

Открытое акционерное общество  
«Центральный научно-исследовательский и проектный институт  
жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища)»

*на правах рукописи*

Семикин Павел Павлович

**ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ  
ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ  
С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

Специальность 05.23.21 – Архитектура зданий и сооружений.  
Творческие концепции архитектурной деятельности

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата архитектуры

Научный руководитель:  
кандидат архитектуры, профессор А.А. Магай

Москва 2014

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ.....	12
1.1. Предпосылки появления и особенности развития архитектуры высотных зданий в России и за рубежом.....	13
1.2. Анализ существующего состояния проектирования и строительства высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии.....	31
1.3. Основные тенденции и актуальные проблемы в проектировании и строительстве высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии.....	51
Выводы по главе 1.....	65
ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ.....	67
2.1. Факторы формирования и критерии оценки высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии.....	68
2.2. Определение влияния на архитектуру высотных зданий применения возобновляемых источников энергии.....	85
2.3. Классификация и предложения по размещению типов высотных зданий с ВИЭ на территории Российской Федерации.....	92
Выводы по главе 2.....	108
ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ.....	109
3.1. Принципы формирования архитектуры высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии.....	109
3.2. Методика проектирования высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии.....	123

3.3. Предложения по размещению энергоустановок в архитектурных решениях высотных зданий и перспективы развития данного типа объектов.....	130
Выводы по главе 3.....	140
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	141
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	143

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования** связана с потребностью в создании научно-обоснованных принципов по проектированию высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). По данным федеральной службы государственной статистики «на территории России происходит постоянное увеличение численности городского населения, что свидетельствует о продолжающемся укрупнении городов» [51]. В связи с расширением территории и уплотнением застройки продолжается активное внедрение в «ткань» города высотных зданий. В нашем исследовании «высотными» приняты здания высотой более 75 метров (Стандарт организации ОАО «ЦНИИЭП жилища» 01422789-001-2009). В Москве насчитывается порядка 100 подобных объектов, общее количество по России – более 300. В целом, данный тип застройки занимает значительную долю в общем количестве зданий по России. В настоящее время проектируются и строятся высотные здания в других городах страны (на разных стадиях строительства находятся порядка 200 зданий). Согласно информации Всемирного совета по высотным зданиям и городской среде (СТВУН) «общее количество высотных зданий (высотой более 100 м) составляет в мире более 6000 объектов» [100]. Эти факты свидетельствуют о востребованности данного типа объектов и применении в практике строительства современных архитектурных, конструктивных и технических решений.

Одной из особенностей эксплуатации подобных зданий является их высокое энергопотребление, по сравнению со средне- и многоэтажными сооружениями. Затраты энергии на содержание 1 объекта, сопоставимы с потребностями небольшого города. Например, «Бурж-Халифа» (самое высокое здание в мире) потребляет ежегодно 53 801 тонну условного топлива (единица измерения топлива или энергии, равная по своей энергетической ценности тонне угля, сокращенно обозначается - т.у.т.), а потребление всего города Ярцево (46 тыс. чел.), находящего в Смоленской области, составляет 108 877 т.у.т. Большая часть энергии для высотных зданий поставляется из городских сетей, основой которой является преобразование традиционных источников энергии. Их основные виды –

нефть, уголь и газ, запасы которых сейчас стремительно сокращаются из-за активного потребления человечеством. Использование таких источников, в силу особенностей их преобразования, в первую очередь, сжигания – один из главных факторов изменения климата, а разработка разведанных «дешевых» месторождений может привести к катастрофам, подобным недавнему разливу нефти в Мексиканском заливе. В развивающихся странах применение установок на основе биомассы оказывает негативное воздействие на окружающую среду: увеличенное потребление древесины, разрастание пустынь, газообразные загрязнения среды при сжигании органических отходов.

«По расчетам Международного энергетического агентства (IEA), добыча нефти и газа из разведанных месторождений к 2030 г. упадет на 40-60 %» [103]. И это на фоне взрывообразного роста потребления энергии в развивающихся экономиках Китая, Индии и Бразилии. Лидерами по потреблению энергии являются Саудовская Аравия, Сингапур и США, если все страны начнут потреблять столько же энергии, разведанные запасы нефти на земле закончатся уже раньше, чем через 10 лет. «Россия занимает 3 место в мире по объему потребления первичных энергоресурсов, в том числе 2 место по потреблению газа, поэтому эти тенденции могут иметь критичные последствия для нашей страны» [3]. При прогнозируемом росте населения планеты до 9 млрд. человек в течение ближайших 40 лет у человечества нет иного выбора, кроме как перейти на другие источники энергии.

Одним из решений данной проблемы является развивающееся сегодня направление проектирования и строительства высотных зданий с применением ВИЭ. Подобные объекты являются одной из перспективных форм застройки городских территорий, что обусловлено их энергетической самостоятельностью и экологически чистыми источниками энергии, которые в них используются.

«Возобновляемая энергия – энергия из источников, которые по человеческим масштабам являются неисчерпаемыми и пополняемые естественным путем, таких как солнечный свет, ветер, дождь, приливы и геотермальная теплота» [87].

«Возобновляемый (альтернативный ископаемому топливу) источник энергии – устройство или сооружение, позволяющее получать требуемый вид энергии» [20].

В США, Китае, странах Европы возведено уже несколько десятков высотных зданий с ВИЭ. В будущем, как показывает большое число проектируемых в последние годы объектов, их количество будет увеличиваться, поэтому важно, чтобы наша страна стала активным участником этого глобального процесса.

В России в настоящее время нет построенных высотных зданий с использованием ВИЭ. Однако, существует такой пример в многоэтажном строительстве – 17-ти этажный «энергоэффективный жилой дом в микрорайоне Никулино-2» (г. Москва).

Актуальность данной темы обусловлена следующими проблемами:

— значительное энергопотребление высотных зданий, как следствие, это увеличенная нагрузка на городские энергосети;

— приближающийся кризис традиционной энергетики в силу истощения разведанных месторождений ископаемых источников энергии;

— выполнение принятой в 2013 г. Государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и развитие энергетики», подпрограмма «Развитие использования возобновляемых источников энергии»;

— отсутствие разработанных в настоящее время в России принципов формирования архитектуры высотных зданий с ВИЭ.

Высотные здания с ВИЭ являются современным и востребованным решением для городской застройки. Это уникальные индивидуальные объекты, которые в силу своего масштаба могут изменить энергопотенциал всего города. В будущем их строительство будет носить массовый характер.

### **Степень разработанности темы**

История проектирования и строительства высотных зданий представлена в трудах российских (В.П. Генералова, Н.Н. Кружкова, А.А. Магая, Л.В. Петровой) и зарубежных (Д. Биндера, П. Мосс, Р. Саксона, А. О'Янг) авторов.

Типологические аспекты зданий, в том числе высотных, исследуют: В.П. Бандаков, И.В. Григорьева, В.Ю. Дурманов, К.К. Карташова, А.А. Магай, Т.Г. Маклакова, С. Пэйфу, В.П. Этенко.

Регулированию микроклимата в высотных зданиях архитектурными и техническими средствами посвящены исследования Ю.А. Табунщикова, М.М. Бродач, Н.В. Шилкина, Г.П. Васильева.

Проблемы архитектуры энергоактивных зданий были рассмотрены в трудах В.С. Беляева, Э.В. Сарнацкого, Н.П. Селиванова, О.С. Попеля, В.В. Захарова, А.И. Мелуа, Л.П. Хохлова, Е.С. Абдрахманова, С.А. Ващенко.

Изучению особенностей применения ВИЭ в архитектуре зданий посвящены диссертации А. В. Рябова, О.К. Афанасьевой. Особенности формирования архитектурно-планировочной структуры биоклиматических городских зданий исследованы в диссертации А.С. Усова. В диссертации С.А. Молодкина сформулированы принципы формирования энергоэффективных жилых высотных зданий.

Проблемы биоклиматического проектирования высотных зданий рассмотрены в трудах О. Васкеса, Г. Мерката, П. Мюсле, К. Янга.

Проблемы повышения энергоэффективности и экологичности зданий и сооружений являлись предметом деятельности ученых, архитекторов и инженеров: В. К. Лицкевича, К. В. Александера, М. Кольмара, С. Масетти, Д. Росса, Н. Р. Фостера, Э. Х. Цайдлера, Г. А. Михайлова, Ф. Л. Райта, Ле Корбюзье, П. Сольери, Р. Б. Фуллера, С.С. Смирновой.

Несмотря на разностороннюю направленность работ, посвященных исследованию эффективности использования энергии в процессе эксплуатации различных объектов, отсутствует комплексное научное изучение принципов формирования архитектуры рассматриваемых высотных зданий на основе использования ВИЭ. Следовательно, возникает необходимость обобщения опыта их формообразования и выявления особенностей объемно-планировочной организации высотных зданий на базе изучения построенных высотных зданий и проектно-теоретического материала в целях совершенствования архитектурных

решений высотных объектов путем внедрения инновационных технологий обеспечения энергией зданий на основе ВИЭ.

**Объект исследования** – высотные здания с ВИЭ.

**Предмет исследования** – архитектурно-планировочные, объемно-пространственные и архитектурно-технические решения высотных зданий с ВИЭ.

**Цель исследования** – разработать принципы формирования архитектуры высотных зданий с применением ВИЭ

**Задачи исследования:**

— провести анализ научно-теоретических, проектных разработок и выявить особенности архитектуры высотных зданий с применением ВИЭ;

— определить факторы, влияющие на формирование архитектуры высотных зданий с ВИЭ;

— сформировать критерии оценки архитектурных решений, классифицировать высотные здания с возобновляемыми источниками энергии и дать предложения по их использованию в отечественной научной и проектной практике;

— разработать принципы и методику формирования архитектуры высотных зданий с ВИЭ;

— дать предложения по созданию архитектурных решений высотных зданий, повышающих рациональность использования ВИЭ в их структуре;

— определить основные направления перспективного развития архитектуры высотных зданий с ВИЭ.

**Границы исследования:**

1) Архитектурно-планировочные: рассматриваются здания выше 75 метров, соответствующие определению «высотные».

2) Географические: в работе рекомендуются решения высотных зданий с ВИЭ на территории России.

3) Энергетические: энергоактивные технологии преобразования ВИЭ. Они позволяют улавливать прямую, рассеянную энергию из возобновляемых источников и превращают ее в требуемый вид энергии.

**Методы исследования:**

1. Сбор информации о высотных зданиях из литературных источников, проектных материалов, интернет-ресурсов для выявления функционально-планировочных решений и их корреляции с используемыми ВИЭ.

2. Сравнительный анализ архитектурно-технических решений для выявления типов и долевого соотношения применения инженерного оборудования, работающего на ВИЭ.

3. Сравнительный анализ архитектурно-планировочных и объемно-пространственных решений высотных зданий с ВИЭ представлен в табличной форме.

4. Классификация высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии по типам применяемых ВИЭ и их сочетаниям.

**Теоретическая значимость** исследования включает:

— предложения по решению проблем, связанных с потреблением высотными зданиями энергоресурсов из городских сетей, средствами архитектуры;

— принципы формирования архитектуры высотных зданий с использованием ВИЭ;

— результаты исследования и предложения автора направлены на реализацию Энергетической стратегии России на период до 2030 года и основных задач, предусмотренных Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

**Практическое значение результатов** диссертационного исследования заключается в возможности:

— внедрения результатов, полученных в ходе данного исследования, в научно-методическую работу в образовательном процессе (составление лекций, методических пособий для студентов);

— применения разработанной методики в практике проектирования;

— применения выводов и результатов исследования при разработке нормативных документов для проектирования высотных зданий.

#### **Научная новизна:**

— определены и систематизированы факторы, влияющие на формирование архитектуры высотных зданий с ВИЭ;

— разработаны критерии оценки и классификация высотных зданий с ВИЭ;

— разработана карта зонирования территории России с предложениями по применению конкретных типов высотных зданий с ВИЭ;

— разработаны предложения по архитектурным решениям высотных зданий, позволяющие размещать в структуре объектов энергогенераторы на основе ВИЭ;

— сформулированы принципы и методика формирования архитектуры высотных зданий с ВИЭ.

#### **Апробация и внедрение результатов работы**

Материалы диссертации апробированы при их представлении на следующих конференциях:

— международной научно-практической конференции «Региональные архитектурно-художественные школы», ноябрь 2011 г.;

— международной научно-практической конференции «Проблемы и направления развития градостроительства», октябрь 2013 г.;

— международной научно-практической конференции «Региональные архитектурно-художественные школы», январь 2014 г.

По теме диссертации опубликовано 10 работ общим объемом 47 страниц (всего 2,9 п.л., в том числе лично автором – 2,5 п.л.). Из них пять статей - в изданиях, которые входят в перечень ведущих рецензируемых изданий ВАК. Опубликовано учебное пособие «Энергоэффективные аспекты архитектурно-градостроительного

проектирования», предназначенное для магистрантов по направлению подготовки 270100.68 «Архитектура». Объем пособия – 6,5 п.л., в том числе лично автором – 4,3 п.л.

Участие автора в проектных работах, реализующих некоторые положения диссертации:

— многофункциональное высотное здание с ВИЭ (56 этажей, 220 метров). Город Новосибирск участок на пересечении Каменской и Октябрьской магистралей, улиц Кирова и Шевченко. Эскизный проект (2011 г.), степень участия – автор проекта;

— специальные технические условия на проектирование высотного жилого здания по адресу: г. Москва, САО, район «Левобережный», микрорайон 2, участок 2б, корпус 7-7а (высотой 101,91 и 110,50 метров; 2013 г.), степень участия – консультант.

#### **Научные результаты, выносимые на защиту:**

- критерии оценки и классификация высотных зданий с ВИЭ;
- карта зонирования территории России с предложениями по применению конкретных типов высотных зданий с ВИЭ;
- принципы и методика формирования архитектуры высотных зданий с ВИЭ;

#### **Объем и структура работы**

Диссертация, представленная в одном томе, включает в себя текстовую часть (112 страниц), состоящую из введения, трех глав, заключения, библиографии (104 наименования), и графическую часть (41 страница), содержащую иллюстрации к текстовой части, графоаналитические таблицы, схемы, эскизный проект высотного здания с ВИЭ.

## **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

По данным многих ученых и исследователей (А.Н. Тетиора, Б.С. Истомина, Н.А. Гаряева) «в конце XX века стали заметны признаки глобального экологического кризиса и техногенной эволюции городов. ...предлагается только один способ: сократить площадь антропогенно измененных и застроенных земель, вернуть значительную часть (около трети) «освоенных» и загрязненных территорий в естественное состояние. Такой «возврат» невозможен при наблюдающемся росте урбанизированных территорий и возрастании численности человечества» [74].

К качеству альтернативы предлагается «создание принципиально новых объектов (зданий, сооружений, поселений), родственных природе, не отторгаемых ею и включаемых в естественные экосистемы. Это положение делает исключительно актуальной задачу практического применения технологий, использующих возобновляемые источники энергии и использование в проектах архитектурно-строительной экологии» [30].

По данным федеральной службы государственной статистики, на территории России начиная с 1917 г. происходит постоянное увеличение численности городского населения. К 2013 году процентное соотношение городского и сельского населения составило 74 и 26 процентов соответственно [51]. Осваиваются новые территории, развивается инфраструктура, уплотняется застройка, увеличивается этажность объектов. Эти процессы особенно заметны в городах-миллиониках, в центрах которых проектируются и возводятся новые объекты. В связи с высокой концентрацией функций и социальных сценариев жизнедеятельности человека, обоснованным решением становится внедрение в городскую застройку высотных зданий. Возведение высотных зданий в структуре городской среды имеет ряд положительных качеств - повышается плотность функций при минимизации площади, занимаемой зданием; уровень комфорта

проживания за счет увеличенной площади квартир и наличия учреждений сферы обслуживания в здании; в районе застройки появляется «знаковое» здание, имеющее большое градостроительное значение [64]. Одним из основных неблагоприятных аспектов эксплуатации подобных зданий является высокое энергопотребление, что приводит к крупным финансовым издержкам при содержании этих сооружений.

### **1.1. Предпосылки появления и особенности развития архитектуры высотных зданий в России и за рубежом**

В каждом из 11 российских мегаполисов с населением более 1 млн. человек на сегодняшний день построены объекты высотой более 75 метров. Строительство высотных зданий в городах России началось в 1990-х годах, в Москве и Санкт-Петербурге эта тенденция зародилась раньше. Вначале это были бизнес-центры (бизнес-центры «Кобра» и «Сарэт», г. Новосибирск), в дальнейшем появились жилые комплексы (жилой дом «Эдельвейс», жилой комплекс «Континенталь», г. Москва) и многофункциональные объекты («Челябинск-Сити», г. Челябинск). Для проектирования высотных зданий привлекались зарубежные фирмы. С течением времени отечественные архитекторы перенимали опыт, и строительство объектов велось уже российскими специалистами (бизнес-центр «Высоцкий», г. Екатеринбург) [25]. Пока данный процесс продолжался (освоение практики проектирования высотных зданий в России) в мире появилась новая тенденция – внедрение в объекты ВИЭ. Эта идея в настоящее время доказывает свою эффективность в реальных условиях. Существуют здания, которые на 10-20% обеспечивают себя энергией, в КНР удалось увеличить эту цифру до 60%.

Процесс развития архитектуры высотных зданий и возобновляемой энергетики шел параллельно на протяжении последних 130 лет. Вначале это были независимые явления, однако, под воздействием некоторых факторов эти два направления стали скоординированы. Чтобы обеспечить наглядность установления корреляции между ними, история развития сведена в таблицу. Для большей информативности, добавлена графа, в которой описываются актуальные для каждого временного промежутка энергетические парадигмы (таблица 1).

