

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Научная статья

УДК/UDC 628:726:271.2

DOI: 10.24412/1998-4839-2024-2-89-102

Архитектурно-инженерные принципы проектирования православных храмов**Георгий Васильевич Есаулов¹, Аника Николаевна Чебан²✉**^{1,2}Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия¹science@marhi.ru, ²7210869@gmail.com

Аннотация. Решение задач по созданию экономичных как при строительстве, так и при эксплуатации энергосберегающих зданий православных храмов требует от архитекторов и инженеров новых архитектурно-инженерных проектных решений, которые позволяют при оптимально вложенных ресурсах, включая энергетические, и финансовые затраты создавать здания православных храмов с комфортными параметрами микроклимата.

Ключевые слова: православные храмы, энергоэффективность, оптимизация энергопотребления, водопотребление, естественное освещение

Для цитирования: Есаулов Г.В. Архитектурно-инженерные принципы проектирования православных храмов / Г.В. Есаулов, А.Н. Чебан // Architecture and Modern Information Technologies. 2024. №2(67). С. 89-102.

URL: https://marhi.ru/AMIT/2024/2kvart24/PDF/07_esaulov.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2024-2-89-102

ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Original article

Architectural and engineering principles of designing Orthodox churches**Georgy V. Esaulov¹, Anika N. Cheban²✉**^{1,2}Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia¹science@marhi.ru, ²7210869@gmail.com

Abstract. Solving the tasks of creating energy-efficient Orthodox church buildings both during construction and operation requires architects and engineers to create new architectural and engineering design solutions that allow, with optimally invested resources, including energy and financial costs, to create Orthodox church buildings with comfortable microclimate parameters.

Keywords: orthodox churches, energy efficiency, optimization of energy consumption, water consumption, natural lighting

For citation: Esaulov G.V., Cheban A.N. Architectural and engineering principles of designing Orthodox churches. Architecture and Modern Information Technologies, 2024, no. 2(67), pp. 89-102. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2024/2kvart24/PDF/07_esaulov.pdf

DOI: 10.24412/1998-4839-2024-2-89-102

Введение

Влияние современных цифровых технологий на архитектуру жилых и общественных зданий сегодня огромно. Новые возможности в проектировании, строительстве и эксплуатации, создание новых энергоэффективных и экологичных строительных материалов и конструкций, «3D-печать зданий и элементов зданий, разработка новых инженерных систем» [3] – все это позволяет создавать современные здания и сооружения нового поколения.

В современных общественных зданиях инженерные системы тесно переплетаются с архитектурой, инженерные технологии становятся искусством невидимого, обеспечивая не только решение задач энергоэффективности, но и «подчеркивая стерильную красоту роскоши минимализма или богатство имитаций неоклассики» [3]. Таков диапазон стилевых направлений современной архитектуры и возможности систем инженерного оборудования.

Энергоэффективность является частью стратегии устойчивой архитектуры зданий и сооружений согласно статье 4 Федерального закона от 23.11.2009г. №261-ФЗ (ред. от 16.06.2023 г.) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Повышение энергоэффективности зданий и сооружений основывается на:

- 1) эффективном и рациональном использовании энергетических ресурсов;
- 2) поддержке и стимулировании энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- 3) системности и комплексности проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;
- 4) планированию энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- 5) использованию энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий.

В статье 11 №261-ФЗ даны разъяснения включающие в себя требования к энергоэффективности зданий и сооружений:

- «1) показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении;
- 2) требования к влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям;
- 3) требования к отдельным элементам, конструкциям зданий, строений, сооружений и к их свойствам, к используемым в зданиях, строениях, сооружениях устройствам и технологиям, а также требования к включаемым в проектную документацию и применяемым при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте зданий, строений, сооружений технологиям и материалам, позволяющие исключить нерациональный расход энергетических ресурсов как в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта зданий, строений, сооружений, так и в процессе их эксплуатации»³.

Архитектурно-инженерные решения, применяемые в проектировании, строительстве и эксплуатации современных жилых и общественных зданий, объединяют в себе

³ Федерального закона от 23.11.2009г. (редакция от 16.06.2023г.) №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

многочисленные проектные и научные разработки с учетом социально-экономических, экологических, градостроительных и природно-климатических требований района строительства.

При этом проектирование, строительство и эксплуатация зданий православных храмов «осуществляется параллельно с созданием различных типов общественных зданий» [6]. Поэтому и соответствующие технологии, материалы и инженерное оборудование могут быть применены при проектировании типологических групп православных храмов различной вместимости, строящихся в различных природно-климатических условиях и архитектурно-градостроительных ситуациях. Вместе с тем интерпретация традиционных архитектурных форм здания храма в отличии от других типов зданий остается наиболее устойчивой тенденцией прошедших десятилетий конца XIX – начала XX века.

Современные и исторические здания православных храмов являются крупными потребителями энергоресурсов для инженерных систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, электроснабжения и освещения, а также потребителями водных ресурсов для проведения богослужений и обеспечения хозяйственно-бытовых нужд.

