

Худяков А. Ю., Воронина А. А.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ В АРХИТЕКТУРЕ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Обостряющаяся экологическая ситуация, которая затрагивает все сферы жизнедеятельности человека, является глобальной проблемой. Процесс ухудшения состояния окружающей среды идёт поэтапно: начиная с экологического решения отдельного здания, заканчивая формированием крупных единиц – микрорайонов, городов и т.д.

Исчерпаемость природных ресурсов способствует распространению практико-ориентированного подхода, что диктует потребность в применении экологической архитектуры.

Одним из ключевых направлений адаптации к воздействию климата является применение альтернативных источников энергии и внедрение энергоэффективных систем в архитектурный облик здания. Такие решения определяют развитие современной архитектуры в рамках взаимодействия искусственной среды и природы.

Архитектурное проектирование и инженерия стали тесно связанными, поскольку на сегодняшний день при создании проектов необходимо учесть большой перечень факторов – комфорт, эстетика, передовые строительные материалы и технологии, современные стандарты коммуникаций и оборудования и др.

В связи с этим выделяют следующие важнейшие в мировой архитектурной инженерии критерии: энергоэффективность зданий; их независимость и автономность от централизованных сетей; экологичность и общая эффективность всей архитектурной среды.

Перечисленные выше факторы не только отражают архитектуру XXI века, но и являются позитивными альтернативными решениями при борьбе с энергокризисом, эко-кризисом и эко-социальном кризисом.

Ветровая энергетика, как разновидность альтернативного источника энергии, – перспективное направление, возможности которого ещё не всецело раскрыты. Архитектурная культура балансирует между противоположными полюсами – фундаментальные традиции и инновационный поток перемен. Именно архитектор обладает всеми умениями, позволяющими создать здание – «умный организм», который способен реагировать на окружающую среду и регулировать своё состояние, трансформируя сигналы в реакции.

Ключевые слова: архитектурный облик, экология, климатология, энергоэффективность, ветроэнергетика, инженерные технологии.

A. Y. Khudyakov, A. A. Voronina

WIND POWER PLANTS IN THE ARCHITECTURE OF CIVIL BUILDINGS

The aggravated ecological situation is a global problem, which affects all spheres of human life. The process of environmental degradation proceeds in stages: starting with the ecological decision of a separate building, ending with the formation of large units - micro districts, cities, etc.

The exhaustibility of natural resources contributes to the spread of a practice-oriented approach, which dictates the need for the use of ecological architecture.

One of the key areas of adaptation to the impact of climate is the use of alternative energy sources and the introduction of energy efficient systems in the architectural appearance of the building. Such decisions determine the development of modern architecture within the framework of the interaction between the built environment and nature.

Architectural design and engineering have become closely related, since today, when creating projects, it is necessary to take into account a large list of factors - comfort, aesthetics, advanced building materials and technologies, modern standards of communications and equipment, etc.

In this regard, the following most important criteria in world architectural engineering are singled out: energy efficiency of buildings; their independence and autonomy from centralized networks; environmental friendliness and overall efficiency of the entire architectural environment.

The factors listed above not only reflect the architecture of the 21st century, but are also positive alternative solutions in the fight against the energy crisis, eco-crisis and eco-social crisis.

Wind energy, as a kind of alternative energy source, is a promising direction, the possibilities of which have not yet been fully disclosed. Architectural culture balances between opposite poles - fundamental traditions and an innovative flow of change. And it is the architect who has all the skills to create a building - a "smart organism" that is able to respond to the environment and regulate its state, transforming signals into reactions.

Keywords: *architectural appearance, ecology, climatology, energy efficiency, wind energy, engineering technologies.*

Объективная потребность в создании программы по изменению климата – это необходимый инструмент проектирования не только отдельного здания, но и способствующий краткосрочному и долгосрочному развитию города во всех аспектах [1].