## Периодизация истории развития архитектуры высотных зданий и ВИЭ

Врем. пер. (годы)	Развитие ВИЭ	Энергетические парадигмы	Развитие архитектуры высотных зданий
1880-1903 (1)	<p>В конце XIX века на Всемирной выставке в Париже изобретатель О. Мушо демонстрировал инсолятор [66] (прообраз первого устройства, превращающего солнечную энергию в электрическую). «Первый ветрогенератор был сконструирован в Дании в 1890 году. В России в начале 20 века Н.Е. Жуковским была разработана теория ветряного двигателя, которую его ученики расширили и</p>	<p>В конце XIX века появляются первые упорядоченные данные о потреблении энергии в разных странах мира. По данным исследователей рост энергопотребления происходил с высокой интенсивностью. Фактически в то время формировалась промышленность, конструировались сложные механизмы (например, конвейеры), люди</p>	<p>Строительство первых высотных зданий началось в конце XIX века в Чикаго, после пожара 1871 г. Эти здания представляли собой 9-12 этажные параллелепипеды, которые разбиты на отдельные «ярусы» по вертикали с помощью карнизов и различного оформления оконных проемов.</p> <p>Знаковые постройки того времени:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- «Хоум Иншуранс Билдинг», Чикаго, Уильям ле Барон Дженни, 1884 г.;</li> <li>- «Масонский храм», Чикаго, Бёнхем и Рут, 1892 г.;</li> </ul>

	<p>отработали до практического использования» [81].</p> <p>«Американский изобретатель Чарльз Фриттс, в 1883 г. сконструировал первый модуль с использованием солнечной энергии, покрыл кремниевый полупроводник селен очень тонким слоем золота, КПД такой батареи тогда составлял лишь около 1 %» [31].</p>	<p>переселялись в города – все это увеличивало энергетические потребности стран.</p> <p>Согласно исследованию Макарова А.А. «первый цикл роста энергопотребления начался в 1880-х гг. и закончился примерно десятилетней стабилизацией мирового потребления энергии в 1930-е годы из-за великой депрессии и мировой войны.» [37]</p>	<p>- «Релианс Билдинг», Чикаго, Бёнхем и Рут, 1894 г.;</p> <p>- «Эйфелева Башня», Гюстав Эйфель, Париж, 1889 г.</p>
<p>1904-1929 (2)</p>	<p>«Эксплуатация первой геотермальной электростанции была начата Лардерелло (Италия) в 1904г, и продолжается по настоящее время» [15]</p> <p>«Первая морская</p>		<p>В Нью-Йорке начинается возведение высотных зданий. «В 1908 году Эрнст Флэгг спроектировал новую башню для уже существующего 14-этажного «Сингер Билдинг» [62].</p> <p>Знаковые постройки того</p>

	<p>приливная электростанция мощностью 635 кВт была построена в 1913 г. в бухте Ди около Ливерпуля» [59, 83].</p> <p>Первой гидроэлектростанцией в СССР была Волховская ГЭС, возведенная в Ленинградской области на реке Волхов в 1926 году.</p> <p>«В 1920 г. во Франции Дарье предложил новый тип ротора, интенсивной разработкой которого начали заниматься с 1970 г.» [11].</p>		<p>времени:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- «Сингер-Тауэр», Нью-Йорк, Эрнст Флэг, 1908 г.;</li> <li>- «Вулворт Билдинг», Нью-Йорк, Гас Гилберт, 1914 г.;</li> <li>- «Экитейбл Билдинг», Нью-Йорк, Эрнст Грахам, 1915 г.</li> </ul> <p>«Из-за муниципального закона 1916 г. появляется стиль высотных зданий «свадебный пирог» [62]. Особенность его состояла в возведении ступенчатых зданий, формой напоминающих пирамиды индейцев майя. Такая форма позволяла обходить закон, ограничивающий высоту</p>
1930-1949 (3)	<p>«В 1935 г. приливную электростанцию начали строить в США. Американцы</p>	<p>«Второй цикл начался послевоенным восстановлением в</p>	<p>В 1931 году построено знаменитое здание «Эмпайр Стейт Билдинг». Его высота составила 381 метр. Оно было самым</p>

<p>перегородили часть залива Пассамакводи на восточном побережье, но работы пришлось прекратить из-за неудобного для строительства, слишком глубокого и мягкого морского дна» [80].</p> <p>«В небольших масштабах ветроэлектрические станции нашли применение несколько десятилетий назад. Самая крупная из них мощностью 1250 кВт давала ток в сеть электроснабжения американского штата Вермонт непрерывно с 1941 по 1945 г.» [10]</p> <p>«С 1929 по 1936</p>	<p>конце 1940-х гг., дал еще более бурный взлет энергопотребления и завершился в конце 1980-х – начале 1990-х гг.»[76]</p> <p>В качестве причин выделяют несколько факторов: кризис экономик стран – крупнейших потребителей энергоресурсов, в целом замедление общемирового потребления энергии.</p>	<p>высоким в мире в то время и смогло удерживать эту позицию более 40 лет. «Стилем высотных объектов становится модернизм. Основные представители: Вальтер Гропиус, Мис ван дер Роэ» [62].</p> <p>Знаковые постройки того времени:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- «Баркли Веси Билдинг», Нью-Йорк, Вурхиз, Гмелин и Волкер, 1926 г.;</li> <li>- «Крайслер Билдинг», Нью-Йорк, 1930 г.;</li> <li>- «Эмпайр Стейт Билдинг», Нью-Йорк, 1931 г.</li> <li>- «Здание фонда сохранения общественных инициатив», Филадельфия, Ноу и Лесказ, 1932 г.;</li> <li>- «Ар-Си-Эй Билдинг Рокфеллер Центра», Нью-Йорк, Худ и Фулоу-</li> </ul>
---	---	--

	<p>года в СССР теоретически разработали установки мощностью 1000 кВт и 10 000 кВт, а в 1933 году в Крыму устанавливается ВЭС мощностью 100 кВт с диаметром ветроколеса 30 метров» [81].</p>		<p>Хофмейстер, Корбет + Харрисон и Мак Мюррей, 1940 г. [101]</p>
<p>1950-1960 (4)</p>	<p>Начиная с 1930-1940-х годов началось активное проектирование домов, использующих инженерные устройства для преобразования солнечной энергии. В основном это были концептуальные разработки, передовые идеи того времени.</p>		<p>«Сигрем Билдинг» стало прототипом современного офисного здания. Офисные высотки в стиле Мис ван дер Роэ возводились по всему миру. Тем не менее, копии не всегда повторяли качество оригинала и востребованность высотных зданий в мире постепенно снизилась» [62].</p>
			<p>Знаковые постройки того</p>

	<p>В 1957 году СССР запустил первый искусственный спутник. Его особенностью было оснащение фотогальваническими элементами</p>		<p>времени:          - «Сигрем Билдинг», Нью-Йорк, Мис ван дер Роэ, Филип Джонсон, 1958 г.;          - «Университет им. Ломоносова», Москва, Лев Руднев, 1953 г.          Построены 7 высотных зданий сталинской архитектуры в г. Москва («семь сестер»).</p>
<p>В 1950-х годах началось бурное развитие экономик Японии, Гонконга и Сингапура. В 1960-х годах к ним присоединились Южная Корея и Тайвань.</p>			
<p>1961-1974 (5)</p>	<p>В 1967 г. была запущена Паужетская ГеоТЭС - первая геотермальная электростанция в СССР. Изначально она имела мощность 5 МВт, со временем ее переоборудовали и значение выросло до 11 МВт.</p>	<p>В 50-60-е годы многие страны стали импортировать нефть как дешевый источник энергии. Как следствие значительная часть стран сократила собственные объемы производства энергоресурсов.</p> <p>«Энергоэффективные здания как</p>	<p>«Высотные здания в Европе были немногочисленны и не превосходили 100-метровой высоты. Высотки служили для того, чтобы выделить центр города или для того, чтобы стать межевыми знаками на перекрестках основных транспортных артерий» [62].</p> <p>Знаковые постройки того времени:</p>

		<p>новое направление в экспериментальном строительстве появились после мирового энергетического кризиса 1974 года» [20].</p> <p>Энергоэффективность в этот период подразумевала под собой экономию энергии.</p>	<p>- «Цюрих Хоххаус», Франкфурт-на-Майне, Удо фон Шаурот и Вернер Штукели, 1962 г.;</p> <p>- Первое высотное здание в районе «Ла Дефанс», высота не более 100 метров;</p> <p>- Здания на Калининском проспекте (Новый Арбат), Москва, Посохин М.В., 1968</p> <p>«В 1970-х и 1980-х годах в США четкие форма заменялись на скульптурные. Технические элементы приобретали декоративные характеристики или закрывались фасадами с историческими мотивами» [62].</p>
--	--	---	---

Знаковые постройки того времени:

- «Пензойл Плаза Билдинг», Хьюстон/Техас, Филип Джонсон и Джон Буржи, 1976 г.;
- «АТ&Т Билдинг», Нью-Йорк, Джонсон / Буржи Аршитектс, 1984 г.;
- «Хумана Билдинг», Луисвилль, Майкл Грэйвс, 1986 г.

«В 1970-х годах в Европе энтузиазм уступил место критике. Офисные высотные блоки стали рассматриваться как негативные символы власти капитала. Районы, состоящие из многофункциональных высотных зданий оставались пустыми значительную часть суток, становясь опасными порохowymi бочками» [62].

- «Гропиусштадт», Берлин, различные архитекторы, 1962-1972 гг.

В течение 1970-1980-х годов в СССР была построена серия высотных зданий 100-метровой высоты.

- «Здание Совета экономической взаимопомощи», Москва, Посохин М.В., 1970 г.

«Проект первого энергоэффективного высотного здания начал осуществляться в 1972 году в Манчестере, штат Нью-Хемпшир, США архитекторами Николасом Исааком и Эндрю Исааком» [72].

Знаковые постройки того времени:

- «Тур Мэйн Монпарнас», Париж, Е. Бодуэн, 1973 г.

1975-1985 (6)	«В августе 1979 г. вблизи Гавайских островов начала работать первая теплоэнергетическая установка мини-ОТЕС. Пробная эксплуатация установки в течение трех с половиной месяцев показала ее достаточную надежность» [4].	Изменилось содержание понятия «энергоэффективность». Под ним стали понимать экономию энергии без снижения качества услуги, оказываемой с ее использованием [102].	В 1980-х годах в Европе стало формироваться положительное отношение к высотным зданиям. Логичным продолжением развития архитектуры стал переход от модернизма к постмодернизму «Большое внимание теперь уделялось интеграции высотных зданий в уже
------------------	---	---	--

			существующий городской комплекс» [62].
<p>Знаковые постройки того времени:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- «Уан Кэнада Сквер», Канару Уарф, Лондон, Цезарь Пелли и партнеры, 1984-1991 гг.;</li> <li>- «Дойче Банк», Франкфурт-на-Майне, АВВ Ханиг, Шейд, Шмидт, Бекерт, 1984 г.;</li> <li>- «Мессертум» («Эксибишн-Тауэр»), Франкфурт-на-Майне, Гельмут Ян, Мерфи/Ян, 1984 г.;</li> <li>- «Белый дом», Москва, Чечулин Д.И., 1981 г.</li> </ul> <p>Происходило продолжение экономического роста стран азиатского региона: Бангкок, Малайзия, Индонезия и Филиппины. Стремительно сокращалось количество деревень и поселений, росли и укрупнялись города.</p> <p>«С осуществлением экономических реформ 80-х годов города Китая начали «вырастать». Все самые высокие азиатские здания, построенные в 80-х годах не превышали 300-метровой отметки» [62, 90].</p>			
1986-1997 (7)	«Новый импульс развитию геотермальной энергетике на Камчатке был придан в 90-е годы с появлением организаций и фирм (АО «Геотерм», АО «Интергеотерм», АО «Наука»), которые в кооперации с	В 1990-х годах изучается проблема эффективности использования энергии с одновременным повышением качества микроклимата помещений.	«В середине 90-х годов в России была выдвинута идея создания бизнес-центра Москва-Сити, основанная на американской модели» [62]. Знаковые постройки того времени: - «Ллойд оф Ландон», Лондон, Ричард Роджерс, 1986 г.; <li>- «Фэнчэч-стрит»,</li>

	<p>промышленностью (прежде всего с Калужским турбинным заводом) разработали новые прогрессивные схемы, технологии и виды оборудования по преобразованию геотермальной энергии в электрическую» [54].</p> <p>Утверждение ВСН 56-87.</p> <p>«Геотермальное телохладоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений».</p>		<p>Лондон, Терри Фаррелл, 1987 г.;</p> <p>- «Большая Арка» (район «Ла Дефанс»), Йохан Отто фон Спрекельсен, Париж, 1989 г.;</p> <p>- «Кроненчочхаус», Франкфурт-на-Майне, KPF / Найджел Хофман, Тьедеман, 1993 г.;</p> <p>- «Коммерц Банк», Франкфурт-на-Майне, Фостер и партнеры, 1997 г.</p> <p>- «Банк оф Чайна», Гонконг, 1989 г.</p>
<p>1998-2007 (8)</p>	<p>«В 1999г. на Камчатке была введена Верхне-Мутновская ГеоТЭС (три модуля по 4 МВт.).</p>		<p>Знаковые постройки того времени:</p> <p>- «Суис Ре Хэдкуртез, Мэри Экс, 30», Фостер и партнеры, Лондон, 2003 г.;</p>

	<p>Вводится первый блок 25 МВт. первой очереди Мутновской ГеоТЭС суммарной мощностью 50 МВт» [54].</p>		<p>- «Ориентал Перл» ТВ-Башня, Шанхай, 1998 г.;</p> <p>- «Башни Петронас», Куала-Лумпур, Цезарь Пелии, 1998 г.;</p> <p>- «Майн Тауэр», Франкфурт-на-Майне, 2000 г.;</p> <p>- «Энергоэффективный жилой дом в микрорайоне Никулино-2», Москва, 1998-2002 гг.</p>
2008-2014 (9)	<p>«28 мая 2013 года было подписано постановление № 449, прописывающее механизм стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке, явно оживившее ситуацию вокруг инвестиций в «зеленую» энергетику в России» [7].</p>	<p>«В основе концепции проектирования современных энергоэффективных зданий лежит идея того, что качество окружающей нас среды оказывает непосредственное влияние на качество нашей жизни как дома, так и на рабочем месте или в местах общего пользования, составляющих</p>	<p>Знаковые постройки того времени:</p> <p>- «Бурж Халифа», Дубай. ОАЭ, 2010 г.;</p> <p>- «Штаб-квартира инвестиционного Совета» в Абу-Даби. ОАЭ. 2012 г.;</p> <p>- «Башня Страта» (Башня «Лезвие»), Лондон. Великобритания, 2010 г.;</p> <p>- «Башня Жемчужной Реки», Гуанчжоу, Китай. 2011 г.;</p> <p>- «Бухта Ириса», Дубай, ОАЭ, 2014 г.:</p> <p>- начато строительство «вертикального леса в</p>

	<p>«Президент РФ Владимир Путин 4 августа 2014 года принял участие в церемонии ввода в эксплуатацию Кош-Агачской солнечной электростанции (Республика Алтай). Мощность Кош-Агачской СЭС составляет 5 МВт, что достаточно для бесперебойного снабжения электроэнергией трех муниципалитетов. До настоящего времени, мощность установленных на территории РФ систем солнечной генерации в сумме не превышала 2 МВт» [58].</p>	<p>основу наших городов» [73, 5].</p>	<p>Милане», Милан, Италия, 2014 г.</p>
<p>2015-2020 (10)</p>	<p>«Согласно планам правительства, к 2020 году</p>	<p>Концепция будущего высотных зданий зависит от</p>	<p>Высотные здания, ввод в эксплуатацию которых намечен на ближайшие</p>

(прогнозы)	<p>суммарная мощность солнечных электростанций должна быть доведена до 1,5 ГВт. Это отвечает общемировым тенденциям. В частности, в 2013 году в мире было введено в эксплуатацию свыше 35 ГВт солнечной генерации, а в текущем году планируется построить еще 49 ГВт. Сетевые солнечные электростанции мощностью от 5 до 25 МВт уже проектируются в Оренбургской, Саратовской, Ростовской, Омской областях, в</p>	<p>ВИЭ. Исходя из текущих тенденций можно прогнозировать развитие технологий в сторону увеличения КПД энергоустановок. Внедрение гибридных систем, включающих взаимодополняющие элементы. Решается проблема диверсификации энергосистемы,</p>	<p>годы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- «Башня-игла», Тайвань. Китай, 2015 г.;</li> <li>- «Башня Золотого побережья», Мельбурн. Австралия. 2016 г.;</li> <li>- «Танцующие драконы», Сеул, Корея;</li> <li>- «Лови момент», Париж, Франция;</li> <li>- «Бандра Ом», Мумбаи, Индия;</li> <li>- «Чистящий небоскреб», Сантьяго, Чили;</li> <li>- «Штаб-квартира корпорации PNC», Питтсбург, США;</li> <li>- «Небоскреб из соломинок», Стокгольм, Швеция.</li> </ul>
------------	---	---	--

	Республике Башкортостан и Республике Алтай» [46].		
--	--	--	--

История развития высотных зданий и возобновляемых источников энергии сопоставима по своим хронологическим рамкам. Отправной точкой развития можно считать конец XIX века (1880-е гг.), в это время были созданы первые опытные образцы энергогенераторов и новый тип зданий, который впоследствии получил название «небоскребы». До 1970-х гг. эти два направления не пересекались. Запроектированные и построенные энергоустановки являлись техническими приспособлениями, а не полноценными зданиями.

В 1973 – 1974 годах наступил энергетический кризис, страны-экспортеры нефти перестали ее поставлять на западные рынки, одновременно подняв цены на этот энергоноситель. Европейские страны отреагировали на это увеличением внимания к сфере энергосбережения, включая это аспект в проектировании зданий. «Специалисты Международной энергетической конференции ООН (МИРЭК) заявили о том, что современные здания обладают огромными резервами повышения их тепловой эффективности, но исследователи недостаточно изучили особенности формирования их теплового режима, а проектировщики не умеют оптимизировать потоки тепла в зданиях» [73].

Направление развития энергосберегающих зданий появилось как следствие кризиса, оно продолжило свое существование и после преодоления негативной фазы в развитии энергетики. «С течением времени изменялся и расширялся объект изучения — эффективность использования энергии в здании» [73]. Условно можно разделить изменение объекта изучения на следующие этапы:

— конец 1980-х годов – принципы и технологии, позволяющие экономить энергию;

— середина 1990-х годов – возможности эффективного использования энергии;

— конец 1990-х – начало 2000-х годов – качество микроклимата помещений доминирует над идеей энергосбережения.