В связи с этим возникает вопрос: каковы современные архитектурно-инженерные решения, обеспечивающие оптимальное энергопотребление, климатизацию, естественное освещение и водопотребление в процессе строительства и эксплуатации зданий православных храмов?

В различных типах зданий, как показывает практика, можно применять разный набор элементов пассивных и активных инженерных систем, рационально встроенных в объемно-планировочные решения архитектурных объектов [6]. Очевидно, что в зданиях храмов наиболее приемлемы те составляющие пассивных и активных инженерных систем, которые не затрагивают традиционную систему форм храма, а встраиваются в предлагаемую архитектором тектоническую структуру и пространственное решение.

На основе и с учетом принципов проектирования энергоэффективных общественных и жилых зданий и сооружений [1, 2] выявлены и сформулированы архитектурно-инженерные принципы проектирования зданий православных храмов:

- принцип оптимизации энергопотребления;
- принцип оптимизации естественного освещения;
- принцип оптимизации наружных ограждающих конструкций;
- принцип оптимизации водопотребления.

Рассмотрим каково влияние предлагаемых принципов на архитектурные решения зданий православных храмов.

Принцип оптимизации энергопотребления включает определение границ применения активных и пассивных инженерных систем отопления, вентиляции, кондиционирования и очистки воздуха, электроснабжения, а также систем искусственного освещения в здании православного храма и на прилегающей территории.

При реализации принципа оптимизации энергопотребления в зданиях православных храмов необходимо учитывать следующие требования и условия:

1. Каноническое расположение здания храма по оси восток-запад (рис. 1). Так как в северном полушарии движение солнца происходит по южной части небосвода с востока на запад, южный и западный фасады православного храма будут получать максимальное количество солнечной энергии, которую можно использовать как дополнительное поступление тепловой энергии от прямого солнечного излучения для уменьшения потребления энергии на отопление в холодный и переходные периоды года, за счет нагрева наружных ограждающих конструкций, а направленный солнечный свет можно

использовать для освещения внутренних помещений храма, что также позволит сократить потребление электроэнергии.

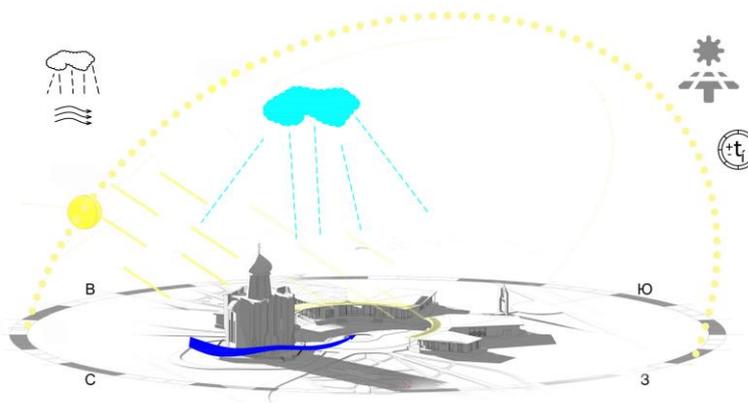


Рис. 1. Принцип оптимизации энергопотребления: базовое требование – каноническое расположение храма по оси восток-запад с учетом природно-климатических особенностей района строительства

Проведенный расчет теплотерьер помещения⁴ (Таблица 1) подтвердил, что при равных условиях теплотерери через фасады, ориентированные на запад и юг значительно меньше, чем на восток и север.

Таблица 1. Расчет теплотерьер помещений здания православного храма для г. Москвы

№	Наименование помещения	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	Наименование наружных ограждающих конструкций	Ориентация	ширина	высота	площадь	$k-1/\theta_{\text{фак}}$	n	$t_{в}$	Δt	$\Delta t \cdot n$	$Q_{\text{очн}}$ Вт	На ориентация	Пр.	$1+\beta$	$Q_{\text{пр}}$ Вт	Поправочный коэффициент k	$Q_{\text{лиф}}$ Вт	$Q_{\text{общ}}$ Вт
N01	18	НС	В	3,0	2,5	7,5	0,316	1	-26	44	44	104	0,01		1,1	115				
	18	ОК	В	2,5	2	5,0	1,25	1	-26	44	44	275	0,1		1,1	303	1,2	363		
																	417		363	780
N02	18	НС	З	3,0	2,5	7,5	0,316	1	-26	44	44	104	0,05		1,05	109				
	18	ОК	З	2,5	2	5	1,25	1	-26	44	44	275	0,05		1,05	289	1,2	347		
																	398		347	745
N03	18	НС	Ю	3,0	2,5	7,5	0,316	1	-26	44	44	104	0		1	104				
	18	ОК	Ю	2,5	2	5	1,25	1	-26	44	44	275	0		1	275	1,2	330		
																	379		330	709
N04	18	НС	С	3,0	2,5	7,5	0,316	1	-26	44	44	104	0,1		1,1	115				
	18	ОК	С	2,5	2	5	1,25	1	-26	44	44	275	0,1		1,1	303	1,2	363		
																	417		363	780
N05	18	НС	В	3,0	2,5	7,5	0,316	1	-26	44	44	104	0,1		1,1	115				
	18	ОК	В	2,5	2	5	1,25	1	-26	44	44	275	0,1		1,1	303	1,2	363		
																	417		363	780

Условные обозначения:

НС – наружная ограждающая конструкция;

ОК – светопрозрачная ограждающая конструкция.