Известно, что в летнее время практически на всех континентах наблюдаются природные катаклизмы: аномальная жара, таяние ледников и вечной мерзлоты, снижение биоразнообразия и другие природные явления. Ещё с 1950-х годов учёные начали предупреждать о негативном влиянии человеческой деятельности на экосистему Земли. Но не все страны стали с осторожностью относиться к нашей планете. Этому есть подтверждение в виде Парижского соглашения, основанное на переговорах 21-й сессии Парижской конференции сторон (СОР 21), прошедшей в декабре 2015 г. Цель данного документа заключается в снижении показателя глобального потепления до 1,5°C. Парижское соглашение подписали 197 стран и вступило в силу в ноябре 2016 г. Страны должны предложить свои национальные планы действий по проблеме изменения климата, которые называются «определяемые на национальном уровне вклады» (ОНВ).

Европейские города разработали соответствующие планы действий по проблеме изменения климата: сокращение основной части всех выбросов CO₂ и компенсацию

остающихся несокращаемых выбросов, которые возникают в процессе жизнедеятельности человека. Для реализации общей цели необходимо, чтобы города и горожане стали лидерами в экологическом преобразовании. Кроме этого, важно то, чтобы были привлечены все участники процесса: частные и государственные.

План действий на период до 2030 г. охватывает шесть основных категорий, одним из ключевых которых является энергия. Предложены следующие решения по данной категории: формирование местной системы управления энергией и увеличение, производство возобновляемых источников энергии на территории [2].

Экологические аспекты проектирования в РФ начали интересовать застройщиков лишь в начале XXI века в связи с обострением экологической ситуации и с требованиями повышения энергоэффективности [3]. Одним из направлений по повышению энергоэффективности здания является архитектурно-пространственная организация биоклиматических зданий. Наиболее полно инженерные аспекты, приемы формирования микроклимата в здании рассмотрены в работах Ю.А. Табунщикова [4, 5].

Применение альтернативных источников энергии остается актуальным решением при создании энергоэффективного здания [6]. Структура энерго-рынка в России такова, что

стоимость электроэнергии для конечного потребителя состоит из двух компонент – собственно цены электроэнергии и стоимости мощности. Энергия ветроэнергетических установок остается в разы дороже традиционной энергетики и при этом не гарантирует выдачу требуемой мощности. В ряде стран ветровая энергия уже дешевле традиционной газовой генерации именно за счет дорогого газа. Потенциал использования ветроэнергетики нужно доказать и при этом учесть ряд важных аспектов. Их использование становится оправданным для удаленных районов, отключенных от единой энергосистемы. В ряде случаев в таких районах задействуются дизель-генераторы. У ветровой энергетики есть преимущества перед традиционной (с использованием природного газа, нефти), но имеется существенный недостаток: ветер часто меняет направление и его сила непостоянна.

Таким образом, для разработки фасадного элемента, способного улавливать ветер и перерабатывать энергию необходимо учесть следующее [7]:

- аэродинамические нагрузки на лопасти;
- инерционные и гироскопические силы, возникающие при изменении режима работы или при изменении ориентации элементов;
- дисбаланс лопастей и других движущихся элементов;
- изменчивость ветрового потока по скорости и по направлению, включая турбулентные пульсации ветра;
- обледенение.

В западных странах использование энергии ветра считается одним из самых развитых направлений возобновляемой энергетики. Эта отрасль специализируется на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии, удобную для использования в народном хозяйстве [8]. Ветроэлектростанции или ветропарки размещаются на больших открытых территориях. Мнение людей разделяется: одни воспринимают положительно, считая, что данное решение необходимо, поскольку ветроэнергетические установки – символ чистой энергии; другие считают, что такое решение портит пейзаж, создаёт шум, уничтожает птиц, попавшихся в зону работы лопастей. Поскольку использование получаемой энергии не способно постоянно обеспечивать энергией, ввиду известных причин, то целесообразно решить данную проблему путём внедрения ветрогенераторов в структуру городской среды, расположив их на здании для обеспечения жизнедеятельности человека [9].