«В основе концепции проектирования современных зданий лежит идея того, что качество окружающей нас среды оказывает непосредственное влияние на качество нашей жизни как дома, так и на рабочем месте или в общественных пространствах, составляющих основу наших городов» [73].

Таким образом, предпосылка более экономно и совершенно использовать энергоресурсы за сорок лет (с 1974 по 2014 гг.) превратилась в исходный пункт рассуждения о необходимости создания связи объектов человеческой жизнедеятельности (в т.ч. зданий и сооружений) с природной средой. Это положение, в дальнейшем, легло в основу таких направлений в архитектуре как бионика, биоклиматическая архитектура, аркология и т.д. Помимо перечисленных предпосылок (энергетической и экологической) важнейшую роль в появлении высотных зданий сыграли экономика и техника.

Экономическая предпосылка, желание получить при минимальной площади застройки максимальную общую площадь здания, является одной из основ появления высотного строительства. Высотное здание представляет собой консолидированную, единую систему, которая включает в себя одну или несколько «якорных» функций, второстепенные функции и сопутствующие элементы обслуживания. Уменьшается необходимость строительства дополнительных сооружений, для размещения мелких арендаторов; экономится время человека, если место проживания и приложения труда находятся в одном объекте.

Высотное здание – экономически целесообразный объект, главным его минусом всегда были высокие затраты за потребление энергоресурсов. С началом внедрения ВИЭ и энергоэффективных систем, данный недостаток стал постепенно уменьшаться. Целесообразность возведения объекта диктовалась не только размером участка и набором функций, но также технологиями и материалами, которые использовались при строительстве. Здесь возникает четвертая предпосылка появления высотных зданий – техническая.

Первое высотное здание «Хоум Иншуранс Билдинг» (10 этажей, высота 55 метров) было построено в Чикаго в 1885 году (рисунок 1). Город стал застраиваться подобными объектами после пожара 1871 г., который уничтожил значительную его часть. Единственными вертикальными коммуникациями в высотных зданиях были лестницы, электрическое освещение отсутствовало. В городской застройке их отличали значительные размеры, не только высота, но также и глубина корпуса. В середине XIX века были освоены новые технологии в строительстве: системы вентиляции и электрического освещения, Э. Отисом был изобретен лифт. «Завершение строительства зданий из кирпича связано со строительством 16-этажного кирпичного здания «Монаднок Билдинг» в 1891 году в Чикаго (см. рисунок 1). Попытка авторов превысить этажность здания, используя традиционную перекрестно-стеновую конструктивную систему, привела к тому, что толщина стен первого этажа по разным литературным источникам достигала от двух до четырех метров» [10]. В конце XIX века началось активное освоение производства конструкций из стали, произошло внедрение каркасной системы. Это позволило уменьшить толщину стен, увеличить этажность зданий, сделать большую часть внутреннего объема полезной. Все эти технологии позволили удешевить возведение зданий и увеличить их высоту.

История строительства показывает значимость технической составляющей при проектировании, возведении и эксплуатации высотных зданий. Без развития строительных материалов невозможен был бы сам факт существования подобных построек. Высотное здание – более сложный объект, чем многоэтажное, что обусловлено комплексом применяемых в нем технологий. Это доказывает важную роль технической предпосылки в появлении данного типа объектов.

Проведенный анализ показал, что высотные здания появились в результате синтеза нескольких факторов. Каждый из них по-своему отразился на развитии данного типа зданий, делая его все более многокомпонентным. В процессе формирования высотных зданий значимость каждой из вышеперечисленных предпосылок выходила на первый план в разное время. В начале развития это

были экономическая и техническая предпосылки, в дальнейшем к ним добавились энергетическая и экологическая.

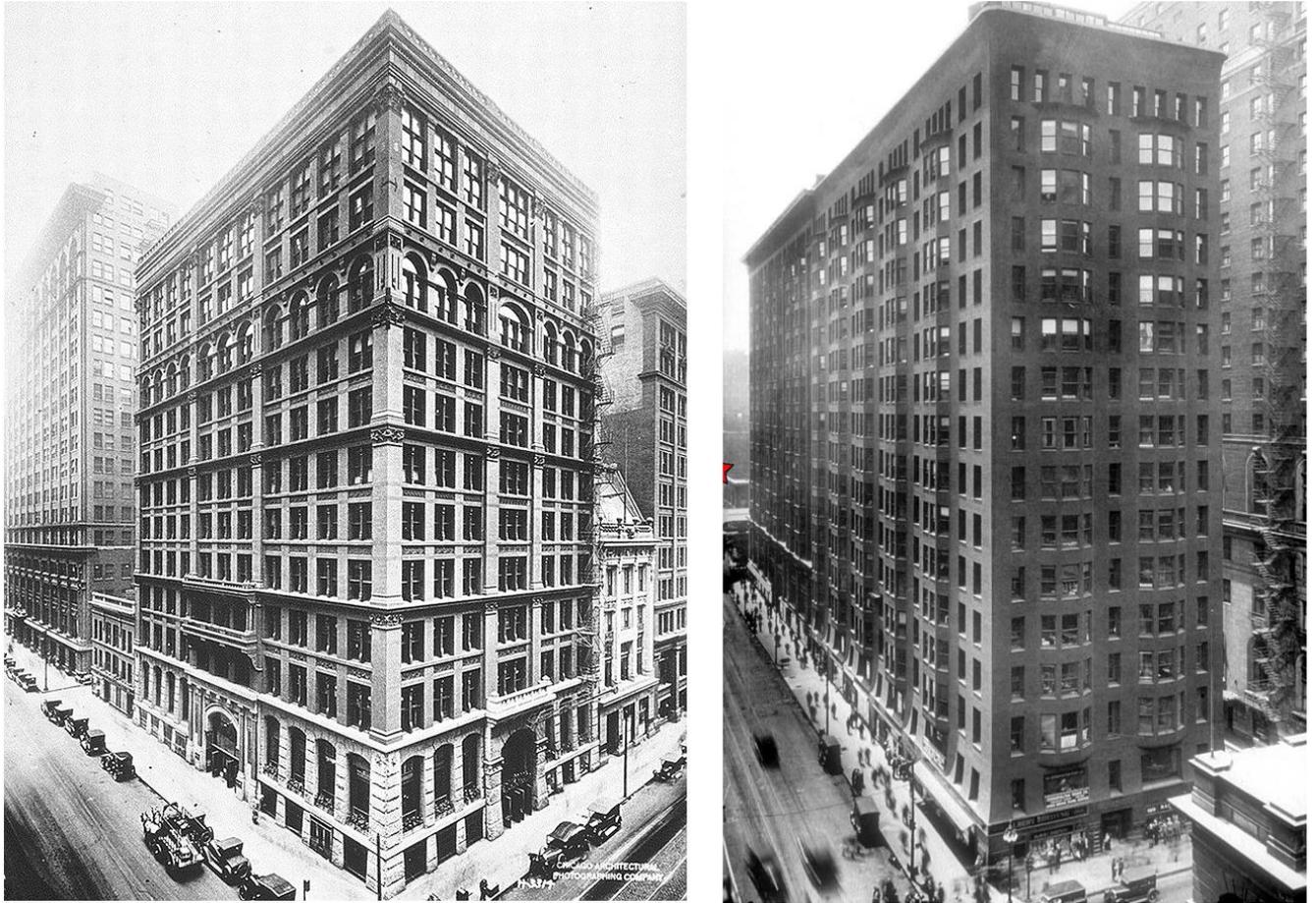


Рис. 1. Общий вид зданий «Хоум Иншуранс Билдинг» и «Монаднок Билдинг»

Источник:

[http://classconnection.s3.amazonaws.com/741/flashcards/486741/jpg/lecture\\_06\\_img\\_40.jpg](http://classconnection.s3.amazonaws.com/741/flashcards/486741/jpg/lecture_06_img_40.jpg),

[http://im.kommersant.ru/Issues.photo/CORP/2013/08/09/КМО\\_111307\\_02387\\_1\\_t210.jpg](http://im.kommersant.ru/Issues.photo/CORP/2013/08/09/КМО_111307_02387_1_t210.jpg)

В настоящее время, идет процесс внедрения технологий, основанных на возобновляемых источниках энергии. Он обусловлен истощением традиционных источников энергии и сочетает в себе все предпосылки, объединяя их и наполняя новым значением, актуальным для решения задач современности.

## 1.2. Анализ существующего состояния проектирования и строительства высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии

Существуют понятия альтернативная и возобновляемая энергетика. Первая объединяет источники энергии, которые составляют альтернативу традиционным (газ, уголь, нефть). Их спектр весьма широк, от «классических» солнца и ветра, до «необычных»: энергии молнии, торнадо и гигантских воздушных змеев [45]. Вторая имеет более четкие рамки и состав. Под возобновляемыми источниками понимают: энергию солнца, ветра, биомассы, приливную и гео-, гидротермальную (рисунок 2). В данной работе мы будем рассматривать именно эти 5 источников, которые официально определены в Федеральном законе от 26.03.2003 N 35-ФЗ (с изменениями на 21 июля 2014 года) «Об электроэнергетике» [75].

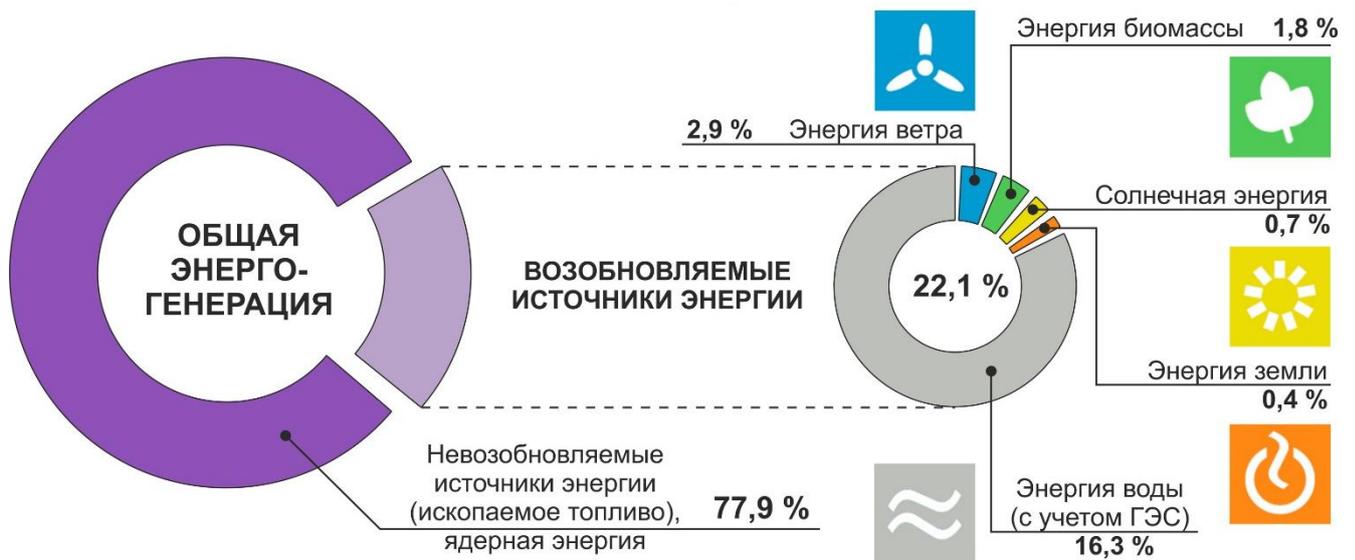


Рис. 2. Доля ВИЭ в энергогенерации в мире за 2013 год

«Использование ВИЭ в России имеет длительную историю. Так, в начале XX века их доля в общем топливно-энергетическом балансе страны достигала 90%, причем около 40% приходилось на дрова, около 20% — на ветер и столько же — на торф» [12]. В последующие периоды жизни страны происходило массовое строительство заводов и предприятий, рост городов, энергопотребления в целом, что обусловило необходимость разработки и газовых, нефтяных и угольных месторождений. В настоящее время количество энергии, вырабатываемой

установками, работающими на ВИЭ, составляет менее 1 % в общем энергобалансе России.

«Согласно классическим представлениям о возобновляемой энергетике первичных (исходных) ВИЭ всего три: энергия Солнца, Энергия земли и энергия орбитального движения нашей планеты в солнечной системе» [52]. Далее происходит естественное преобразование энергии посредством таких процессов как приливы и отливы, таяние льдов, испарения, осадки, нагрев земли и атмосферы и ряд других. С помощью технических средств, например, гидроэлектростанции, тепловые насосы, солнечные коллекторы, энергия трансформируется в один из трех итоговых видов. Самый распространенный – электроэнергия, на втором – тепловая, и третий вариант – топливо, что характерно для преобразования биомассы (рисунок 3).

Тем не менее, далее будет рассматривать 5 источников: солнце, ветер, земля, вода, биомасса. Остановимся на каждом более подробно.

1. Солнечная энергия. Один из наиболее доступных и экономически рациональных ВИЭ. Современные энергоустановки способны преобразовывать солнечную энергию в электрическую или тепловую как в ясную, так и в пасмурную погоду (но с меньшим КПД). Использование энергии солнца целесообразно не только в районах с большим количеством солнечных, но и со средней величиной последних. В этом случае большей отдачи можно добиться используя инженерное оборудование для теплоснабжения.

2. «Ветер, или перемещение масс относительно поверхности Земли, возникает вследствие неравномерного распределения атмосферного давления и обусловлен особенностями формирования температурного режима различных регионов. Ветер как энергетический фактор представляет собой производную от солнечной энергии, является носителем механической (кинетической) и тепловой энергии» [84].

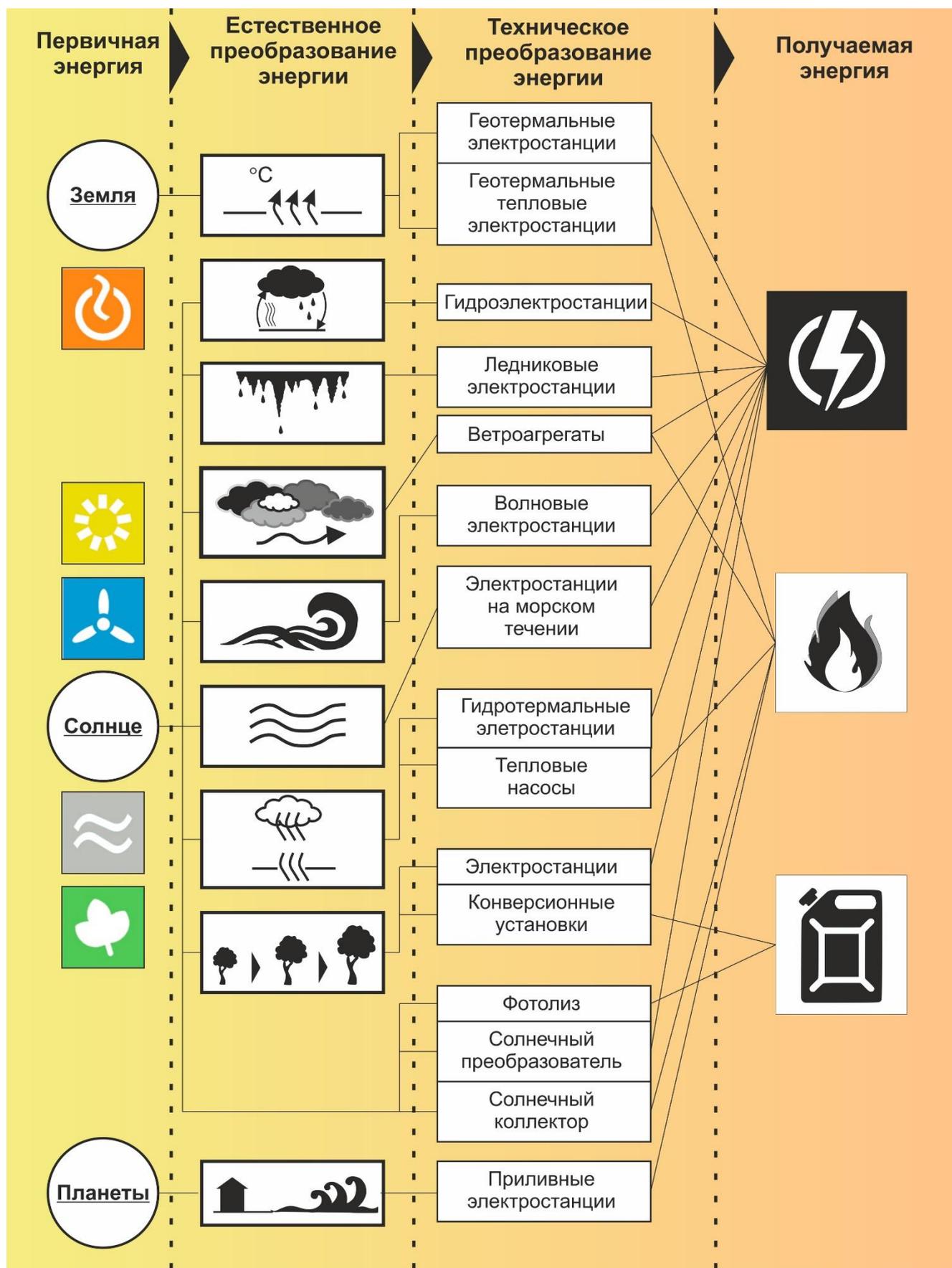


Рис. 3. Виды возобновляемых источников энергии

3. Энергия воды. «По оценкам [82] энергетический потенциал гидросферы (совокупность водных масс океанов, морей, рек и озер) почти в 2 раза превышает уровень современного потребления энергии в мире. В настоящее время используются лишь доли этой энергии, в связи с тем, что такая энергетика до сих пор считалась малоперспективной» [67].