2. Природно-климатические параметры района строительства, оказывают непосредственное влияние на эстетические, функциональные и технико-экономические показатели зданий православных храмов. Это проявляется в:

- выборе места строительства, традиционно сложившихся правилах в храмостроении, исключает строительство зданий православных храмов в низинах, заболоченных и подтопляемых территориях;

- выборе строительного материала и его применении с учетом размещения производств строительных материалов. Отлаженная логистика доставки строительных материалов на объект строительства позволяет сократить транспортные расходы. Выбор материала

⁴ Расчет для определения теплотерьер помещения и тепловой нагрузки на систему отопления, автор А.Н. Чебан, МАРХИ, 2022.

зависит от ряда факторов и включает диапазоны от естественных природных до современных облицовочных материалов для многослойных конструкций стен.

Примеры

При строительстве Свято-Георгиевского собора при Гусевской фабрике Владимирской губернии (современная территории Владимирской области) применялся красный обожженный кирпич толщиной 1,0 м с облицовкой нижнего яруса храма известняком. Применение известняка позволило визуально «приподнять» здание храма от земли, придав ему воздушность и легкость (рис. 2). Не только архитектурные решения, объединившие базилику и неорусский стиль в единый объем храма, но и выбранные строительные материалы позволили создать уникальный и неповторимый образ православного храма.



Рис. 2. Свято-Георгиевский собор при Гусевской фабрике, Владимирская губерния, владелец фабрики и меценат Ю.С. Нечаев-Мальцев, архитектор Л.Н. Бенуа, руководил строительством архитектор Г.Я. Леви, роспись храма выполнил художник В.М. Васнецов, 1882 год

В архитектуре кафедрального собора во имя Пресвятой Троицы на набережной Бранли в Париже прослеживается влияние владими́ро-суздальской архитектуры (рис. 3). Современные строительные материалы позволили придать архитектурному образу храма новые черты. При отделке фасада использовали 73 профиля песчаного камня. Это позволило добиться уникального эффекта преломления лучей на стенах, что в свою очередь привело к изменению цветовой палитры здания в разное время суток. Для изготовления купола использовали композитные материалы, применяемые в авиа- и судостроении, луковицы были изготовлены из стекловолокна и покрыты сусальным золотом. Применение новых современных технологий позволило снизить вес главного купола до 8 тонн, вместо 45 тонн по классической технологии.

Применение возобновляемых источников энергии позволяет сократить общее годовое потребление традиционных энергоресурсов и коммунальные расходы, не изменяя в процессе проектирования замысел архитектурного решения здания храма.



Рис. 3. Кафедральный собор во имя Пресвятой Троицы на набережной Бранли в Париже архитектор Ж.-М. Вильмонтт, 2016 год

Опираясь на современный опыт использования фотоэлектрических панелей, ветрогенераторов и геотермальных насосов в общественных, жилых зданиях и сооружениях, включая христианские храмы, разработана «Методика применения возобновляемых источников энергии для обеспечения нужд храма»⁵ А.Н. Чебан, научный руководитель Г.В. Есаулов. Названная методика учитывает природно-климатические параметры района строительства: солнечную активность, направление и скорость ветра, а также инженерно-геологические изыскания, определяющие рельеф, свойства грунтов, наличие подземных вод и т.д. Для определения возможного количества вырабатываемой электроэнергии фотоэлектрических панелей А.Н. Чебан был предложен коэффициент m_a который учитывает суммарную солнечную радиацию на горизонтальных и вертикальных поверхностях при безоблачном небе для заданной широты участка строительства храма при максимальном значении солнечной радиации района строительства. Учет такой возможности позволяет выполнить расчет для определения количества установленных фотоэлектрических панелей при заданной площади поверхности и модели панелей (Таблица 2).

