal University (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: sharovarokatya@mail.ru

Sergei Shcheklein

Doctor of technical sciences, Professor, Head of Department of Nuclear Power plants and Renewable Energy Sources, Ural Power Engineering Institute, Ural Federal University (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

Abdullah Hussein

Student, Institute of construction and architecture, Ural Federal University (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: hussein.abdallah.1996@gmail.com

Nina Novoselova

Deputy Director of Design Center USUAA, Design Center USUAA, Ural State University of Architecture and Art (USUAA), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: deal.so21@gmail.com