4. Энергия земли. «Ресурсы геотермальной энергии разделяются на гидротермальные (подземные воды, пар и пароводяные смеси) и петротермальные (энергия раскаленных горных пород). Потенциал первых может быть реализован в районах вулканизма и разломов земной коры, энергия второй группы, заключенная в твердых "сухих" горячих породах, составляет около 99% от общих ресурсов подземной тепловой энергии» [56]

5. «Энергия биомассы включает в себя природные и специально выращенные растения и леса (дрова), отходы животноводства, птицеводства, растениеводства, отходы перерабатывающей пищевой промышленности. Особым видом биомассы являются твердые бытовые отходы, сточные воды городов и населенных пунктов, специально выращиваемые водоросли» [52].

«До недавнего времени из-за огромных запасов традиционного энергетического сырья, вопросам развития использования ВИЭ в энергетической политике России уделялось сравнительно мало внимания. В последние годы ситуация стала заметно меняться, в связи с ограниченностью топливных ресурсов на Земле, а также с нарастанием изменений в атмосфере и биосфере планеты появилась необходимость постепенного перехода на ВИЭ» [18].

Проектирование высотных зданий с ВИЭ началось с середины 1970-х годов. Для выявления основных тенденций необходимо рассмотреть знаковые проекты и здания, которые были новаторскими для своего времени.

Проект первого энергоэффективного здания начал осуществляться в 1972 году в Манчестере, штат Нью-Хемшир, США. Авторы – архитекторы Николас Исаак (Nicholas Isaak) и Эндрю Исаак (Andrew Isaak). Это было федеральное 6-этажное здание общей площадью 16350 м<sup>2</sup>, с подземной двухъярусной автостоянкой.

В этом здании было применено большое количество энергоэффективных технологий, таких как рекуперация тепла, интеллектуальная система искусственного освещения и ряд других [68]. Объемно-пространственное решение здания представляло собой прямоугольный параллелепипед со скошенными углами (рисунок 4). Крыша здания была плоской, и выступала относительно основного объема сооружения. На ней были расположены солнечные коллекторы.

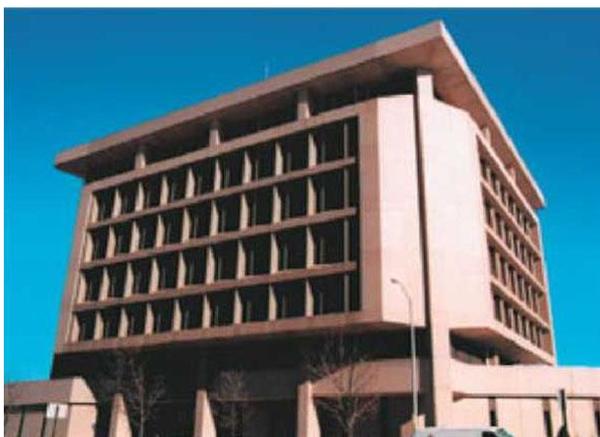


Рис. 4. Первое энергоэффективное здание в Манчестере, штат Нью-Хемшир,

Источник: <http://www.els35.ru/assets/images/b1.jpg>

Попытки использовать солнечную энергию применялись и намного раньше. Первые проекты гелиоактивных зданий появились в 30-40-х гг. XX века. Среди удачных примеров можно отметить павильон «Дом завтрашнего дня» на выставке в Чикаго. Автором является Джордж Кек, который уже в 1933 году экспериментировал с идеей энергопассивных солнечных домов. В 1980-х годах проектировались здания с гелиоколлекторами: «Солнечный дом Михельсона» (СССР), «Солнечный дом Селиванова» (СССР), «Масаносукэ Янгимачи» (Япония) и ряд других (рисунок 6). Эти здания были первыми попытками внедрить возобновляемые источники энергии в объемно-планировочное решение объекта. В 1981 году был зарегистрирован патент SU 1262016 A1 «Многоэтажное энергоактивное здание». В нем описано 11-этажное здание с плоским солнечным коллектором, совмещенным с наклонным наружным ограждением. Этот объект можно назвать прообразом будущих высотных зданий, активно использующих энергию солнца (рисунок 5).

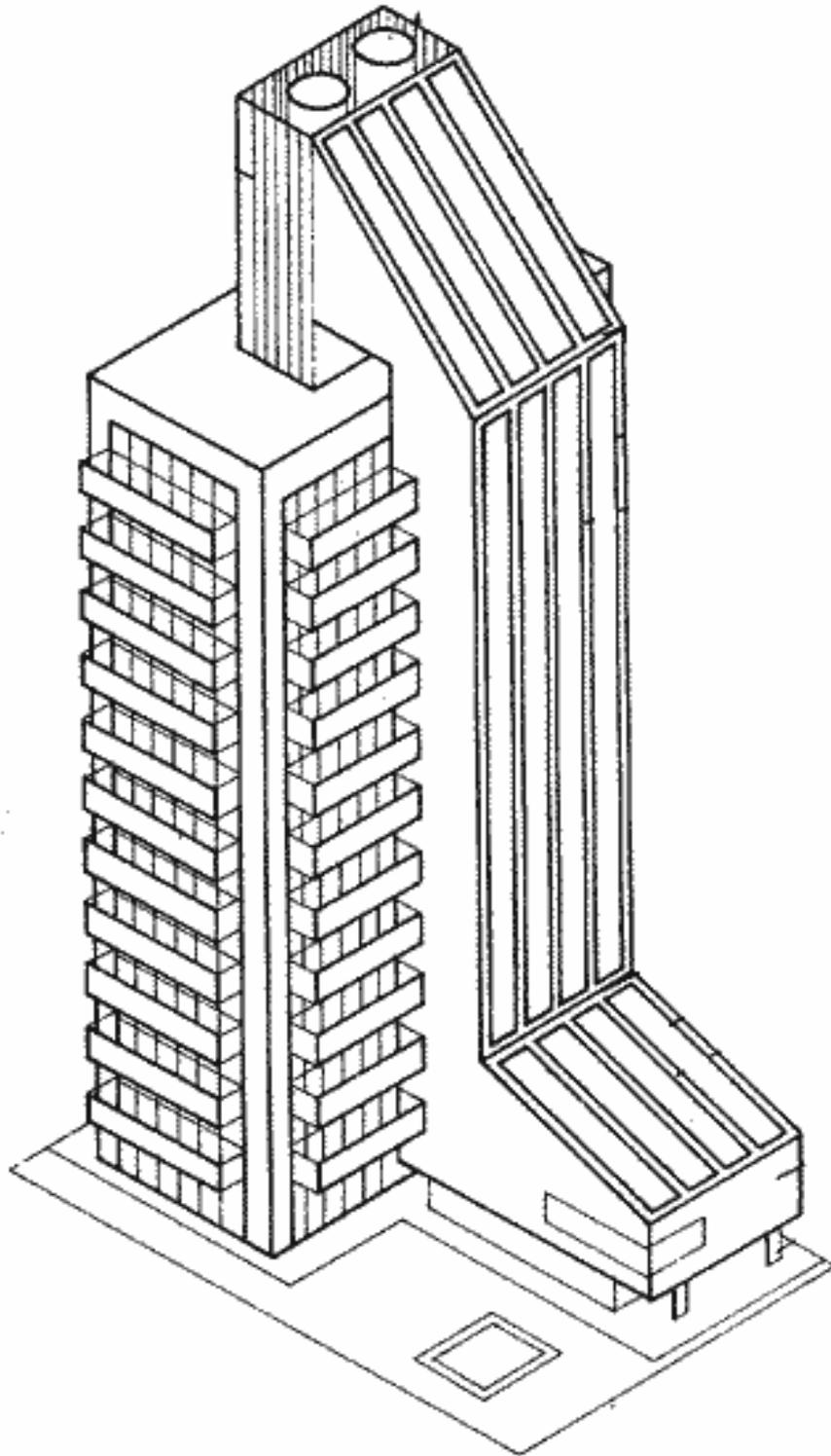


Рис. 5. Иллюстрация к патенту SU 1262016 А1  
«Многоэтажное энергоактивное здание»

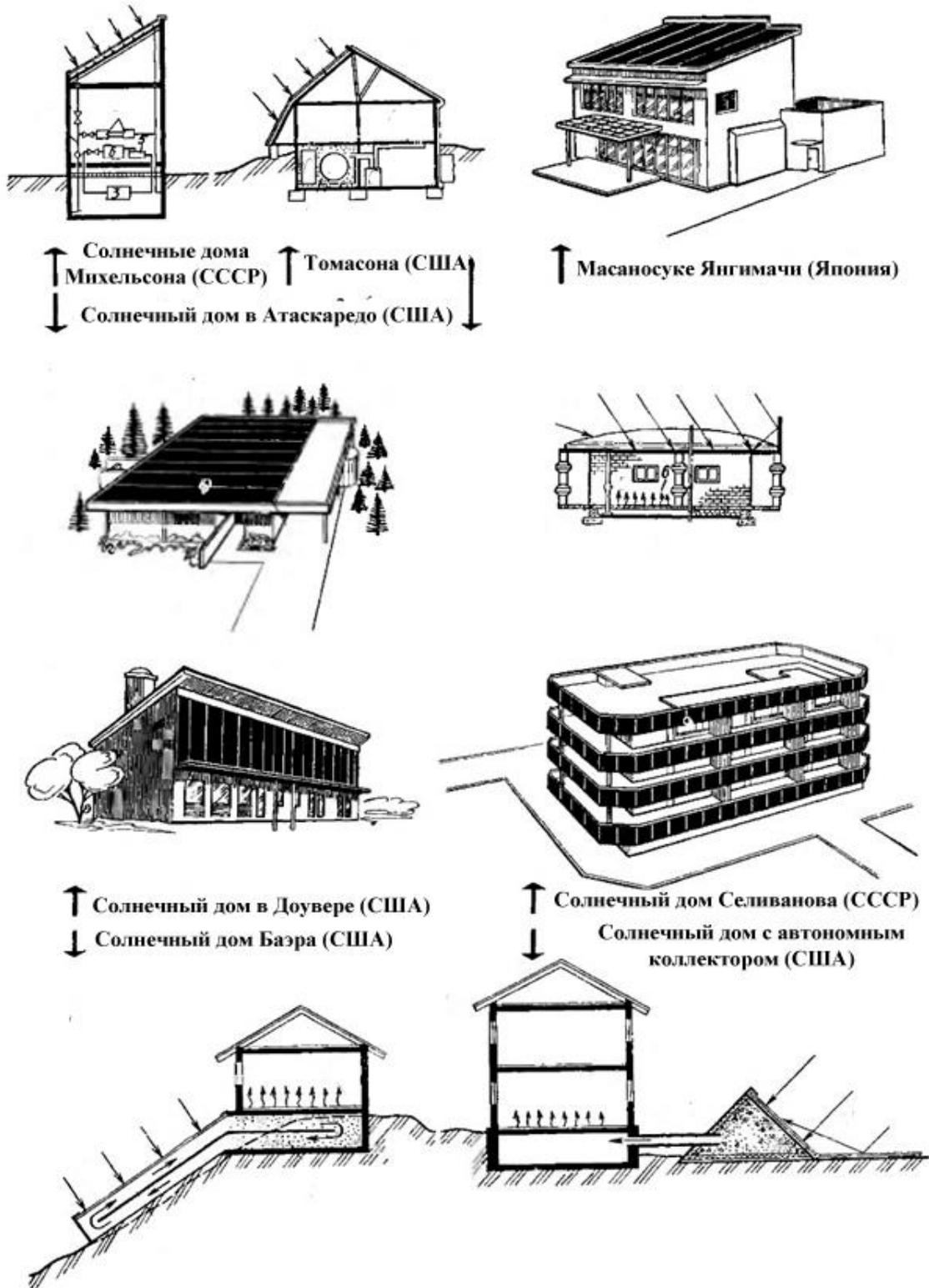


Рис. 6. Первые проекты гелиоактивных зданий

Источник: Энергоактивные здания / [Н. П. Селиванов, А. И. Мелуа, С. В. Зоколей и др.]; Под ред. Э. В. Сарнацкого, Н. П. Селиванова. - М.: Стройиздат, 1988. - 373

До конца XX века энергия ветра, воды, биомассы и геотермальная энергия вырабатывалась в основном с помощью электростанций. Это такие объекты как «Балаклавская ветроэнергостанция», «Саяно-Шушенская гидроэлектростанция», «Паужетская геотермальная энергостанция» и другие. Данные сооружения имели большое значения для развития и совершенствования сферы возобновляемой энергетики, но они являются инженерными сооружениями, поэтому их подробное рассмотрение не входит в границы исследования.

В конце XX века начался бум строительства высотных зданий. Одним из знаковых объектов стало здание «Коммерцбанк» («Commerzbank») во Франкфурте-на-Майне (1997 г.). Его высота составляет 259 метров, высота с антенной - 300 метров (24-е место в мире по высоте в то время). Здание, разработанное студией «Фостер и партнеры» («Foster and Partners»), представляет собой радикальный пересмотр всей концепции строительства высотных зданий.

«Центральная часть здания, в которой обычно располагаются лифтовые шахты, занята огромным треугольным центральным атриумом, проходящим по всей высоте здания. Каждый этаж имеет три крыла, два из которых выделены под офисные помещения, а третье является частью одного из четырехэтажных зимних садов» [71].

В этом здании уже была достигнута значительная экономия средств при эксплуатации, тем не менее, возобновляемые источники энергии еще не были внедрены.

Успешное возведение и эксплуатация «Коммерцбанка» послужили фактическим доказательством реальности постройки высотного здания более низкими издержками, чем это было ранее. Среди множества высотных зданий, запроектированных и построенных в период с 2000 по 2014 годы, можно выделить несколько самых интересных и новаторских для своего времени объектов.

В 2002 году был возведен жилой дом «Здание двадцати террас» («Twenty River Terrace»), расположенный в Нью-Йорке на берегу реки Гудзон. Общая высота

здания – 76 метров, оно включает в себя 27 этажей (рисунок 7). В доме более 280 квартир, рассчитанных на проживание 774 человек.

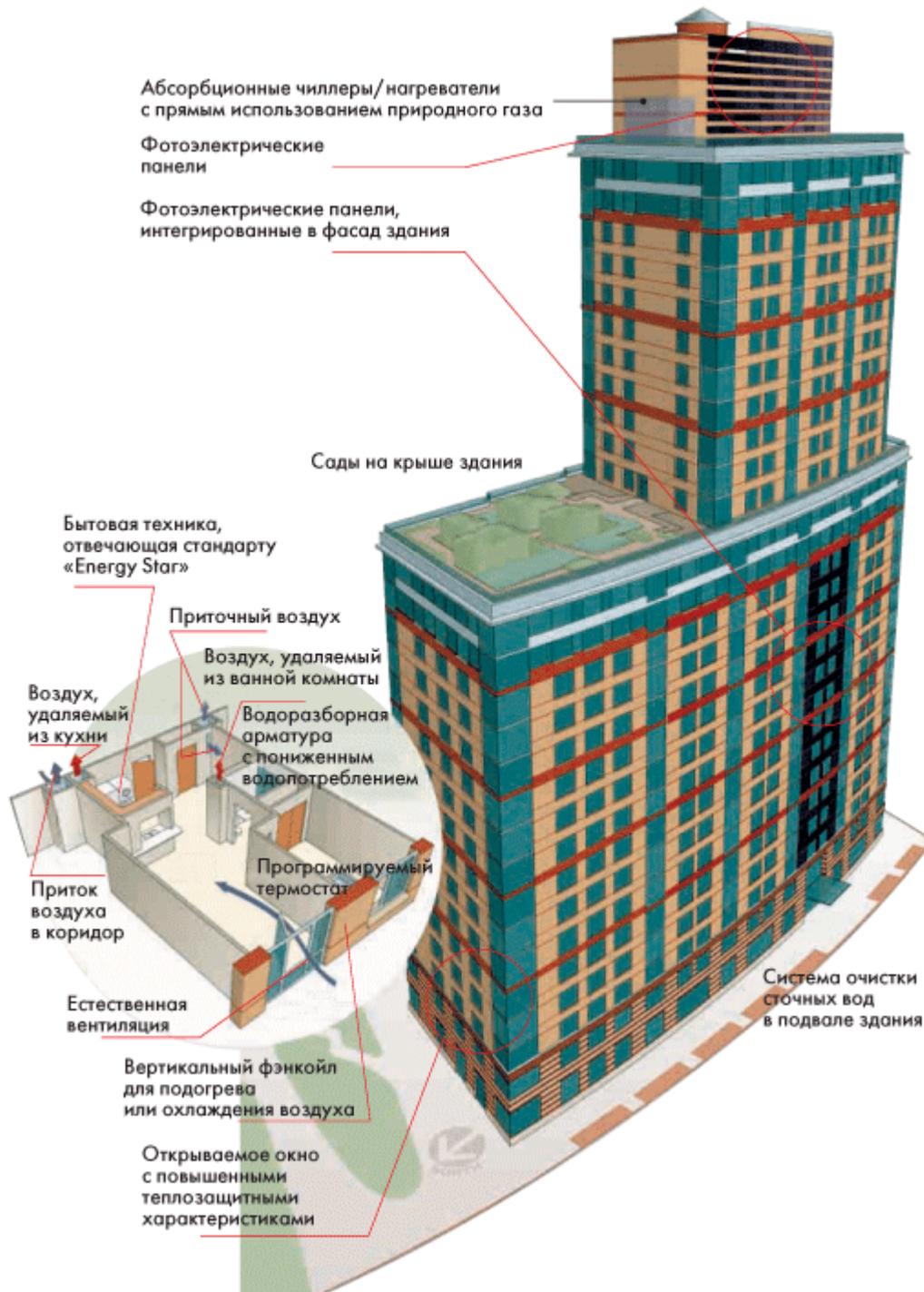


Рис. 7. Общий вид «Здания двадцати террас» и применяемых в нем технологий

Источник: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles/10/2061/1.htm](http://www.abok.ru/for_spec/articles/10/2061/1.htm)

В объекте применены фотоэлектрические панели, способные покрыть 5 % от общего расхода электрической энергии. Несмотря на скромный показатель по замещению потребляемой энергии с помощью возобновляемой энергетики,



Рис. 8. Фотоэлектр. панели, интегрированные в западный фасад «Здания двадцати террас»

Источник:

[http://www.abok.ru/for\\_sp ec/articles.php?nid=2061](http://www.abok.ru/for_sp ec/articles.php?nid=2061)

данный объектов продемонстрировал реальную возможность и пользу от внедрению подобных технологий. Фотоэлектрические панели размещены на фасаде основного 46-метрового блока и на крыше здания. Они расположены на одной из пяти групп простенков и заполняют собой все пространство со 2 до 14 этажа. При этом, геопанелями облицована часть стен здания, оконные проемы выполняют только стандартную функцию (рисунок 8). Фотоэлектрические панели создают на фасаде активный геометрический рисунок, который по цветовой гамме перекликается с цветом воды залива Гудзон.