Таблица 2. Расчет фотоэлектрических панелей

Поверхность для монтажа фотоэлектрических панелей	Широта	Месяц	Ориентация по сторона света	m_a	$P_{рас}$, Вт	$W_{ф,пт}$, кВт	$W_{общ}$, кВт	$n_{пт}$, шт.	Размеры фотоэл. панели, ДхШ, м	Площадь фотоэл. панели, $S_{ф,пт}$, м ²	Площадь поверхности, $S_{по}$, м ²	Кол-во фотоэл. панелей покрывающие необходимую площадь, шт.	Мощность фотоэл. панелей, кВт	
горизонтальная	56	январь	Ю	0,0784	360	0,028224	3,085	109	1,956	0,992	1,940	200	103	2,909
горизонтальная	56	февраль	Ю	0,1505	160	0,02408	3,085	128	1,956	0,992	1,940	200	103	2,482
горизонтальная	56	март	Ю	0,3115	160	0,04984	3,085	62	1,956	0,992	1,940	200	103	5,137
горизонтальная	56	апрель	Ю	0,4536	160	0,072576	3,085	43	1,956	0,992	1,940	200	103	7,481
горизонтальная	56	май	Ю	0,4275	160	0,0684	3,085	45	1,956	0,992	1,940	200	103	7,050
горизонтальная	56	июнь	Ю	0,4515	160	0,07224	3,085	43	1,956	0,992	1,940	200	103	7,446
горизонтальная	56	июль	Ю	0,4385	160	0,07016	3,085	44	1,956	0,992	1,940	200	103	7,232
горизонтальная	56	август	Ю	0,3535	160	0,05656	3,085	55	1,956	0,992	1,940	200	103	5,830
горизонтальная	56	сентябрь	Ю	0,2445	160	0,03912	3,085	79	1,956	0,992	1,940	200	103	4,032
горизонтальная	56	октябрь	Ю	0,1475	160	0,0236	3,085	131	1,956	0,992	1,940	200	103	2,433
горизонтальная	56	ноябрь	Ю	0,0966	160	0,015456	3,085	200	1,956	0,992	1,940	200	103	1,593
горизонтальная	56	декабрь	Ю	0,0553	160	0,008848	3,085	349	1,956	0,992	1,940	200	103	0,912

Принятая площадь кровли 200м² и фотоэлектрические панели ФСМ-360М.

Возможность применения геотермальных насосов зависит от свойств грунтов, поэтому важно при проектировании здания православного храма изучить инженерно-геологические условия участка строительства.

⁵ Методика применения возобновляемых источников энергии для обеспечения нужд храма. Автор А.Н. Чебан, научный руководитель Г.В. Есаулов, МАРХИ, 2023-2024 гг.

Существующие примеры дают определенный опыт применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в храмостроительстве.

С 2004 года для отопления и охлаждения производственных помещений скита-подворья в селе Николо-Комаровка, Камызякского района Астраханской области используются гелио-геотермальные системы на основе тепловых насосов⁶. С этой целью была спроектирована система климат-контроля использования энергии от теплового насоса мощностью 15кВт гелиосистемы из трёх солнечных коллекторов. Уникальность системы заключается в управлении циркуляцией теплоносителя, а именно в её способности одновременно работать на обогрев и охлаждение.

В Покровском женском подворье Спасо-Преображенского Соловецкого ставропигиального мужского монастыря в городе Радове, Архангельской области установлены фотоэлектрические панели и ветрогенераторы. Ветрогенератор работает при скорости ветра минимум 2 м/с, а фотоэлектрические панели улавливают солнечный свет и при пасмурной погоде. Использование ВИЭ позволило сократить коммунальные расходы в два раза⁷.

Как показывают примеры, применение возобновляемых источников энергии дали возможность компенсировать потребление части традиционной энергии.

Выбор внутренних инженерных систем и инженерного оборудования с минимальным потреблением энергии при максимальной энергоэффективности для работы и обеспечения комфортных параметров микроклимата в храме, зависит от максимального количества прихожан, находящихся внутри храма, способа эксплуатации (летний или зимний храм), а также от внутреннего объема здания.

Принцип оптимизации естественного освещения предполагает осуществление возможности обеспечения максимального использования естественного освещения в здании православного храма.

Реализация принципа достигается в процессе учета следующих факторов:

- расположение, размер и тип светопрозрачных конструкций с учетом траектории движения солнца с востока на запад в различное время года и в течение дня;
- количество направленного света в здании православного храма, то есть точечного света, проходящего через светопрозрачные конструкции;
- количество рассеянного света, то есть отраженного света от внутренних поверхностей;
- плотность застройки вокруг участка расположения здания православного храма, с учетом ее этажности и влияния на затенение здания православного храма в целом или его прилегающей территории, что может оказывать определенное воздействие.

Реализация принципа оптимизации естественного освещения предполагает необходимость оптимального выбора:

- геометрических размеров и расположения светопрозрачных конструкций на горизонтальных и вертикальных ограждающих конструкциях здания православного храма.
- размеров и расположения светопрозрачных конструкций в зависимости от климатических параметров района строительства, а также от сложившейся застройки и ее этажности вблизи здания православного храма;
- увеличения размеров светопрозрачных конструкций (возможно, если количество естественного освещения достигается без уменьшения энергоэффективности и увеличения расхода тепла на отопление здания православного храма);

⁶ Тепловые насосы NIBE. URL: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/nibe/17276/60101.pdf> (дата обращения: 27.02.2024).

⁷ [На Покровском женском подворье Соловецкого монастыря под г. Архангельском установлены солнечные батареи и ветрогенератор / Монастырский вестник \(monasterium.ru\)](#) (дата обращения: 27.02.2024).