Существуют сложности при реализации данного решения. Город – это сложная сформировавшаяся структура улиц, жилых комплексов, где потоки ветра не только изменяют своё направление, но и встречаясь с препятствиями, уменьшают скорость, а значит и свою мощность. Именно поэтому усилия архитекторов и инженеров направлены на то, чтобы, объединив идеи использования энергии ветра, функциональное назначение зданий, принципы создания архитектурной формы, климатические особенности местности и градостроительную ситуацию территории проектирования, получить гармоничный результат [10].

При рассмотрении взаимодействия здания, его оболочки и формы, с ветровыми потоками встает вопрос о энергоэффективности. Так, оптимальная форма здания и его расположение на местности с учетом преобладающих направлений ветровых потоков способны обеспечить уменьшение теплопотерь [11,12]. При формировании объемного решения здания нужно учитывать характер фасада, его свойства (рельефность, различную фактуру, особенности «перфорации» фасада окнами и т.д.) и наличие крупных сквозных полостей в здании, которые могут различаться своей геометрией.

В исследовании «Обтекание высотных зданий и сооружений атмосферным ветром в условиях городской застройки» сформирован набор характерных моделей [13]. Данный набор определяет характер городской среды при помощи различных факторов: время застройки, регион, тенденции и климат (рис.).

Так, в исторической застройке характерна плотная периметральная планировка; в 1960–1970 годы была распространена линейная застройка с невысокой плотностью; современным градостроительным решением является внедрение квартальной застройки с повышенной или высокой плотностью.

Конечным результатом исследования стала матрица, с помощью которой можно увидеть связь форм зданий и их функций, этажности объекта и наиболее важных в зависимости от неё дополнительных характеристик, а также свойственное определенной типологии и высотности взаиморасположение зданий в среде. В схеме приведены как возможные основные варианты моделей наиболее общей геометрии, так и сами характеристики, определяющие разнообразие моделей, их форм и геометрии [14].

В настоящее время существует много реализованных и проектных решений интеграции ветроэнергетических установок в зда-

Средовые характеристики							
Застройка 1960-1970 г. Купчино, Санкт-Петербург, Россия	Современная квартальная застройка Район Эйбург, Амстердам, Нидерланды	Застройка Пекин, Китай	Историческая застройка Барселона, Испания				

Рис. Примеры архитектурной среды с различными характерными планировочными решениями

ния. В представленной таблице приведены 5 вариантов архитектурных решений по месту расположения ветроэнергетических установок и их влиянию на формообразование основного объема [15,16,17].

Важным условием устройства ветроге-

нератора в структуре здания является учет шума и вибраций, производимых им, безопасности подвижных частей. Стоит отметить то, что при близком расположении ветрогенераторов происходит усиленная выработка энергии, поэтому целесообразно интегри-

Таблица

№	Расположение	Схема	Пояснение
1	Размещение ветрогенератора с горизонтальной осью вращения в верхней части высотного здания.		Свободный доступ ветра; отсутствие препятствий; существует независимо от общей формы здания.
2	Размещение ветрогенератора с вертикальной осью вращения в верхней части малоэтажного здания.		Нет необходимости учитывать направление потока ветра. Работает на низких скоростях ветра.
3	Внедрение в тело здания механизма с вертикальной осью вращения. Ветрогенератор может располагаться как на крыше, так и между этажами.		Объем пропеллера может быть интегрирован в любое место здания. Формирование пластики здания: объём здания приобретает более плавные черты для того, чтобы усилить и направить потоки ветра в необходимое место.
4	Расположение ветроагрегатов сбоку объема здания.		Зависимость от формы здания: форма дома стимулирует силу движения воздуха и турбины, вырабатывая всю необходимую энергию.
5	Ветрогенераторы расположены между корпусами зданий.		Возможность размещения генераторов любых размеров на независимом каркасе.