В 2008 г. был открыт «Всемирный Торговый Центр» в Бахрейне («Bahrain World Trade Center») автор проекта – архитектурное бюро «Эткинс» («Atkins»). Каждая из двух 50-этажных башен имеет высоту 240 м. «Оба здания соединены по высоте тремя мостами длиной 31,7 м, на каждом из них закреплены ветряные генераторы электроэнергии с диаметром лопастей 29 м. Мосты имеют специальные конструкции, которые позволяют зданиям двигаться на 0,5 м по отношению друг к другу» [29]. Архитектурная форма обеих башен позволяет усилить скорость ветра, проходящего через турбины, до 30 %. Этот комплекс был первым крупным объектом, использующим масштабные ветрогенераторы. Они вырабатывают 11-15 % от годового потребления энергии (рисунок 9).



Рис. 9. «Всемирный Торговый Центр» в Бахрейне.

Источник: [http://skm.ae/img/content/projs/large/world\\_trade\\_centre\\_bhn.jpg](http://skm.ae/img/content/projs/large/world_trade_centre_bhn.jpg)

В 2009 году построен многоэтажный жилой дом в Вэст-Энде. Это многофункциональный комплекс, состоящий из 22 надземных и 5 подземных этажей. В проекте применен солнечный коллектор площадью 126 м<sup>2</sup> и четыре ветрогенератора с диаметром лопастей 3,65 метров расположенные на крыше



Рис. 10. Общий вид многоэтажного здания в Вэст-Энде

Источник:

<http://solar.calfinder.com/assets/blog/images/indigo-twelve-west.jpg>

здания (рисунок 10). «Ветрогенераторы рассчитаны на производство около 10 000 кВт·ч электроэнергии в год, что составляет 1 % от полного потребления электроэнергии офисной части здания или полное электропотребление системы лифтов и элеваторов в здании. Этот проект стал первым опытом применения ветрогенераторов на крыше многоэтажного здания, расположенного в плотной городской застройке» [39].

Следующим знаковым зданием стала «Башня Страта» («Strata Tower») в Лондоне (2010 г., автор проекта – архитектурное бюро «Фланаган Лоуренс» («Flanagan Lawrence»). Башня имеет высоту 147 метров, состоит из 42 этажей. Основной особенностью высотного здания стали расположенные в верхней части три отверстия с энергогенераторами, каждый из которых имеет диаметр 2,8 м. В целом они производят 50 МВт·ч энергии, покрывая 8 % потребностей объекта. «Встроенные турбины здания имеют пять, а не три, как это бывает обычно, лопастей, что позволяет значительно снизить уровень шума и вибрации. Аэродинамика конструкции была спланирована таким образом, чтобы ветер вращал турбины с максимальной эффективностью в течение всего года» [35]. Здание по форме напоминает электробритву. Расположенные в верхней части высотного здания отверстия позволили создать запоминающийся и легко узнаваемый силуэт объекта.

Функционально объект представляет собой жилой комплекс с торговыми площадями, парковочными местами и спортивным клубом (рисунок 11).



Рис. 11. Общий вид высотного здания "Башня Страта". Отверстие с энергогенератором в верхней части объекта

Источник: <http://www.architectofdesign.com/>

4 января 2010 года в городе Дубае (Объединенные Арабские Эмираты, ОАЭ), было открыто самое высокое здание в мире «Бурдж-Халифа» («Burj Khalifa»), архитектурное бюро «Skidmore, Owings and Merrill» («SOM»). Высота объекта составляет 818 метров, количество этажей – 162. Башня частично покрывает собственную потребность в электроэнергии (точных данных нет, на стадии проекта планировалась полная энергонезависимость). Для этого используются: ветротурбина диаметром 61 метр, расположенная в шпиле объекта, а также большое количество солнечных панелей (площадь составляет 15 000 м<sup>2</sup>), которыми облицована часть фасадов высотного здания. Гелиопанели сплошным слоем покрывают часть фасада здания, использована технология, позволяющая совмещать в оконном стекле несколько свойств одновременно. Оно способно

преобразовывать солнечный свет в электроэнергию, сохраняя прозрачность, и отражая излишки тепла для предотвращения перегрева помещений (рисунок 12).



Рис. 12. Общий вид здания «Бурж Халифа»

Источник: [http://documental.su/uploads/posts/2012-03/1332749309\\_0.jpeg](http://documental.su/uploads/posts/2012-03/1332749309_0.jpeg)

<http://i.ytimg.com/vi/cn7AFhVEI5o/maxresdefault.jpg>

Другой пример – «Башня Жемчужной Реки» («Pearl River Tower»), Гуанчжоу, КНР, архитектурное бюро «SOM», 2013 год. Она должна была стать первым энергетически автономным высотным зданием [50]. В здании используется большое количество различных энергогенерирующих и энергоэффективных технологий, вот некоторые из них:

- использование вентилируемого двойного фасада с механизированными жалюзи;
- широкомасштабная интеграция фотоэлектрической системы в южный фасад здания;
- ветротурбины, способные вырабатывать энергию от любых потоков воздуха, вращающиеся во всех направлениях;
- системы рециркуляции воздуха, воды;
- 50 мини-электростанций (в контуре здания), способных работать на керосине, биогазе, дизельном топливе, метане, пропане и природном газе.

В реальности объект обеспечивает себя 60 % необходимой энергии. В объемно-планировочном решении высотного здания предусмотрены отверстия, для усиления

скорости движения ветровых потоков. Благодаря этому данный объект сегодня является эталоном в аспекте собственного энергообеспечения (рисунок 13).



Рис. 13. Общий вид высотного здания "Башня Жемчужной Реки"

Источник: [http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building2340/media/media\\_19.jpg](http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building2340/media/media_19.jpg)

В настоящее время можно выделить несколько проектов высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии с высоким процентом самообеспечения энергий.

Компания «Эткинс» («Atkins») разработала для Дубаи (ОАЭ) офисное высотное здание «Маяк» («Lighthouse»). Запроектировано здание высотой 400 метров, которое будет потреблять электроэнергии на 60-65 % меньше в сравнении с объектами, имеющими сходные объемно-пространственные параметры. Это будет достигнуто применением трех ветротурбин диаметром 29 метров (мощность каждой составит 225 кВт) и 4 тыс. фотоэлектрических панелей, размещенных на южном фасаде высотного здания. Особая конструкция лопастей

ветрогенераторов позволит им приспособливаться к ветровым потокам для достижения максимального КПД. В высотном здании планируется размещение атриумов с системой вертикальных садов (рисунок 14).



Рис. 14. Общий вид здания "Маяк"

Источник: <http://www.origindesignstudio.co.uk/blog/wp-content/uploads/2011/10/lighthouse-tower.jpg>

«Бурж Аль-Таква» («Burj Al-Taqa») – башня, запроектированная для ОАЭ, немецким архитектором Экхардом Гербером высотой 322 метра (68 этажей). В ней будет реализовано несколько десятков современных технологий. Важнейшими из них являются: естественное кондиционирование помещений, как с помощью ветра с внешнего фасада, так и из центрального атриума; поступающий воздух будет предварительно охлаждаться через фильтры с морской водой; специально разработанной вакуумное остекление должно быть на 60 % эффективнее современных технологий; вращающийся экран, занимающий 1/6 часть здания, может обеспечить тень и в тоже время, на нем установлены фотоэлектрические панели, для производства электроэнергии; на вершине здания установлена ветровая турбина. Высотное здание будет потреблять на 60 % меньше энергии, чем сопоставимые с ним аналоги (рисунок 15).



Рис. 15. Общий вид здания «Бурж Аль-Таква»

Источник: <http://ecogadget.net/wp-content/uploads/2007/10/burj1.jpg>

Башня «Игла», спроектированная в Тайваньской гавани командой из I.A.Lab Тайваньского Университета. «Зеленая» башня будет использовать несколько передовых технологий: опреснение морской воды, генерацию энергии за счет ветра и солнца и переработку отходов порта. Фасад здания планируется покрыть водорослями, которые за счет солнца и кислорода будут производить биотопливо.

«Небесная деревня Бангару» - модульный гексагональный высотный комплекс-сад проект молодого архитектора Джозефина Тернер из Австралии. Основной модуль – треугольник. Формирование комплекса происходит путем комбинирования и сочетания этой формы. Она взята из-за геометрической жесткости элемента и возможности размещения в нем необходимых помещений. Для соединения модулей между собой архитектор предложила использовать крестообразные узлы, которые имеют название «паучьи сочленения». Подобная система позволяет создавать башни разной конфигурации и высоты.

Перемещение между корпусами комплекса может осуществляться по «мостам», которыми они соединены на различной высоте. Функционально высотное комплекс содержит в себе жилую, торговую, туристическую и сельскохозяйственную функции. В нем запроектированы ветроустановки и солнечные электростанции (рисунок 16).



Рис. 16. Общий вид комплекса «Небесная деревня Бангару»

Источник: <http://3trend.ru/gorod-budushhego-bez-mashin/>

Рассмотренные проекты и здания позволяют выделить тенденцию изменения объемно-пространственных решений высотных зданий при использовании возобновляемых источников энергии. Вначале своего развития это были здания простой формы, в которых были использованы энергоустановки. При этом они не были интегрированы в архитектурное решение объекта, а присутствовали как элемент инженерно-технического решения высотного объекта. С течением времени, совершенствовались технологии преобразования энергии, нарастала необходимость снижения затрат на энергообеспечения таких объектов. Это привело к тому, что в архитектуре последних проектов используются возобновляемые источники энергии как часть объемно-планировочного и художественного решений высотных зданий.

Обратимся к российскому опыту. В России сегодня нет высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии. Однако, существуют примеры многоэтажных зданий. Первым является 17-тиэтажный «энергоэффективный жилой дом в микрорайоне Никулино-2» в г. Москве, разработанный и реализованный в период с 1998 по 2002 гг. Второе – жилое здание по Красностуденческому проезду, состоящее из четырех секций по 18 этажей каждая. Это здание обладает весьма продуманными и экономически целесообразными системами отопления и вентиляции, но в нем не применяются возобновляемые источники энергии. Исходя из темы исследования рассмотрим первый объект (рисунок 17).

«Проект выполнен под научным руководством доктора технических наук, член-корреспондента РААСН Ю.А. Табунщикова и под общим руководством доктора технических наук, генерал-лейтенанта В.Ф. Аистова. Базовой серией для реализации проекта была выбрана типовая серия жилых домов 111-355 Министерства обороны России как наиболее полно отвечающая требованиям энергоэффективности с точки зрения архитектурных и объемно-планировочных решений» [8].



Рис. 17. Общий вид жилого дома в микрорайоне «Никулино-2»

Источник: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4598](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4598)

Помимо различных особенностей, связанных с характеристиками ограждающих конструкций, систем отопления и вентиляции важным для нас моментом является применение теплонасосной установки для горячего водоснабжения, использующей тепло грунта и удаляемого вентиляционного воздуха [61]. В зарубежной практике нечасто в высотном строительстве применяется оборудование, использующее энергию земли, в этом плане, это достаточно уникальный объект [28]. Применение данного возобновляемого источника оказывает влияние на планировочное решение здания, не затрагивая объемно-пространственного решения. «В результате осуществления проекта по расчетам специалистов головной научной организации НП «АВОК» удалось снизить энергопотери здания на 34%, а экономия энергии по сравнению с базовым домом составила 45,5%» [85]. В итоге экспериментальный энергоэффективный жилой дом был построен и введен в эксплуатацию в 2001 г. по адресу: г. Москва, мкр. Никулино-2, ул. Академика Анохина, д. 62.

Существуют построенные здания средней и малой этажности с возобновляемыми источниками энергии в большом количестве субъектов Российской Федерации. Чаще всего это экспериментальные постройки, дома на одну семью, например, «Активный дом» в Наро-Фоминском районе Московской области (рисунок 18). Возводятся дома высотой 2-3 этажа, с несколькими подъездами, для проживания большего числа семей (Свердловская, Курская, Новосибирская область). Данные факты свидетельствует о тенденции распространения использования возобновляемой энергетики на территории России [86].

Для выявления функционального состава и приоритетов в применении возобновляемых источников энергии было рассмотрено 55 высотных зданий и проектов. Для удобства и наглядности анализа все данные были сведены в таблицу. Были получены следующие результаты:

— наибольшую долю среди всех источников возобновляемой энергии, применяемых в высотных зданиях, занимает энергия солнца – 47,82 %, далее

ветровая энергия – 31,52 %, энергия воды – 8,69 %, геотермальная энергия – 6,52 % и энергия биомассы – 5,45 % (рисунок 19);



Рис. 18. Общий вид «активного дома» в Подмоскowie  
Источник: <http://greentrends.ru/1st-aktivniy-dom-v-rossii/>

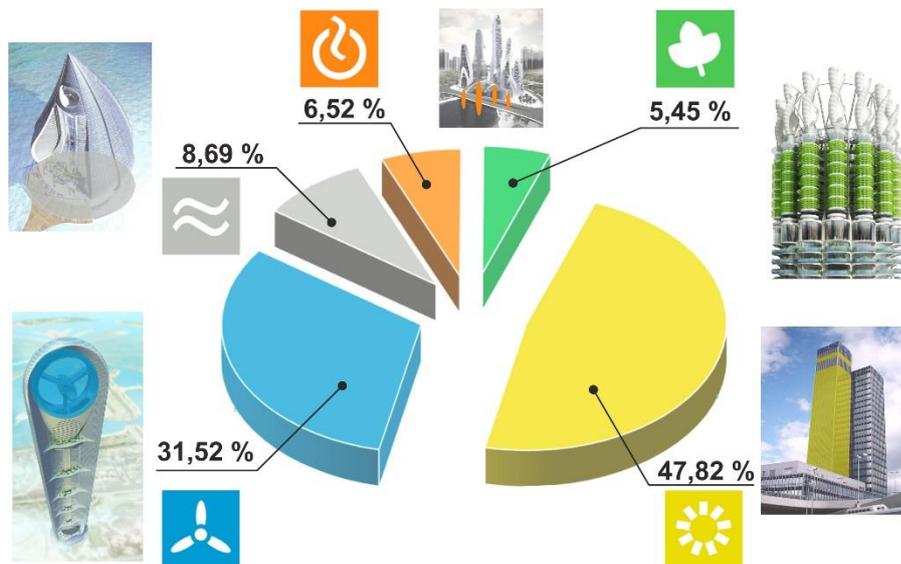


Рис. 19. Процентное соотношения применения ВИЭ в высотных зданиях

— для выявления взаимосвязи функционально-планировочного решения высотного здания и выбора ВИЭ определен их функциональный состав: многофункциональные здания – 70 %, офисная функция – 17 %, жилая – 10 %, гостиничная – 3 %. Определены доля и частота применения функций в группе многофункциональных объектов [40]. Можно выделить основные функции, такие как жилая, офисная, торговая, гостиничная, которые занимают 73,3 % от общего количества. Второстепенные функции: общественное питание, с/х фермы и

лаборатории, рекреация, выставки и спортивно-оздоровительная функция в целом составляют 26,7 % (рисунок 20).

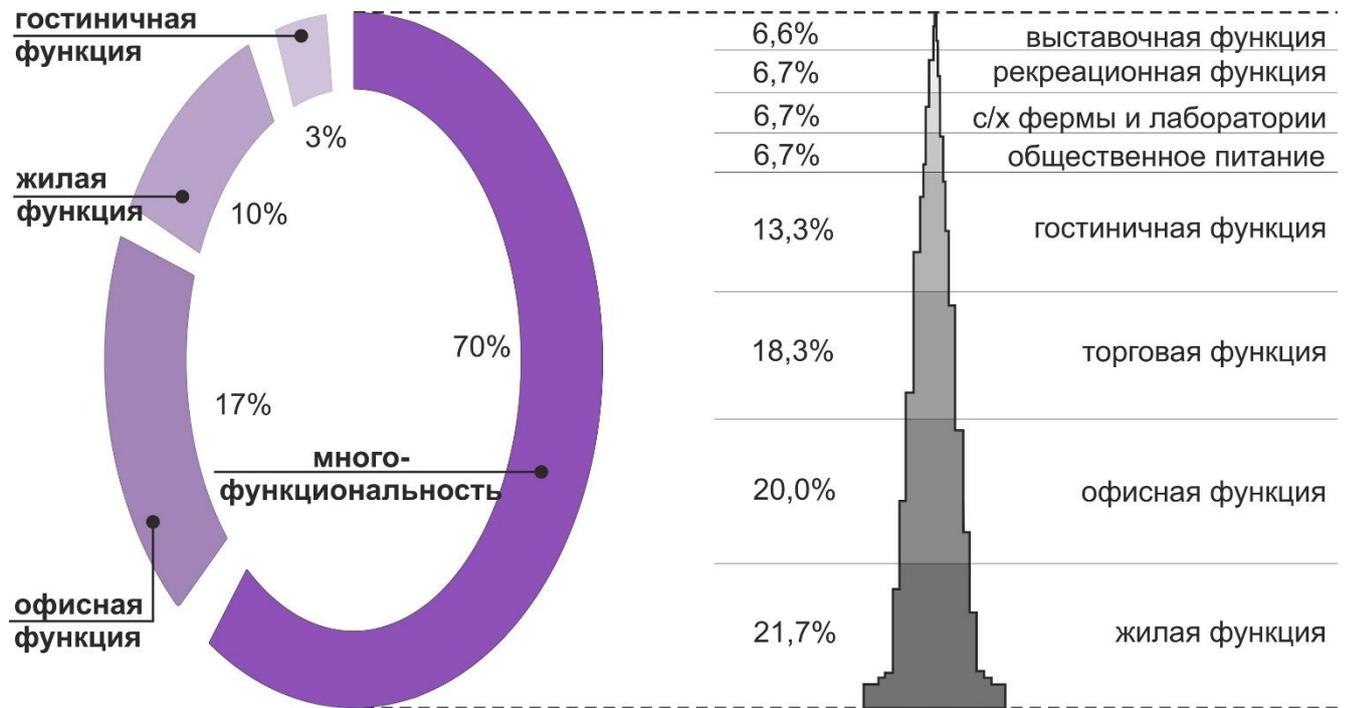


Рис. 20. Соотношение существующих функций в высотных зданиях. Доля и частота применения функций в многофункциональном объекте

### 1.3. Основные тенденции и актуальные проблемы в проектировании и строительстве высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии

Высотные здания, в силу своего масштаба, часто критикуются, что порождает в обществе массу обоснованных и не очень «мифов» об их характеристиках, системах, здоровье людей, находящихся в них. Исходя из анализа зарубежного и отечественного опыта проектирования и эксплуатации высотных зданий, были выделены актуальные тенденции и проблемы [14]:

1. **Высокое энергопотребление.** Энергопотребление высотных зданий сопоставимо с обеспечением энергией небольшого населенного пункта. Здание «Страховой компании КНР» («Headquarter of China Insurance Group») расходует 4 166 т.у.т. в год, «Коммерцбанк» («Commerzbank») - 5 380 т.у.т. / год, «Башня Сирс» («Sears Tower» / «Willis Tower») - 10 411 т.у.т. / год, «Бурж Халифа» («Burj-Khalifa») - 53 801 т.у.т. / год. Для сравнения энергопотребление малого города

(например, Ярцево) – 108 877 т.у.т. / год, крупного города (Смоленск) – 1 905 000 т.у.т. / год, крупнейшего города (Москва) – 28 239 000 т.у.т. / год (рисунок 21).