- угла установки светопрозрачных конструкций (под углом $15-20^{\circ}$ относительно вертикальной плоскости позволяет увеличить коэффициент и длительность естественного освещения [10]);

- новейших технологий регулирования естественного освещения, в том числе применение смарт-стекла с переменной прозрачностью (это позволяет контролировать и регулировать количество естественного освещения в зависимости от необходимости).

С середины XIX века в зданиях православных храмов увеличивается площадь светопрозрачных конструкций (рис. 4), через которые внутренний объем храма наполняется светом.



Рис. 4. Интерьер Свято-Георгиевский собор при Гусевской фабрике, Владимирская губерния

Современные строительные материалы и знание природно-климатических параметров района строительства позволили зодчим в XXI веке создавать архитектуру зданий православных храмов, учитывая солнечную активность в течение дня и года (рис. 5).



Рис. 5. Проектное предложение интерьера Храмового комплекса в районе Покровское-Стрешнево. Автор магистрант Н.А. Хобот, научный руководитель Ю.Г. Клименко, кафедра «Храмовое зодчество», МАРХИ, 2017-2019 гг.

Применение светопрозрачных конструкций позволяет не только увеличить уровень естественной освещенности внутри храма, но и организовать внутреннее пространство, задающее направление движения молящихся внутри храма.

Принцип оптимизации конструктивных решений наружных ограждающих конструкций заключается в выборе оптимальных ограждающих конструкций на основе сравнения их вариантов по теплотехническому расчету и определению толщины

ограждающих конструкций с учетом необходимых санитарно-гигиенических условий микроклимата и наименьшем расходе энергии при эксплуатации зданий православных храмов.

Реализация принципа осуществляется за счёт:

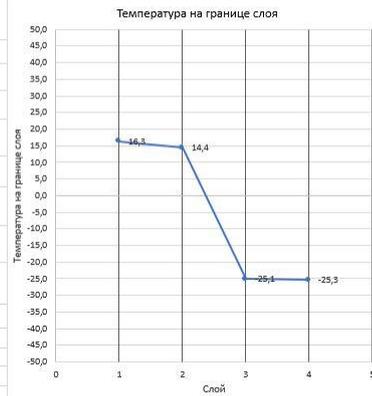
- применения многослойных ограждающих конструкций с эффективным утеплителем;
- минимального количества горизонтальных и вертикальных соединительных швов в наружных ограждениях и покрытиях;
- устройства защиты конструкций от переувлажнения (включает: организованный сбор дождевой и талой воды с кровли и территории православного храма; покрытие ограждающих конструкций гидроизоляцией);
- дополнительной герметизации и утепления светопрозрачных конструкций в соединениях с наружными ограждающими конструкциями (уплотняющие и герметизирующие ленты защищающая стык от атмосферных воздействий и обеспечивает испарение влаги из стыка наружу; пароизоляционные ленты изолирующая стык от проникновения в него влаги из воздуха изнутри помещений здания; влагозащитная лента мембранного типа, изолирующая стык под оконным сливом от проникновения наружной влаги и обеспечивающая дополнительное вентилирование стыка; полиуретановый герметик (монтажная пена), обеспечивающая дополнительную теплоизоляцию стыков).

Сравнение проведенных теплотехнических расчетов⁸ наружных ограждающих конструкций исторического и современного зданий православных храмов (Таблица 3, Таблица 4) показало, что:

- расчетное сопротивление теплопередачи современной многослойной конструкции в отличие от исторической наружной конструкции соответствует не только нормативным требованиям района строительства (г. Москва), но и климатическим параметрам наружного воздуха в холодный период года;
- теплотери здания православного храма, построенного из современных строительных материалов, будут значительно меньше, чем у исторического здания и как следствие современное здание энергоэффективнее, чем историческое.

Таблица 3. Теплотехнический расчет наружной ограждающей конструкции современного здания православного храма