ровать несколько ветрогенераторов, близко расположенных друг к другу [18].

При проектировании здания архитектор решает задачу наилучшим образом использовать положительное и максимально нейтрализовать отрицательное воздействие наружного климата на тепловой баланс здания. В это же время инженер решает задачу организации системы климатизации здания с наименьшими затратами энергии [19].

Лучшим результатом работы архитектора и инженера является оптимальное энергоэффективное здание, обеспечивающее минимум расхода энергии в системах его климатизации. В качестве оценки работы архитектора и инженера может быть удельная тепловая характеристика здания, отнесенная к одному из расчетных климатических периодов. Этот показатель позволяет сравнить достигнутый результат с уже существующим, но не дает ответа на вопрос, можно ли запроектировать более энергоэффективное здание [20].

Об уровне мастерства архитектора и инженера с точки зрения энергоэффективности здания можно судить, используя соотношение $\eta = W_{\min} / W$, которое показывает, насколько представленное решение здания отличается от оптимального. Здесь W_{\min} – затраты энергии на климатизацию здания с оптимальными архитектурными и инженерными решениями, W – затраты энергии на климатизацию представленного проектного решения здания.

Величина η изменяется в пределах от 0 до 1. Чем ближе величина η к 1, тем ближе выбранные архитектурные и инженерные решения к оптимальным решениям и тем выше мастерство архитектора и инженера.

В соответствии с системным подходом к проектированию энергоэффективного здания величину η можно записать так: $\eta = \eta_A \eta_E$, где $\eta_A = Q_A \min / Q$, $\eta_E = Q_E \min / Q$, где $Q_A \min$ – затраты энергии на климатизацию здания с оптимальными архитектурными решениями;

$Q_E \min$ – затраты энергии на климатизацию здания с оптимальными инженерными решениями.

Теперь η_A можно трактовать как показатель мастерства архитектора, а η_E – как показатель мастерства инженера.

Заключение

Таким образом, приоритетным направлением в решении мирового энергетического кризиса является использование малых ветроэнергетических установок в системах инженерного обеспечения зданий любого функционального назначения.

Использование ветровой энергии особенно привлекательно при строительстве высотных зданий. Мощные ветровые турбины устанавливаются внутри самого здания, как правило, на технических этажах. Они позволяют ветру продувать здание насквозь, не создавая при этом сквозняков и воздушных ям. Благодаря обтекаемой форме здания воздушные массы, попадая в специальные каналы ветровых турбин, будут воздействовать на установленные ветровые генераторы. Таким образом, все необходимая энергия будет вырабатываться с помощью генераторов, что позволит значительно сократить расходы на другие виды электроэнергии. Кроме того, подобные установки позволят контролировать уровень охлаждения здания, тем самым предотвратить его перегрев.

Одновременное использование различных видов альтернативной энергетики, например, ветровой и солнечной или геотермальной, наиболее эффективно. Дополняя друг друга, совместно они гарантируют производство достаточного количества электроэнергии на любых территориях и в любых климатических условиях.

Тесное взаимодействие архитектора и инженера позволит создать не только эстетический архитектурный объект, но и экономически выгодный, экологически чистый с применением новейших технологий.

Литература

1. Бумаженко О.В. Энергоэффективное (экологическое) строительство // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – М., 2002. – №1.
2. Horn, С. Планы действий по изменению климата как необходимый инструмент планирования для городов / С. Horn – Текст: электронный // Проект Байкал. – 2019. № 62. – С. 9–17.
3. Иовлев, В. И. Экологический подход к архитектурному формообразованию [Текст] / В.И. Иовлев // Строительство (Известия вузов). – 2007. – № 8. – С. 87–91.
4. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-Прес.203. – 200 с.

5. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий // АВОК. – 1998. № 1. – С. 5 – 10.
6. Агекян А. Л., Токарева П. С., Куршева Д. С. Актуальность учета ветровых потоков в архитектуре // Сборник научных статей V Всероссийской научно-практической конференции «Искусство и дизайн: история и практика». – 2020. – С. 205 – 211.
7. Перемутьер А.В. Очерки по истории металлических конструкций: Издание второе, перераб. И дополн. – М.: Издательство СКАД Софт, Издательский дом АСВ, – 2015. – С 140 – 154.
8. Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 224 с.
9. Фёдоров О. П. XX-й век: становление ветроэнергетики. Территориально-планировочные основы организации ветропарков // Современные проблемы истории и теории архитектуры. – 2016. – С. 172 – 175.
10. Горюнов В.С., Боброва Д.М. Ветроэнергетика как фактор формообразования современной архитектуры // Доклады 68-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета / СПбГАСУ. – В 5 ч.- Ч. III. – СПб., 2011. – 256 с.
11. Сапронова О.М., Бирюкова Т.П. Повышение энергоэффективности зданий и сооружений // Вестник МГСУ. – 2011 г, – № 4 – С. 337 – 341.
12. Кологривова Л.Г., Ковтун О.В. Энергосберегающие решения энергоэффективных зданий // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – №6. – С. 22 – 24.
13. Айрапетов А. Б., Вышинский В. В., Катунин А. В. Расчётные и экспериментальные исследования обтекания высотных зданий и сооружений атмосферным ветром в условиях городской застройки // Труды МФТИ. – 2017. Том 9, № 2. – С. 5 – 12.
14. Современные подходы и методики научно-исследовательской работы в архитектуре: сборник научных трудов по результатам I и II Круглых столов за 2020 – 2021 г.; СПбГАСУ. – Санкт-Петербург. – 2021. – С. 68 – 81.
15. Боброва Д.М. Ветровые установки в архитектуре высотных зданий // Актуальные проблемы современного строительства: 63-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых / СПбГАСУ. – Ч. I. – СПб., – 2010. – 270 с.
16. Sinisa Stankovic, dr Neil Campbell, dr Alan Harries «URBAN WIND ENERGY», First published by Earthscan in the UK and USA. – 2009. – С.150.
17. Груничев И. А. Интеграция ветроэнергетических установок в архитектуру малоэтажных жилых зданий // Вестник гражданских инженеров. – 2017. № 2 (61). – С. 5 – 13
18. Подолян. Л.А. Энергоэффективность жилых зданий нового поколения: автореф. дис. уч. ст. канд. техн. наук: 05.23.01/ Л.А. Подолян. – Москва. – 2005. – 185 с.
19. Сологубов Ю.П., Гордеева Т.Е. Анализ планировочных решений жилых зданий по энергоэффективности // Градостроительство и архитектура. – 2015. №4 (21). – С.104 – 107. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.04.14.
20. Буренина И.В., Батталова А.А., Гамилова Д.А., Алексеева С.В. Мировая практика управления энергоэффективностью. Науковедение, № 3, 2014.

References

1. Bumazhenko O.V. Energy-efficient (environmental) construction // Electronic journal of the energy service company “Ecological Systems”. – М., 2002. – № 1.
2. Horn, C. Action plans for climate change as a necessary planning tool for cities / C. Horn - Text: electronic // Project Baikal, 2019. No. 62. M. Scientific basis for the design of energy efficient buildings. – 1998. № 1. – pp. 9 – 17.
3. Iovlev, V.I. Ecological approach to architectural shaping [Text] / V.I. Iovlev // Construction (News of universities), 2007. – No. 8. M. Scientific basis for the design of energy efficient buildings. – 1998. № 1. – pp. 87 – 91.
4. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. Energy efficient buildings. – М.: AVOK-Press.203. – 200 p.
5. Tabunshchikov Yu. A., Brodach M. M. Scientific basis for the design of energy efficient buildings. – 1998. № 1. – pp. 5 – 10.
6. Agekyan A. L., Tokareva P. S., Kursheva D. S. The relevance of accounting for wind