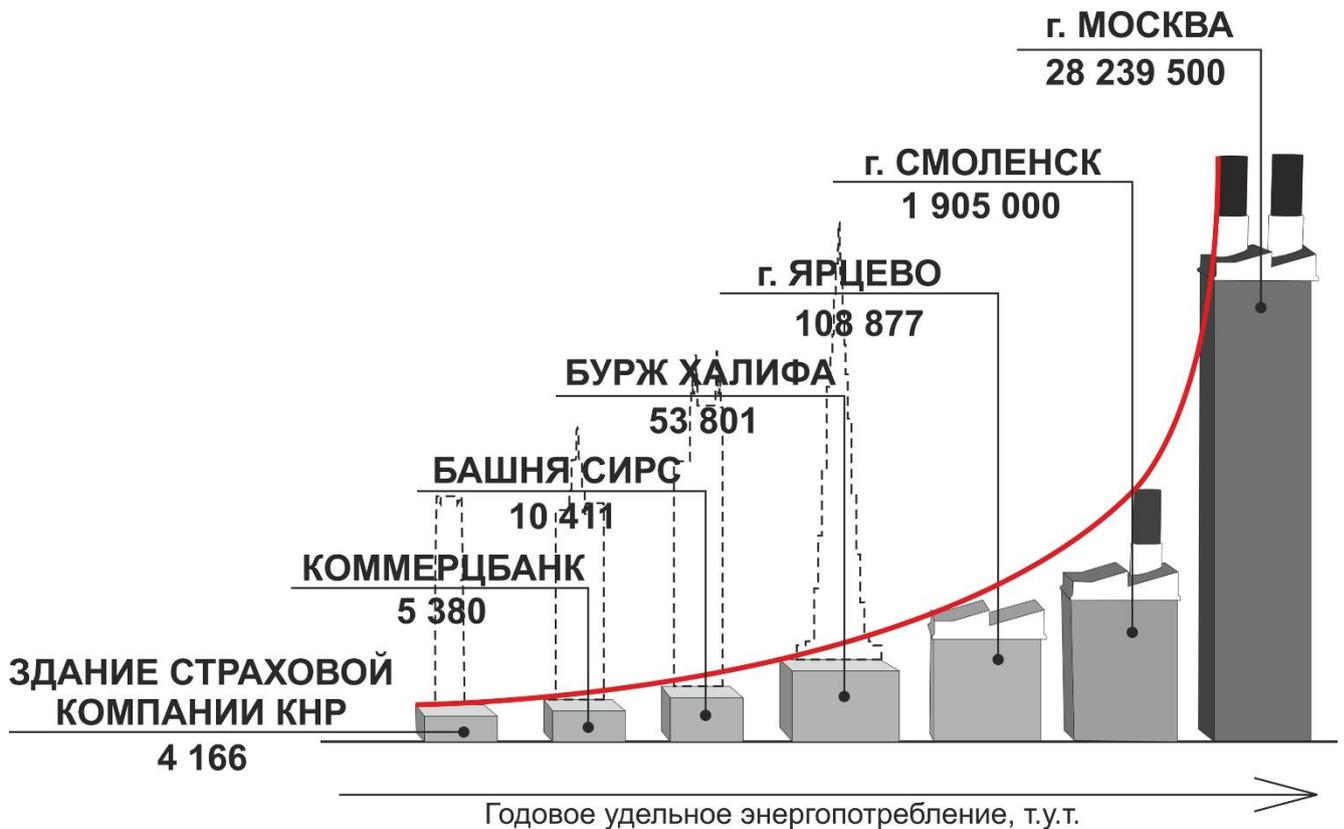


Рис. 21. Сравнение энергопотребления высотных зданий и городов

Данные свидетельствуют о том, что современные высотные здания фактически становятся «вертикальными городами», приближаясь по объему потребляемых ресурсов к обычным городам. Решением этой проблемы может стать внедрение технологий, использующих возобновляемые источники энергии, а также систем, позволяющих снизить энергопотребление (рекуперация тепла, использование двойного фасада, интеллектуальные системы освещения и климат-контроля) [42].

**2. Пожаротушение и эвакуация людей.** В связи с увеличивающейся год от года высотой объектов, существует проблема быстрой и надежной эвакуации людей. С момента появления высотных зданий решения для данной задачи постоянно совершенствуются. Традиционными решениями являются: устройство незадымляемой лестницы, лифта для доставки пожарных подразделений с отдельной системой энергоснабжения [78]. «Узким» моментом является необходимость подачи воды на верхние этажи. Частично эта задача решается с

помощью вертолетов, самолетов, и усовершенствования пожарных машин. В последние годы нередко в верхней части объекта предусматривается внушительный резервуар с водой, которая в случае пожара оперативно может быть подана на нужный этаж. Еще одним из вариантов является создание противопожарных этажей, где верхнее и нижнее перекрытия обладают повышенной огнестойкостью, т.е. создание зоны безопасности. В современных высотных зданиях устраиваются зоны безопасности через каждые 20-30 этажей. Перекрытия, между которыми они располагаются, выдерживают воздействие высоких температур до 2 часов. Этого времени достаточно для устранения основных очагов пожара и эвакуации людей.

Существуют экспериментальные разработки, предусматривающие самостоятельную эвакуацию человека с помощью индивидуальных спасательных устройств: канатно-спускное устройство, различного вида и конструкции кошки и присоски (рисунок 22). Основная проблема состоит в сложности самостоятельного использования подобных приспособлений людьми, особенно в экстремальных ситуациях.



экстремальных ситуациях.

Рис. 22. Индивидуальное спасательное устройство «Моноспас»

Источник: [http://www.samospas.ru/fotos/img-album/monospas/monospas\\_07.jpg](http://www.samospas.ru/fotos/img-album/monospas/monospas_07.jpg)

### **3. Негативное влияние пребывания в высотном здании на здоровье человека.**

«Архитектурное пространство жилища во многом определяется психофизиологическими особенностями организма человека» [24]. Этажность здания, его объемно-планировочное решение, площади и высота помещений, связь квартир с природным окружением через окна или посредством устройства балконов и лоджий — везде важны аспекты восприятия среды человеком.

Существуют отечественные исследования по определению влияния пребывания человека в высотном здании на его психофизиологическое состояние:

— «ЛенНИИпроект» (научно-исследовательский и проектный институт по жилищно-гражданскому строительству) в 1970-1980-х годах XX века провел полный статистический анализ негативных воздействий пребывания человека в высотном здании на основании медицинских карт. Был определен перечень и частота самых распространенных заболеваний. С 1980-х годов по настоящее время результаты исследований засекречены и проходят под грифом «для служебного пользования»;

— «ЦНИИЭП жилища» (центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий) с 1960-х по 1980-е гг. XX века также проводил исследования, основами которых были наблюдения за людьми, находящимися в высотных зданиях, а также периодические опросы населения. Результаты исследований частично рассекречены, в той части, где отсутствует значимый фактический и статический материал.

Таким образом, данные о состоянии здоровья людей в высотных зданиях накоплены и систематизированы, но находятся в закрытом доступе. Обратимся к зарубежному опыту.

За рубежом около 15-20 лет назад был введен термин «синдром «больного» здания» («Sick Building Syndrome»), чтобы описать состояние, когда человек заболевает, просто находясь в высотном здании (таблица 2).

Таблица 2

#### Воздействия «больных зданий» на здоровье и жизнь человека

Симптомы	Причины	Возможные решения
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Головная боль;</li> <li>— тошнота;</li> <li>— стрессовое состояние;</li> <li>— боль в горле;</li> <li>— приступы астмы;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Плохой (недостаточный) тепловой, визуальный и звуковой комфорт;</li> <li>— нехватка дневного</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— естественное дневное освещение;</li> <li>— качественная вентиляция и кондиционирование;</li> </ul>

— агрессия и повышение уровня преступности	света; — отсутствие связи с природной средой; — отсутствие зеленых насаждений в общественных пространствах	— использование нетоксичных материалов; — виды из окон на природные объекты; — озеленение внутри здания
--	--	---

В результате анализа и обобщения данных о психофизиологическом состоянии людей в высотных зданиях, а также мероприятиях, способных его улучшить, разработана таблица. Она представляет собой актуализированную и расширенную версию «синдрома «больного» здания» 20-летней давности. Добавилась графа «время пребывания», которая в зависимости от длительности нахождения человека в высотном здании позволяет дифференцировать различные симптомы плохого самочувствия, выбрать пути купирования подобных состояний. Необходимо отметить, что возникновение симптомов, описанных в таблице, индивидуально и зависит от особенностей каждого человека (таблица 3).

Таблица 3

Влияние пребывания человека в высотном здании  
на его психофизиологическое состояние

Время пребывания	Симптомы болезней	Причины появления	Возможные варианты лечения
Краткосрочное пребывание (от 1 до 24 часов)	- головокружение; - тошнота; - головные боли; - ощущение заложенности в ушах; - чувство тревоги; - апатия,	- резкая смена привычного пространства, климата, страны, часового пояса; - резкий подъем и проживание на высоте;	- ежедневные пешие прогулки; - отдых в специально оборудованных рекреационных зонах здания; - озеленение

	<p>психологическая угнетенность;</p> <p>- приступы удушья, боль в горле</p>	<p>- маленькие тесные помещения;</p> <p>- непривычная атмосфера, быстрая смена событий;</p> <p>- отсутствие визуального контакта с землей, зелеными насаждениями;</p> <p>- отсутствие возможности открыть окно;</p> <p>- низкое качество вентилируемого воздуха, недостаточная влажность воздуха</p>	<p>комнаты, квартиры;</p> <p>- умение жить в «своем» ритме в каждом пространстве;</p> <p>- посещение наземных дендропарков, скверов, бассейнов;</p> <p>- индивидуальная настройка системы климат-контроля;</p> <p>- возможность позвонить домой, поговорить с близкими людьми</p>
<p>Среднесрочное пребывание (от 1 до 14 часов)</p>	<p>- частые мигрени;</p> <p>- частые простуды и ощущение заложенности носа;</p> <p>- отсутствие аппетита;</p> <p>- приступы астмы;</p> <p>- приступы</p>	<p>- вибрации здания на высоте;</p> <p>- системы искусственной вентиляции и повторного использования воздуха обеспечивают</p>	<p>- переселение в другой, более инсолируемый номер или квартиру, возможно, на более нижнем этаже;</p> <p>- индивидуальная</p>

	агрессии; - депрессивное состояние	недостаточное качество воздуха; - некачественная уборка помещений, высокая концентрация пыли, пылевых клещей; - недостаточное количество естественного освещения; - недостаточная кубатура помещений	настройка систем климат-контроля; - влажная уборка каждые 3-4 дня; - ежедневные пешие прогулки; - отдых в специально оборудованных рекреационных зонах здания
Долгосрочное пребывание (от 1 до 14 часов)	- хронические мигрени; - хронические простудные заболевания, тонзиллит; - астма; - глубокая депрессия; - злоба, немотивированная агрессия	- избыток искусственного и недостаток естественного освещения; - использование токсичных веществ и материалов при отделке комнаты; - повышенный электромагнитный или	- постоянные профилактические осмотры у врача; - покупка карманного дозиметра, контроль за уровнем излучений; - покупка другой квартиры или ремонт со сменой цветового

		радиационный фон; - недостаточная кубатура помещений, «тяжелая» интерьерная палитра цветов	решения; - ежедневные пешие прогулки; - отдых в специально оборудованных рекреационных зонах здания; - озеленение комнаты, квартиры
--	--	---	--

В.А. Харитонов в своей книге «Надежность строительных объектов и безопасность жизнедеятельности человека» описывает психофизиологические воздействия высотных зданий на человека. Автор выделяет 3 группы факторов, влияющих на состояние человека: природные опасности (ветер, резкие перепады давления и температур и т.д.), техногенные угрозы (аварии, пожары) и антропогенные угрозы («человеческий фактор»). Однако, купировать все эти угрозы возможно путем применения систем двойного контроля за самочувствием человека, составом воздуха внутри здания и состоянием конструкций, внедрением в структуру объекта зеленых садов, проектирование атриума, разбиение внутреннего пространства на сомасштабные с размерами человека элементы и т.д. В дальнейшем В.А. Харитонов пишет «Наиболее высокие здания (Бурж г. Дубай, Тайбей и др.) соответствуют этим требованиям, но это связано и с увеличением строительных и эксплуатационных затрат» [43]. Данное утверждение автора показывает, что при грамотном подходе возможно создать комфортные условия для проживания человека в высотном здании. Кроме того, во всем мире дороже оцениваются квартиры на верхних этажах. Они при этом достаточно быстро покупаются, что свидетельствует о привлекательности возможности проживания на высоте [89].

Стоит отметить еще один негативный аспект, который был признан официально. «Статистика показывает, что 80% людей, совершающих суициды, проживает выше 9-го этажа» [26]. «В качестве примера можно привести японскую столицу Токио, где в конце 70-х был построен квартал жилых небоскребов — Такасимадаира. Поначалу проект вызвал небывалый ажиотаж, но через некоторое время оказалось, что квартал — лидер по числу самоубийств» [57]. Как позже выяснили эксперты, основной причиной было однообразие домов и квартир, отсутствие персонализации личности. Следствием стало психическое нарушение, переросшее у определенного числа людей в суицидальные желания. Однообразие ритмо-метрического визуального ряда, отсутствие выразительных объемно-пространственных решений зданий, «маркеров индивидуализации» элементов пространства — все это угнетающе действует на самочувствие человека вне зависимости от этажности объектов (рисунок 23). Выразительное архитектурно-художественное решение высотных зданий, внедрение в их структуру атриумов и зеленых насаждений, различные функционально-планировочные решения на этажах способны решать выявленную проблему и создать позитивный психологический фон у людей, находящихся внутри вертикально развитых объектов.



Рис. 23. Застройка квартала «Такасимадаира», Япония

На сегодняшний день в открытых источниках отсутствуют официальные данные о влиянии пребывания людей в высотных зданиях. Существует теория об эффектах атмосферного электричества, проявляющихся особенно активно на

высоте, и то, что оно «в десятки раз ускоряет процесс коррозии и угнетающе действует на жильцов дома» [57]. Профессор Икрам Керимов считает что «опасность сейсмических излучений угрожает только жителям высотных домов, а не тем, кто в них работает, поскольку во время работы мозг человека находится в активном состоянии и противостоит негативным излучениям» [57]. Высказывались мнения о нежелательности проживания в высотных зданиях гипертоникам и детям, однако, «Александр Бабляк, кардиохирург, кандидат медицинских наук, эти заявления — просто сказки. По его словам, единственной проблемой, которая может возникать у людей с болезнями сердца и сосудов, является неисправность лифтов, когда нужно подниматься к квартире по лестнице» [47].

**4. Отсутствие нормативной базы для проектирования высотных зданий в России.** Высотные здания представляют собой новый тип застройки, нуждающийся в индивидуальном подходе при разработке норм и правил проектирования, строительства и эксплуатации. Следует отметить, что некоторые шаги в решении этих проблем уже сделаны. На сегодняшний день в России существуют следующие нормы [41]:

— В 2002 году изданы «Общие положения к техническим требованиям по проектированию жилых зданий высотой более 75 м», где были четко прописаны противопожарные мероприятия, которые должны учитываться при разработке технических условий при проектировании высотных жилых зданий. Этот документ был согласован с Главным управлением Государственной противопожарной службы (ГУ ГПС МЧС РФ) и зарегистрирован Росстроем РФ в качестве практического руководства (письмо за № 9-29/ 318, от 19. 04. 02.).

— В 2005 году по инициативе ГУ МЧС по г. Москве и при участии научно-исследовательских учреждений пожарно-технического профиля (ВНИИПО МЧС, Академии ГПС МЧС РФ) были разработаны новые региональные нормы градостроительного проектирования.

— В 2005 году изданы «МГСН 4.19-2005» — «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий — комплексов в г. Москве».

— В 2005 году также изданы «МГСН 1.04-2005» — «Временные нормы и правила проектирования планировки и застройки участков территории высотных зданий — комплексов, высотных градостроительных комплексов в г. Москве». Разработка данных нормативов велась в соответствии с Градостроительным кодексом РФ и законом г. Москвы № 64 (от 03.10.2001 г.) «О градостроительных нормах и правилах города Москвы».

— В 2009 году издан стандарт организации СТО 01422789-001-2009 «Проектирование высотных зданий», который подготовлен в открытом акционерном обществе «Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий» (ОАО «ЦНИИЭП жилища»).