Теплотехнический расчет стены здания православного храма			
Исходные данные и результаты	Обозначения	Значения	Ед. изм.
1. Данные из нормативных документов (СП и ГОСТ):			
1	Расчетная температура воздуха в здании	$t_{вн} = 18,0$	$^{\circ}\text{C}$
2	Расчетная температура наружного воздуха	$t_{нр} = -26,0$	$^{\circ}\text{C}$
3	Средняя температура наружного воздуха отопительного периода	$t_{ср} = -2,2$	$^{\circ}\text{C}$
4	Продолжительность отопительного периода	$Z = 204$	сутки
5	Нормируемый перепад между температурами внутр. воздуха и внутр. поверхности стены	$\Delta t_{н} = 4,0$	$^{\circ}\text{C}$
6	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены	$\alpha_{вн} = 8,7$	$\text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$
7	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены	$\alpha_{нр} = 23,0$	$\text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$
2. Характеристики слоев наружных ограждающих конструкций:			
8	Толщина 1-ого со стороны помещения слоя	$\delta_1 = 0,250$	м
9	Теплопроводность 1-ого слоя	$\lambda_1 = 2,040$	$\text{Вт}/(\text{мC})$
10	Толщина 2-ого слоя	$\delta_2 = 0,100$	м
11	Теплопроводность 2-ого слоя	$\lambda_2 = 0,038$	$\text{Вт}/(\text{мC})$
12	Толщина 3-его слоя	$\delta_3 = 0,015$	м
13	Теплопроводность 3-его слоя	$\lambda_3 = 0,930$	$\text{Вт}/(\text{мC})$
3. Результаты расчёта:			
16	Градусо-сутки отопительного периода	$\text{ГСОП} = 4121$	$^{\circ}\text{C}/\text{сутки}$
17	Нормативное сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения	$R_{нр} = 2,842$	$(\text{м}^2\text{C})/\text{Вт}$
18	Нормативное сопротивление теплопередаче по санитарно-гигиеническим условиям	$R_{сг} = 1,264$	$(\text{м}^2\text{C})/\text{Вт}$
19	Расчетное сопротивление теплопередаче	$R_{ср} = 2,929$	$(\text{м}^2\text{C})/\text{Вт}$
20	Температура на внутренней поверхности стены	$t_1 = 16,3$	$^{\circ}\text{C}$
21	Температура на границе 1-ого и 2-ого слоев	$t_2 = 14,4$	$^{\circ}\text{C}$
22	Температура на границе 2-ого и 3-его слоев	$t_3 = -25,1$	$^{\circ}\text{C}$
23	Температура на границе 3-его и 4-его слоев	$t_4 = -25,3$	$^{\circ}\text{C}$

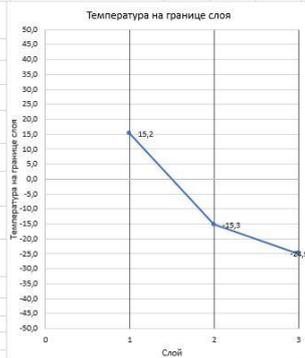


- 1 слой - железобетон толщиной 250мм
- 2 слой утеплитель пенополистерол толщиной 100мм
- 3 слой сложенный раствор (песок, известь, цемент) толщиной 15мм

⁸ Расчетный комплекс «Теплотехнический расчет», автор А.Н. Чебан, МАРХИ, 2022.

Таблица 4. Теплотехнический расчет наружной ограждающей конструкции исторического здания православного храма

Теплотехнический расчет стены здания православного храма			
Исходные данные и результаты	Обозначения	Значения	Ед. изм.
1. Данные из нормативных документов (СП и ГОСТ):			
1	Расчетная температура воздуха в здании	$t_{вн}$ = 18,0	°C
2	Расчетная температура наружного воздуха	$t_{нр}$ = -26,0	°C
3	Средняя температура наружного воздуха отопительного периода	$t_{ср}$ = -2,2	°C
4	Продолжительность отопительного периода	Z = 204	сутки
5	Нормируемый перепад между температурами внутр. воздуха и внутр. поверхности стены	$\Delta t_{н}$ = 4,0	°C
6	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены	$\alpha_{вн}$ = 8,7	Вт/(м ² ·°C)
7	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены	$\alpha_{нр}$ = 23,0	Вт/(м ² ·°C)
2. Характеристики слоев наружных ограждающих конструкций:			
8	Толщина 1-ого со стороны помещения слоя	δ_1 = 1,000	м
9	Теплопроводность 1-ого слоя	λ_1 = 0,810	Вт/(м·°C)
10	Толщина 2-ого слоя	δ_2 = 0,500	м
11	Теплопроводность 2-ого слоя	λ_2 = 1,280	Вт/(м·°C)
3. Результаты расчёта:			
16	Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП = 4121	°C·сутки
17	Нормативное сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения	$R_{об}^{нр}$ = 2,842	(м ² ·°C)/Вт
18	Нормативное сопротивление теплопередаче по санитарно-гигиеническим условиям	$R_{ог}^{нр}$ = 1,264	(м ² ·°C)/Вт
19	Расчетное сопротивление теплопередаче	$R_{ср}$ = 1,784	(м ² ·°C)/Вт
20	Температура на внутренней поверхности стены	t_1 = 15,2	°C
21	Температура на границе 1-ого и 2-ого слоев	t_2 = -15,3	°C
22	Температура на границе 2-ого и 3-его слоев	t_3 = -24,9	°C



1 слой Глиняный обыкновенный кирпич на цементно-песчанном растворе толщиной 1000мм
2 слой известняк толщиной 500мм

Принцип оптимизации водопотребления определяет возможность и необходимость повторного использования воды на хозяйственно-технические нужды: полив газона и других зеленых насаждений, мытье тротуаров и др. (рис.6).



Рис. 6. Принцип оптимизации водопотребления

Реализация принципа осуществляется с учетом влияния следующих факторов:
 - использование сантехнического оборудования с функцией водосбережения обеспечивает сокращение 50-60% водопотребления [11];
 - сбор и очистка сточных вод, а также дождевой и талой воды с последующим использованием на хозяйственно-технические нужды позволит сэкономить водопотребление от 30% до 50% [11] в зависимости от района строительства. Сегодня на территории Российской Федерации водосбережение осуществляется за счет применения сенсорного сантехнического оборудования (смесители, клавиша для унитаза и писсуара), а также водосчетчиков контролирующих потребление воды. Повторное использование сточных и атмосферных вод применяется только в частных хозяйствах и не имеет широкого применения.