- flows in architecture // Collection of scientific articles of the V All-Russian scientific and practical conference “Art and design: history and practice”. – 2020, – pp. 205 – 211.
7. Peremulter A.V. Essays on the history of metal structures: Second edition, revised. And additional - M.: Publishing house SKAD Soft, Publishing house DIA. – 2015. – pp. 140 – 154.
 8. Elistratov V.V. Use of renewable energy. - St. Petersburg; Publishing House of the Polytechnic. un-ta. – 2008. – 224 p.
 9. Fedorov O. P. XX-th century: the formation of wind energy. Territorial-planning bases for the organization of wind farms // Modern problems of the history and theory of architecture. – 2016. – pp. 172 – 175.
 10. Goryunov V.S., Bobrova D.M. Wind power as a factor in the formation of modern architecture // Reports of the 68th scientific conference of professors, teachers, scientists, engineers and graduate students of the university / SPbGASU. – At 5 o'clock – Part III. – St. Petersburg. – 2011. – 256 p.
 11. Sapronova O.M., Biryukova T.P. Improving the energy efficiency of buildings and structures // Vestnik MGSU. – 2011, № 4.
 12. Kologrivova L.G., Kovtun O.V. Energy-saving solutions for energy-efficient buildings // Industrial and civil construction. – 2004. – № 6. – pp. 22 – 24.
 13. Airapetov A. B., Vyshinsky V. V., Katunin A. V. Computational and experimental studies of atmospheric wind flow around high-rise buildings and structures in urban areas // Proceedings of the Moscow Institute of Physics and Technology, 2017. Volume 9, №. 2, – pp. 5 – 12.
 14. Modern approaches and methods of research work in architecture: a collection of scientific papers based on the results of I and II Round tables for 2020 - 2021; SPbGASU. – St. Petersburg. – 2021. – pp. 68 – 81.
 15. Bobrova D.M. Wind turbines in the architecture of high-rise buildings // Actual problems of modern construction: 63rd International Scientific and Technical Conference of Young Scientists / SPbGASU. – Ch. I. – St. Petersburg. – 2010. –270 p.
 16. Sinisa Stankovic, dr Neil Campbell, dr Alan Harries “URBAN WIND ENERGY”, First published by Earthscan in the UK and USA. – 2009. – p.150.
 17. Grunichev I. A. Integration of wind power installations into the architecture of low-rise residential buildings // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. – 2017. №. 2 (61). – pp. 5 – 13.
 18. Podolyan. L.A. Energy efficiency of new generation residential buildings: Ph.D. dis. uch. Art. cand. tech. Sciences: 05.23.01/ L.A. Podolyan. - Moscow. – 2005. – 185 p.
 19. Sologubov Yu.P., Gordeeva T.E. Analysis of planning solutions for residential buildings in terms of energy efficiency // Urban planning and architecture. – 2015. № 4 (21). – pp. 104 –107.
 20. Burenina I.V., Battalova A.A., Gamilova D.A., Alekseeva S.V. Worldwide practice of energy efficiency management. Science of Science, № 3, 2014. naukovedenie.ru/PDF/125EVN314.pdf.

Худяков А.Ю.,

доцент кафедры «Архитектуры», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, 454080, Россия. E-mail: khudiakovai@susu.ru

Khudyakov A. Yu.,

associate Professor of the Department of Architecture, South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia, 454080. E-mail: khudiakovai@susu.ru

Воронина А.А.,

студент – магистр кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, 454080, Россия. E-mail: missis.nast97@yandex.ru

Voronina A.A.,

student Master of the Department of Architecture, South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia, 454080. E-mail: missis.nast97@yandex.ru

Поступила в редакцию 08.03.2022