— Для Санкт-Петербурга разработаны территориальные строительные нормы ТСН-31-332-2006 «Жилые и общественные высотные здания». Приняты и введены в действие распоряжением Комитета по строительству Правительства Санкт-Петербурга от 23.12.2005 N 68.

— В 2012 году НОСТРОЙ разработал ряд стандартов организации по высотным зданиям. В этот перечень вошли: СТО НОСТРОЙ 2.15.70-2012 «Инженерные сети высотных зданий. Устройство систем теплоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования и холодоснабжения», СТО НОСТРОЙ 2.15.71-2012 «Инженерные сети высотных зданий. Устройство систем водоснабжения, водоотведения и водяного пожаротушения», СТО НОСТРОЙ 2.15.72-2012 «Инженерные сети высотных зданий. Устройство систем электрооборудования, автоматизации и диспетчеризации».

Московские государственные строительные нормы (МГСН) в настоящее время утратили свою силу. Стандарты СТО являются «внутренними» документами, не утвержденным на уровне страны. Содержащиеся в этих нормах требования являются дополнительными по отношению к действующим строительным нормативам и нормативам по эксплуатации высотных зданий и комплексов. На

каждое уникальное здание (высотой более 75 метров и заглублением более 15 метров) обязательно составляются специальные технические условия на проектирования (СТУ). В настоящее время отсутствует единый принятый документ, регламентирующий проектирование высотных зданий в России.

**5. Отсутствие критерия «высотности» зданий, общепринятой системы определения высоты объекта.** Высотность – субъективная характеристика. В разное время под ней понимали различные величины. В античность доминирующими по вертикали сооружениями были храмы, к которым более применялся термин «величие». В Средние века традиция продолжилась, но кроме религиозных построек появились также масштабные объекты – замки. В конце XIX века в связи с научно-технической революцией и разрастанием городов в США появились первые высотные объекты. Тогда ими считались 9-этажные здания. Сегодня в России массовое распространение получили жилые объекты 24 и более этажей. По всему миру строятся здания более 500 метров. Существуют проекты высота которых должна превышать 1 километр. Несмотря на это, в мире отсутствует единое регламентированное определение «высотного здания».

Каждый человек визуально примерно может оценить высоту здания, внутренне соотнести его с «мало- средне-, многоэтажным», «высотным» и т.д. Но все люди разные и подобные оценки не могут служить общепринятым объективным критерием высотности. В связи с этим, многие крупные фирмы и организации предлагают свои варианты, помогающие оценить вертикально развитые объекты.

«Технический комитет ASHRAE («Американское общество инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха») по высотным зданиям дал такое определение: это здание, высота которого превышает 91 м. Совет по высотным зданиям и городской среде (CTBUH) определяет его как здание, в котором высотность непосредственно определяет планирование проекта или сферу использования здания» [49]. Высотными зданиями в России, согласно ТСН 31-332-2006, МГСН 4.19-2005 и МГСН 1.04-2005 (сейчас эти нормы отменены), считаются общественные здания высотой более 50 м и жилые здания высотой

более 75 м. согласно стандарту организации СТО 01422789-001-2009 «Проектирование высотных зданий» (ОАО «ЦНИИЭП жилища»), в России высотными считаются жилые и общественные здания от 75 м и выше. В компании «Emporis» - одном из крупнейших агентств по сбору информации о высотном строительстве и недвижимости есть свои определения «высотных зданий» и «небоскребов». «Высотные здания – многоэтажные структуры 35-100 метров, или здания с неизвестной высотой состоящие из 12-39 этажей» [95]. «Небоскребы – это здания высотой минимум 100 метров» [96].

«Впрочем, понятие высотности можно измерять не только количественно, но и, скажем так, ситуационно. В 1971 году на Международной конференции по пожаробезопасности высотных зданий высоткам дали другое определение. Высотное здание – это здание, в котором в экстренной ситуации эвакуация невозможна, а при пожаре с огнем можно бороться лишь изнутри. Хотя эта неутешительная характеристика была дана высотке более 30 лет назад» [23].

Таким образом, каждая организация, компания или комитет трактует понятие «высотности» индивидуально. Тем не менее, у проектировщиков сложились негласные и недокументированные критерии высотности. В России – это здания выше 75 метров, за рубежом – выше 100 метров. В будущем, в связи с тенденцией увеличения количества высотных построек, можно прогнозировать введение общих характеристик, включающих и высоту объектов, для упрощения взаимодействия различных организаций, участвующих в проектировании, строительстве и эксплуатации высотных зданий.

## **6. Отсутствие унифицированных элементов, необходимость применения новых материалов и методов возведения для каждого объекта индивидуально**

Высотное здание, как правило, представляет собой уникальный объект, для которого в каждом отдельном случае разрабатываются конструктивная, энергетическая и другие системы [13]. Тем самым, строительство новых высотных зданий стимулирует развитие научно-технического прогресса, результаты которого могут быть в дальнейшем использованы в других областях. Поэтому не

существует понятия «типовое высотное здание». Тем не менее, китайская компания «BSB» разработала технологию, позволяющую возводить 30-этажное здание за 15 дней (360 часов). «Секрет» скоростного возведения в том, что вначале на заводах производятся готовые конструкции, которые затем доставляются на стройплощадку и, как в детском конструкторе, насаживаются друг на друга» [77]. На международном форуме "Дни высотного строительства в России: высотные здания на базе высоких технологий", который прошел в Москве 17 и 18 декабря 2013 года присутствовала представитель компании Жюльетт Цзян. Она отметила, что несмотря на скорость монтажа и сейсмоустойчивость, здание обладает низкой архитектурной выразительностью, фактически, это большой прямоугольный параллелепипед (рисунок 24). Данный пример наглядно иллюстрирует сложность возведения высотного здания из унифицированных элементов с высокой архитектурной выразительностью объемно-пространственного решения.



Рис. 24. Общий вид здания, возведенного компанией «BSB» за 360 часов

Источник: <http://p3.publico.pt/sites/default/files/china.jpg>

Описанные проблемы в последние годы находятся в процессе решения. Это касается совершенствования технического и инженерного оборудования, попыток разработки единого нормативного документа, различных объемно-планировочных и интерьерных решений, уменьшающих психологический дискомфорт, находящихся внутри людей. Высотные здания становятся все более «дружелюбными» к людям и окружающей среде. В зарубежной литературе и

проектной практике подобные явления описываются словосочетаниями «дружелюбное здание» («people friendly building») и «экологичное здание» («eco friendly building»).

## **ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1**

1. На стыке XX-XXI веков появился новый тип зданий – высотное здание. Сегодня «средний» объект по затратам энергии сопоставим с небольшим населенным пунктом. Поэтому включение ВИЭ в структуру высотных зданий стало закономерным этапом их развития. Это позволяет создавать здания с более выразительным архитектурным обликом, а также сократить количество вредных выбросов, получаемых при применении традиционных источников энергии и минимизировать ущерб, наносимый природной среде.

2. В результате анализа развития ВИЭ, энергетических парадигм и высотных зданий в России и за рубежом выявлено 10 этапов, охватывающих временной отрезок с 1880 по 2020 гг.

Точкой отсчета можно считать конец XIX века. В это время в Чикаго стали появляться высотные здания, а в Европе – экспериментальные установки, работающие на возобновляемой энергии. До 1930-го года продолжался первый этап развития мировой энергетики. Время опытных разработок, конструирование энергоустановок, при относительно невысоком потреблении энергии человечеством. Высотное строительство переживало период становления в Чикаго.

С 1930 по 1990 гг. – второй цикл развития мировой энергетики. Характерный тем, что перед человечеством встала проблема истощения традиционных природных источников энергии (нефть, уголь, газ). Стали появляться здания, в том числе высотные, с инженерным оборудованием, позволяющим преобразовывать энергию из возобновляемых источников. Высотные здание в то время представляли из себя «экспериментальную площадку», на которой проходили апробация разного рода решения и технологии.

Начиная с 2000-х годов потребности человечества в области энергии начали расти в геометрической прогрессии. Увеличенные поставки сырья в страны-потребители, повышенные темпы выработки месторождений, рост энергопотребления высотных зданий, весь этот комплекс факторов стимулировал развитие и совершенствование процесса преобразования возобновляемой энергии. Установки стали внедряться непосредственно в здания, обеспечивая их энергией на 10-30%. Архитектура высотных зданий получила новый виток в развитии, при внедрении ВИЭ. Данное направление активно развивается в настоящее время.

3. Определено процентное соотношение применения ВИЭ в высотных зданиях: энергия солнца – 47,82 %, ветра – 31,52 %, воды – 8,69 %, земли – 6,52 %, биомассы – 5,45 %.

4. Рассмотренные проекты и здания позволяют выделить тенденцию изменения объемно-пространственных решений высотных зданий при использовании ВИЭ. Примером могут служить высотные здания, позволяющие увеличить скорость ветра, путем включения в объемно-планировочное решение вертикальных, горизонтальных отверстий, строительства нескольких корпусов комплекса для создания «ловушки» для ветра; либо здания, с наклонными поверхностями, двойными фасадами (включая динамические) имеющими упорядоченную геометрическую «текстуру» за счет применения фотоэлектрических панелей.

5. Действующая система правил и стандартов не обеспечивает необходимую нормативную базу для проектирования зданий с ВИЭ, а лишь устанавливает параметры микроклимата и контроль нормируемых теплотехнических и энергетических параметров при эксплуатации здания [63]. Нормы, регламентирующие проектирование и строительство высотных зданий, носят единичный или индивидуальный характер, определяя стандарты для многоэтажных зданий на региональном или городском уровне.

6. В связи с большой протяженностью территории и многообразием природно-климатических условий Российская Федерация обладает большими запасами возобновляемой энергии. За последние 5-10 лет во многих регионах страны были

построены здания, использующую нетрадиционную энергетику. Утверждение государственных стандартов на возобновляемые источники энергетики и создание регламента для возможности продажи «чистой» электроэнергии в общую сеть, свидетельствуют об активном развитии данной сферы в масштабах России [69].

## **ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

При проектировании высотных зданий (и зданий в принципе) существует совокупность решений, которые присутствуют в каждом объекте. К ним относятся: градостроительное, объемно-планировочное, функционально-планировочное, архитектурно-художественное, конструктивное, инженерное решения. Если в проекте применяются ВИЭ, то они оказывают влияние на перечисленные аспекты, степень которого – различна. Наиболее масштабное влияние, затрагивающее все виды решений объекта, оказывают энергоустановки на основе ветра и солнца. Это обусловлено тем, что инженерное оборудование для преобразования данных ВИЭ может размещаться в любой части здания, даже на прилегающей к объекту территории. Далее следует установки, преобразующие энергию воды в электрическую, которые оказывают влияние на градостроительное, функционально-планировочное, архитектурно-художественное, инженерное решения. Наиболее распространенный тип установок – приливные электростанции. Размещаться они могут только в нижней части объекта. Требуют наличия акватории, т.е. прибрежного местоположения здания и серьезным образом не отражаются на объемно-планировочном решении. Инженерное оборудование, позволяющее преобразовывать энергию биомассы и земли также оказывает незначительное влияние на внешний облик высотных зданий, отражаясь на функционально-планировочном, инженерном и в случае с биомассой, еще и градостроительном решениях. Данные выводы были сделаны исходя из имеющегося мирового опыта внедрения инженерных устройств в реальном строительстве и их технологических особенностях ВИЭ, таких как необходимость постоянного подвоза сырья, как в случае с энергией биомассы.

Для более детального понимания процесса формирования высотных зданий с ВИЭ рассмотрим, оказывающие влияние на данный процесс.

## **2.1 Факторы формирования и критерии оценки высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии**

В первой главе были выявлены 4 основных предпосылки, оказавших большое влияние на появление и развитие высотных зданий: экономическая, энергетическая, техническая и экологическая [19]. В дальнейшем, они усложнились и преобразовались в ряд факторов, влияющих на формирование высотного здания с ВИЭ.

### Градостроительные факторы:

1) *Территориальная организация участка.* Несмотря на вертикальную развитость высотных зданий изначально они воспринимаются с уровня человеческого роста. Очень важными являются приемы по созданию продуманного ландшафта прилегающей к объекту территории. Для высотных зданий, в которых располагаются штаб-квартиры крупных компаний, создают фирменный стиль и индивидуальный логотип, последний часто воссоздается рядом с объектом с помощью зеленых насаждений и малых архитектурных форм. Другим вариантом может быть формирование эффектной графической композиции с контрастными элементами. Также возможно плавное «перетекания» здания с высоты непосредственно на прилегающий участок. Грамотная работа с поверхностями разного уровня (выступающие или западающие элементы, ступени, пандусы) и текстурами дорожного покрытия способна дополнить общий архитектурный замысел объекта и «связать» его с уровнем земли.

2) *Оптимизация транспортно-пешеходной сети.* Большинство современных высотных зданий – многофункциональные объекты. Помимо продуманной работы вертикальных коммуникаций, необходимо предусмотреть отдельные подходы к входным группам якорных функций. Например, «Всемирный Торговый Центр» в Шанхае имеет отдельные входы для офисной, гостиничной функций, дорогу для въезда на парковку, а также несколько подъездов для доставки грузов в здание. Общая организация участка обеспечивает минимальное

пересечение путей движения пешеходов и автомобилей, несмотря на то, что они находятся в одном уровне. При возведении высотных зданий необходимо проводить перерасчеты всей транспортной системы города, для сохранения допустимой пропускающей способности дорог и магистралей [98]. Набирающим популярность становится решение, позволяющее развести потоки людей и машин. Речь идет о создании «второго этажа» - дополнительного пространства, поднятого относительно уровня земли на 4-5 метров, которое предназначено для пешеходов. Автомобилям остается дорога и вся инфраструктура внизу. Данный подход может быть использован для создания выразительного архитектурного решения объекта. Стилобатная часть высотного здания объединяется с уровнем земли, появляется возможность размещения функций, открытых для горожан, в силу рационально организованной транспортно-пешеходной сети [97].

3) *Вписывание объекта в окружающую застройку.* Современные города очень быстро развиваются. Сносятся старые здания, на их месте возводятся новые. В случае с высотными объектами особенно важно грамотно вписать их в существующую застройку. Значительную роль при этом играет архитектурное решение стилобатной части, как наиболее близкой по этажности к окружающим зданиям. Высотное здание является визуальной доминантной, поэтому форма его силуэта должна быть узнаваема издалека и служить ориентиром для горожан. Эффективным решением может стать строительство подобного здания на пересечении нескольких дорог, или возведение объекта недалеко от въезда в город, как «визитной карточки».

#### Архитектурные факторы:

1) *Функционально-планировочное решение.* Определяет набор функций в объекте и взаимосвязи между ними. Кроме общего функционального наполнения выстраиваются также отдельные технологические «цепочки» такие как места общественного питания с полным циклом приготовления продукции, магазины, производящие и реализующие товары (пекарни, сувенирные лавки). Каждая функция соотносится с необходимыми площадями помещений. Осуществляется

зонирование каждого этажа и общее вертикальное функциональное зонирование, что особенно значимо в высотном здании.

2) *Объемно-планировочное решение.* Размещение помещений в объеме здания и определение их параметров – формы, высоты, ширины и т.д. Это построение внутренней структуры объекта, когда определено функционально-планировочное решение. Компоновка узла вертикальных коммуникаций, выявление допустимой глубины помещений, возможность внедрения атриума в его структуру, применения этажей с углом поворота и т.д. Определение основных характеристик помещений таких как необходимость инсоляции, возможность создания двухуровневых пространств. Создается объемно-планировочное решение, учитывающее размещаемые функции, фактически это набор пространств «кубиков», которые пересекают линии вертикальных коммуникаций. Это решение определяет общие габариты высотного здания, но практически не отражается на его внешнем облике.

*Объемно-пространственное решение.* Построение внешней формы объема здания, объемной композиции. Это решение включает в себя два предыдущих и определяет визуальную составляющую высотного объекта. Возможно придание общей формы, снижающей воздействие ветровых потоков, для предотвращения колебаний на верхних этажах. Другим вариантом является устройство отверстий для усиления скорости ветра и установки соответствующих энергогенераторов. Также могут применяться наклонные кровли, выступающие или западающие части фасада. Существует практика придания общей формы, согласующейся с национальными канонами архитектуры, примерами являются высотные здания «Тайбэй 101» и Башня «Джин Мао», оба расположены в КНР (рисунок 25).

#### Природно-климатические факторы:

1) *Количество солнечных дней в году.* Определяется общая продолжительность часов солнечного сияния в год. Другой важной характеристикой является количество солнечной энергии, падающей на 1 м<sup>2</sup> поверхности. Эти параметры показывают насколько рациональным является применение в данной местности гелиоэнергоустановок.



Рис. 25. Общий вид высотного здания «Тайпэй 101»

Источник: [http://www.urbansplatter.com/wp-content/uploads/2012/07/Taipei\\_101.jpg](http://www.urbansplatter.com/wp-content/uploads/2012/07/Taipei_101.jpg)

2) *Повторяемость, направление и скорость ветровых потоков.* Характеристики определяются с помощью розы ветров. Она показывает также и сезонность ветров. Совокупность параметров позволяет применить определенный тип ветрогенераторов и наиболее грамотно вписать его в объемно-пространственное решение высотного здания.

3) *Наличие геотермальных источников.* Определяется с помощью геологических изысканий или соответствующей карты. В зависимости от полученных результатов устанавливается целесообразность применения данного ВИЭ. Следует учитывать, что при строительстве высотных зданий часто используется свайное поле, поэтому нужно заранее предусмотреть корректное расположение гео-, гидротермальных скважин.

4) *Водоем с движениями водных масс (приливы).* Примерами могут служить моря и океаны, реже - реки. Основную сложность представляет интеграция подобной установки в структуру высотного здания. Как показывает практика, наибольшую эффективность приливные электростанции показывают когда располагаются на некотором отдалении от береговой линии. Тем не менее,

существует несколько проектов высотных зданий, в которых заявлено применение энергии движущихся водных масс (например, Башня Золотого Побережья в Мельбурне, Австралия).