Учет фактора транспортной и пешеходной доступности для маломобильных групп населения⁹ включает в себя обеспечение транспортной и пешеходной доступности для

⁹ «К маломобильным группам населения относятся: инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди преклонного возраста, люди с детскими колясками и другие люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуг, необходимой информации или при ориентации в пространстве» [12].

прихожан, а также организацию безбарьерных и безопасных объемно-пространственных решений здания храма.

Реализация принципа осуществляется за счет следующих факторов:

- Учет факторов транспортной и шаговой доступности зданий православных храмов, что определяется местом строительства, при выборе которого необходимо руководствоваться наличием (рис. 7):

- остановок общественного транспорта в шаговой доступности;
- безопасного пути от остановки общественного транспорта до входа в храм;
- размещения парковочных мест, в первую очередь для маломобильных граждан;
- размещения дорожек и парковочных мест для альтернативного транспорта: велосипеды, самокаты и т.д.

Доступность маломобильных групп населения обеспечивается целым спектром приемов как на территории храма, при входе в него и внутри здания храма [12].

Учет факторов транспортной и шаговой доступности относится не только к архитектурно-инженерным принципам проектирования энергоэффективных и комфортных зданий православных храмов, но и в первую очередь к организации городского пространства делая его доступным и комфортным для все групп граждан.

- Выбор объемно-планировочных решений в зданиях православных храмов должен отвечать требованиям проведения богослужения, и доступности для маломобильных граждан [12].



Рис. 7. Факторы транспортной и шаговой доступности зданий православных храмов

Заключение

Энергоэффективные здания православных храмов характеризуются совокупностью архитектурно-инженерных решений, отвечающих целям минимального расходования энергии на обеспечение комфортных условий, требуемых санитарно-гигиенических и эпидемиологических нормативов пребывания прихожан. Достижение этих параметров обеспечивается применением приведенных принципов.

Предложенные авторами принципы могут быть использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации не только зданий православных храмов, но и общественных и жилых зданий и сооружений с минимальным энергопотреблением и максимальным уровнем комфорта.

Таким образом, проектирование современных энергоэффективных зданий православных храмов возможно при использовании двух подходов. Первый подход заключается в применении объемно-пространственных и архитектурно-планировочных приемов, которые оказывают влияние на энергопотребление и водопотребление, а также максимальное использование естественных способов работы инженерных (пассивных) систем. Второй подход предполагает включение в архитектуру активных инженерно-технических систем. Эти подходы могут быть рассмотрены как последовательные этапы методики использования архитектурно-инженерных приемов проектирования [6] современных зданий православных храмов.

Источники иллюстраций

Рис. 1. Из архива кафедры «Храмовое зодчество», МАРХИ. Проект православного храма в контексте исторической архитектуры Казани и современной архитектуры Иннополиса. Автор Дербенева Е.П., научный руководитель Есаулов Г.В., кафедра «Храмовое зодчество», МАРХИ, 2017-2019гг.

Рис. 2, 4. Государственный Владимиро-Суздальский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник ©, 2021. URL:

https://vladmuseum.ru/ru/virtual/georg_sobor (дата обращения: 25.02.2024).

Рис. 3. © 2004-2020. Корсунская епархия. Приходы, монастыри и общины Русской Православной Церкви во Франции и Швейцарии. URL: <https://cerkov.ru.com/item/kafedralnyj-sobor-v-chest-presvyatoj-troitsy-v-parizhe> (дата обращения: 25.02.2024).

Рис. 5. Из архива кафедры «Храмовое зодчество», МАРХИ. Храмовый комплекс в районе Покровское-Стрешнево в контексте московского храмового зодчества. Автор магистрант Хобот Н.А., научный руководитель Ю.Г. Клименко, 2017-2019 гг.

Рис. 6, 7. В авторской обработке. URL: <https://ru.freepik.com/> (дата обращения: 25.04.2024).

Таблица 1, 2, 3, 4. Автор Чебан А.Н.

Список источников

1. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективные здания. 2-е изд., стереотипное / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. Москва: АВОК-ПРЕСС, 2015.
2. Бродач М.М. Глобальные цели устойчивого развития и экологические требования к объектам недвижимости / М.М. Бродач, Н.В. Шилкин // Энергосбережение. 2022. № 6.
3. Есаулов Г.В. Влияние современных технологий на архитектурный образ зданий // Энергосбережение. 2022. №6. С 4-7. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles/39/7914/7914.pdf (дата обращения: 25.05.2024).
4. Есаулов Г.В. Энергоэффективность и устойчивая архитектура как векторы развития // АВОК. 2015. №5. С. 4-11. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6165 (дата обращения: 25.05.2024).
5. Есаулов Г.В. Экологически ориентированная архитектура высоких технологий // АВОК. 2022. №7. С. 4-9. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8220 (дата обращения: 25.05.2024).
6. Есаулов Г.В. Формирование архитектуры устойчивого развития, синтез архитектурных и инженерных приемов // Энергосбережение. 2024. №4. С.4-8. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8731 (дата обращения: 01.05.2024).
7. Есаулов Г.В. Православный храм: архитектура и инженерия // АВОК. 2017. №2. С. 4-10. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6602 (дата обращения: 25.05.2024).
8. Чебан А.Н. Системы интеллектуального управления зданиями православных храмов // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. №4(49). С. 281-292. URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/4kvart19/PDF/18_cheban.pdf DOI: 10.24411/1998-4839-2019-00019 (дата обращения: 25.52.2024).
9. Чебан А.Н. Энергоэффективные проектные решения для зданий православных храмов // в сборнике: Зелёные технологии и жизненный цикл зданий и сооружений, сборник докладов научно-технического семинара. Москва, 2022. С. 103-113.
10. Блинов В.А. Совершенствование естественного освещения в жилых и офисных зданиях / В.А. Блинов, Л.Н. Смирнов, В.В. Блинов // Академический вестник

УралНИИпроект РААСН. 2021. №2. С. 30-33. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-estestvennogo-osvescheniya-v-zhilyh-i-ofisnyh-zdaniyah> (дата обращения: 27.05.2024).

11. Соколов Л.И. Водосберегающие технологии современного санитарно-технического оборудования зданий / Л.И. Соколов, К.Л. Соколов // Сантехника. 2020. №5. С. 48-53.
12. Чистый С.В., Зальцман Т.В. Как сделать храм доступным для всех: технические нормы и архитектурные решения / С.В. Чистый, Т.В. Зальцман. Москва: Лепта Книга, 2015. С.112. ISBN 978-91173-452-7

References

1. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. *Jenergojeffektivnye zdanija. 2-e izd., stereotipnoe* [Energy-efficient buildings. 2nd ed., stereotypical]. Moscow, 2015.
2. Brodach M.M., Shilkin N.V. Global Sustainable Development Goals and environmental requirements for real estate. *Energy Conservation*, 2022, no. 6.
3. Esaulov G.V. The influence of modern technologies on the architectural image of buildings. *Energy Conservation*, 2022, no 6, pp. 4-7. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles/39/7914/7914.pdf
4. Esaulov G.V. Energy efficiency and sustainable architecture as vectors of development. *ABOK*, 2015, no. 5, pp. 4-11. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6165
5. Esaulov G.V. Environmentally oriented high-tech architecture. *ABOK*, 2022, no. 7, pp. 4-9. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8220
6. Esaulov G.V. Creating sustainable development architecture. Synthesis of architectural and engineering methods. *Energy Conservation*, 2024, no. 4, pp. 4-8. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7914
7. Esaulov G.V. Orthodox Temple: Architecture and Engineering. *ABOK*, 2017, no. 2, pp. 4-10. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6602
8. Cheban A. System Intelligent Building Management Orthodox Churches. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2019, no. 4(49), pp. 281-292. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2019/4kvart19/PDF/18_cheban.pdf DOI: 10.24411/1998-4839-2019-00019
9. Cheban A.N. Energy-efficient design solutions for buildings of Orthodox churches. Green technologies and the life cycle of buildings and structures, collection of reports of the scientific and technical seminar. Moscow, 2022, pp. 103-113.
10. Blinov V.A. Improvement of natural lighting in residential and office buildings / V.A. Blinov, L.N. Smirnov, V.V. Blinov. *Academic bulletin of UralNIIProekt RAASN*, 2021, no. 2, pp. 30-33. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-estestvennogo-osvescheniya-v-zhilyh-i-ofisnyh-zdaniyah>
11. Sokolov L.I. Water-saving technologies of modern sanitary and technical equipment of buildings / L.I. Sokolov, K.L. Sokolov. *Santehnika magazine*, 2020, no. 5, pp. 48-53.
12. Chisty S.V., Saltzman T.V. How to make a temple accessible to everyone: technical standards and architectural solutions. Moscow, 2015, p.112. ISBN 978-91173-452-7

ОБ АВТОРАХ**Есаулов Георгий Васильевич**

Доктор архитектуры, профессор, главный советник при ректоре МАРХИ по научной работе, академик РААСН, Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

science@markhi.ru

Чебан Аника Николаевна

Старший преподаватель кафедры «Инженерное оборудование зданий», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

7210869@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS**Esaulov Georgy V.**

Doctor of Architecture, Professor, Chief Advisor to the Rector of the MARHI for scientific Work, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia

science@markhi.ru

Cheban Anika N.

Senior Lecturer, Department of «Engineering Equipment of Buildings», Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia

7210869@gmail.com

Статья поступила в редакцию 22.03.2024; одобрена после рецензирования 24.05.2024; принята к публикации 27.05.2024.