5) *Запасы сырья для производства биомассы.* Список материалов, которые могут служить сырьем для биомассы обширен: отходы деревообрабатывающей промышленности, сельского хозяйства, органические элементы и т.д.. Важным аспектом использования этого ВИЭ является необходимость постоянного подвоза сырья. Помимо общих логистических задач, приходится решать и градостроительную - устройство отдельного подъезда к установке, расположенной на первых этажах высотного здания.

#### Социально-экономические:

1) *Наличие заинтересованных финансовых структур.* Высотное здание всегда возводится на средства конкретных Заказчиков. Ими могут выступать крупные корпорации («Штаб-квартира Международной Финансовой Корпорации», КНР), государства, города («Башня Шанхай», КНР) или отдельные физические лица («Башня Трампа», США). В связи с высокими финансовыми затратами, как правило, в высотное здание инвестируют средства несколько крупных девелоперов, которые определяют якорных арендаторов в будущем (рисунок 26).

2) *Социальных комфорт среды проживания.* Речь идет о жилой инфраструктуре. Высотное здание – «вертикальный город», который для своего жителя создает комфортные условия: парикмахерская, стирка и химчистка, магазины, даже театры и церкви. Все эти учреждения размещаются в современных объектах, для того, чтобы человек мог реализовывать собственные потребности. Кроме того, варьируется уровень комфортности самих жилых помещений. В зависимости от финансовых возможностей каждый человек может найти подходящее по классу жилье.

3) *Уменьшение потребления энергии из городских сетей.* Использование ВИЭ позволяет частично покрывать энергозатраты объекта. Это уменьшает нагрузку на общегородские сети и позволяет экономить финансовые средства.

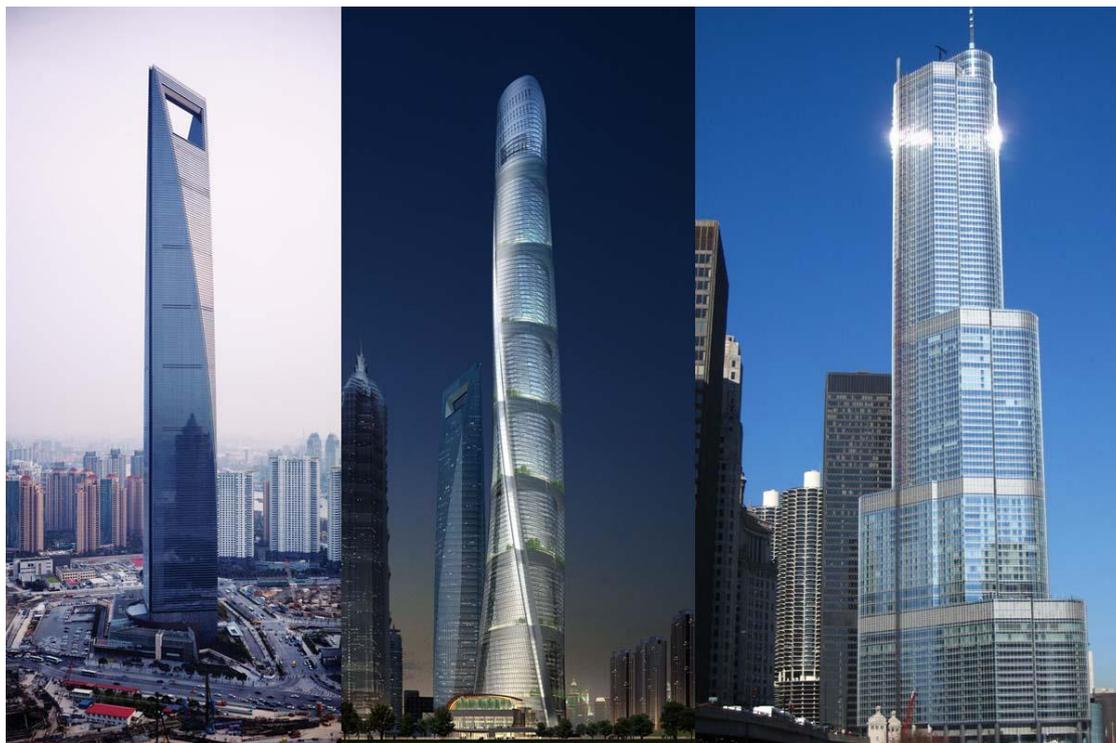


Рис. 26. Слева направо: «Штаб-квартира Международной Финансовой Корпорации», «Башня Шанхай», «Башня Трампа»

Источник: <http://forum.skyscraperpage.com/showthread.php?t=183646>

4) *Срок окупаемости энергосистемы и объекта в целом.* Эти показатели рассчитываются на первых стадиях проектирования высотного здания. Срок окупаемости объекта зависит от его класса, престижности местоположения, арендаторов. «Среднемировой показатель – около 15 лет» [70]. Сроки окупаемости энергосистем с ВИЭ колеблются в пределах 10-15 лет. Таким образом, их применение в высотном здании оправдано, даже с точки зрения совпадения времени возврата вложенных средств.

#### Инженерно-технические:

1) *Применение ВИЭ.* Использование в высотном здании инженерного оборудования работающего на энергии солнца, ветра, воды, земли и биомассы. В некоторых случаях оправдано спроектировать объект так, чтобы архитектурное решение максимально усиливало выработку одного источника энергии. Например, при постоянных господствующих ветрах логично использовать их в большей степени, чем другие источники. Другой вариант – вертикальная

сельскохозяйственная ферма, гармоничной частью которой может служить установка, для переработки биомассы.

2) *Энергетическая система комбинированного типа.* Это не просто суммирование традиционной энергосистемы объекта и ВИЭ. Основная идея – получение энергии из разных источников, при определенных условиях. К примеру, если мы нагреваем воду с помощью солнца, то логично ее пустить в отопительную систему, а не использовать в санузлах, из-за малого количества. Если в высотном здании установлены постоянно работающие ветрогенераторы, разумно будет запитать от них энергосберегающее освещение, а для остальных нужд использовать энергию из обычных источников.

#### Экологические:

1) *Снижение количества вредных выбросов в атмосферу.* При сжигании традиционных видов топлива выделяются вредные вещества. Замещая их в энергобалансе здания возобновляемыми источниками, можно уменьшить процент выбросов в атмосферу.

2) *Применение экологичных материалов и технологий.* Подобная практика все больше распространяется при возведении высотных зданий за рубежом. Максимально ограждается участок строительства, чтобы не разрушать сложившийся рельеф местности. Применяются не автомобильные или рельсовые краны, в современные решения, которые прикрепляются к несущим конструкциям здания и позволяют производить монтаж вышележащих этажей. Используются вторично переработанные материалы, например, арматура или металлические конструкции, устройства для выполнения строительных работ (тросы, опалубка), созданные на базе вторсырья.

3) *Взаимосвязь природной и искусственной среды.* Проживание на верхних этажах высотного здания позволяет получить доступ к эффективным видам из окон, однако, лишает контакта человека с землей, зелеными насаждениями. Проектировщики решают эту задачу с помощью устройства сети зеленых садов внутри здания [93]. Во многих работах Кена Янга (архитектор, приверженец биоклиматического и экологического подходов) прослеживается принцип

«зеленой спирали»: «внутри высотного здания создается система зеленых садов, идущих по всей его высоте с поворотом через каждые 3-4 этажа» [94]. В стилобатной части спираль, превращается в длинный озелененный отрезок, который плавно «входит» в природный ландшафт (рисунок 27). Создается иллюзия того, что здание «вырастает» из существующих зеленых насаждений с уровня земли [104].

Выявленные группы факторов определяют характеристики высотных зданий с ВИЭ по шести основным направлениям. Наиболее важными являются градостроительные, архитектурные, природно-климатические и инженерно-технические факторы (таблица 4). Эти группы оказывают влияние на будущее архитектурное решение объекта.

Разработаны критерии оценки архитектурных решений высотных зданий с ВИЭ. Они опираются на архитектурный и инженерно-технический факторы.



Рис. 27. Общий вид «Башни Чонгкинг». Источник: <http://www.arhinovosti.ru/>

Критерии позволяют производить оценку разных характеристик высотных зданий по балльной шкале. Чем выше балл, тем более сложные и современные решения применены в объекте. Оцениваемые параметры были разбиты на четыре группы.

1. Использование ВИЭ. Самая очевидная характеристика. Количество получаемых зданием баллов соответствует применяемым источникам энергии. Максимальное количество баллов – 5.

## 2. Объемно-планировочное решение.

— Высота объекта. Взяты критерии высотности «Всемирного совета по высотным зданиям и городской среде» [92]. Чем выше здание, тем больше количество баллов. Максимально – 3 балла.

— Поворот этажа. Этот параметр позволяет улавливать восходящие ветровые потоки, а также может увеличивать площадь освещаемой солнцем поверхности фасада. Критерий позволяет оценить степень поворота плана этажа относительно оси (рисунок 28). Возможный максимум  $>15$  градусов – 3 балла.

— Форма плана. С помощью развитой формы (2 балла) плана возможна реализация оригинального архитектурного решения высотного здания. В сложный, изрезанный план сложнее вписать необходимые функции, узлы коммуникаций и другие элементы. Большая площадь поверхности фасадов позволяет реализовать большой потенциал ВИЭ.



Рис. 28. Общий вид проекта «Башня Страта» в ОАЭ

Источник: <http://img.photobucket.com/albums/v417/speedracer7/Strata-Tower.jpg>

## 3. Объемно-пространственное решение.

— Отверстия для усиления скорости ветрового потока. «При отношении диаметров входного и выходного отверстий конфузора 8-10 ... коэффициент усиления конфузора по скорости воздушного потока составит 5,0-5,5» [53]. «Конфузор - профилированный сужающийся канал, в котором дозвуковая скорость жидкости или газа возрастает в результате преобразования потенциальной энергии в кинетическую» [1]. Таким образом, отверстия в

высотном здании могут быть применены для усиления ветра (рисунок 29). Их внедрение в объемно-пространственное решение способно существенно увеличить скорость ветрового потока. Максимальное количество баллов – 2.

— Ветроулавливающая форма здания. На английский язык переводится как «Wind-catcher» - «ловец ветра». За рубежом здания этого типа проектируются с различными объемно-пространственными решениям, но подчиненными цели «поймать» и направить потоки ветра. Высотные объекты могут иметь форму спирали, гиперboloида, сверла и т.д. Возможен вариант применения ветрогенераторов и усиления потоков с помощью двух частей одного высотного комплекса. Здания размещаются таким образом, чтобы усиливался проходящий через пространство между ними поток ветра (рисунок 30). Максимальное количество баллов – 3.

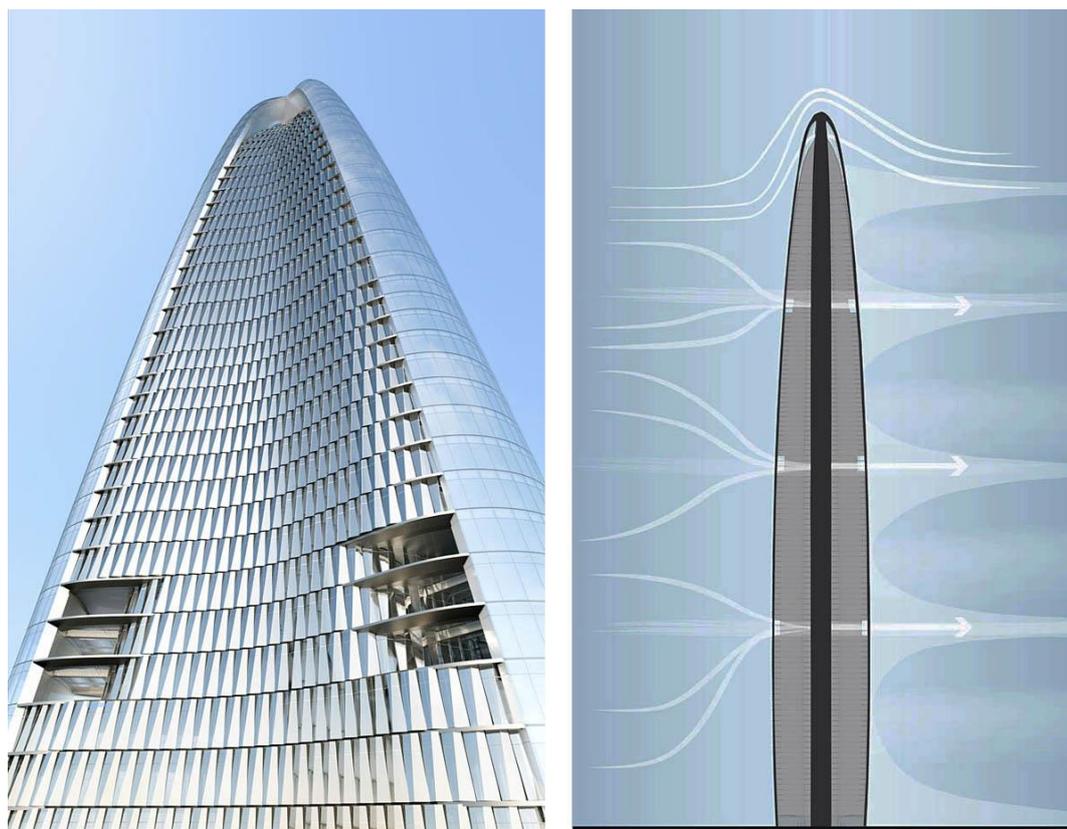


Рис. 29. Общий вид «Зеленого центра Ухань», КНР.

Источник: [http://www10.aeccafe.com/blogs/arch-showcase/files/2012/02/Cor\\_3.jpg](http://www10.aeccafe.com/blogs/arch-showcase/files/2012/02/Cor_3.jpg)



Рис. 30. Общий вид «Спирального небоскреба» в Индии

Источник: <http://www.archina.com/uploadfile/2012/0112/20120112030148935.jpg>

— Интегрируемые фотоэлектрические модули (BIPV). Возможна установка на крыше, наклонной поверхности, стене или остеклении фасада. Модули выполняются различных типоразмеров и могут выполнять функцию стекла в оконном проеме, позволяя при этом вырабатывать электроэнергию. Комбинируя прозрачные и глухие панели можно создавать рисунки, узоры и текстуры на фасадах высотного здания. Наибольшее количество баллов – 3.

#### 4. Инженерно-техническое решение

— Системы, следящие за траекторией солнца. Речь идет о двух самых распространенных технологиях: динамический и поворотный фасады. Первый состоит из элементов определенной формы, которые в темное и пасмурное время суток находятся в сложенном состоянии, а в ясный день раскрываются подобно зонтику, воспринимают энергию солнца и преобразовывают ее в электрическую (рисунок 31). Это может быть часть фасада, или даже несколько, размещенных на разной высоте. Вторая технология представляет собой экран, который поворачивается и воспринимает максимальное количество солнца за световой

день. Как правило, экран несет еще функцию светозащиты, что актуально в жарком климате. Поворотный фасад занимает обычно 1/6-1/5 от общей площади внешних ограждающих конструкций. Максимальное количество баллов за использование данной технологии – 3.

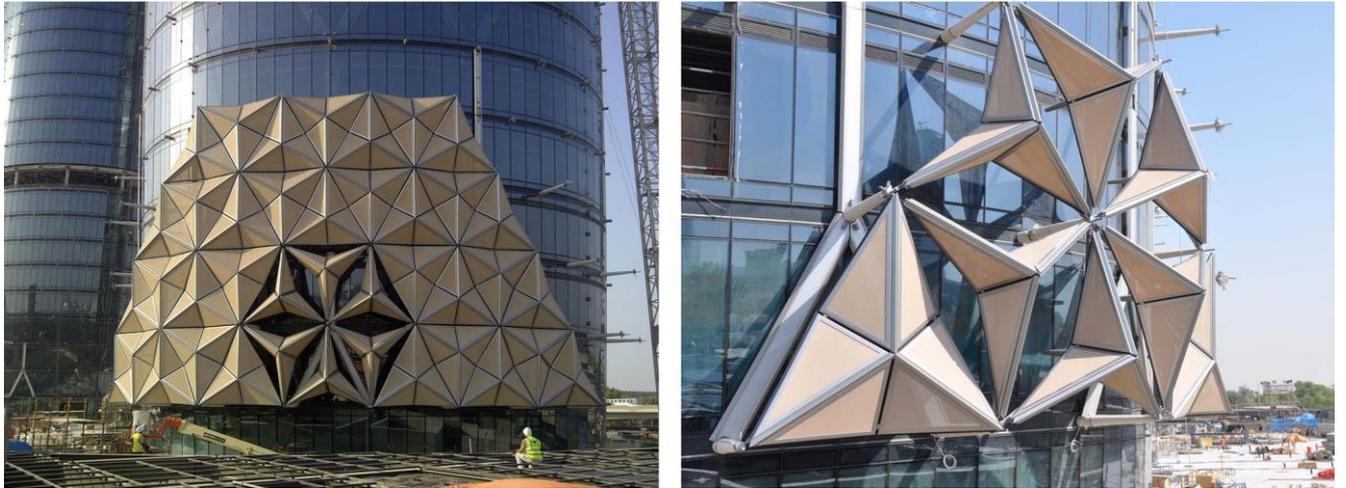


Рис. 31. Часть динамического фасада «Штаб-квартиры Инвестиционного Совета Абу-Даби», ОАЭ

Источник: <http://dab710n7519915.files.wordpress.com>

— Динамическое здание. Основная идея - вращение этажей друг относительно друга. Это позволяет создать яркий, изменяющийся образ высотного здания. Кроме того, между ними возможна установка ветрогенераторов (1 балл).



Рис. 32. «Динамическая архитектура» Дэвида Фишера

Источник: <http://www.infoteli.com/wp-content/uploads/2011/01/Dynamic-Rotating-Skyscraper-Building-in-Dubai-by-David-Fisher.jpg>

— Применение пьезоэлектрических элементов. «Существует концепция ветрогенератора в виде столба, чей диаметр плавно уменьшается с 30 до 5 см, покрытого пьезоэлементами, в виде перекрывающих друг друга чешуек. Когда ветер наклоняет столб, его поверхность упруго деформируется, из-за чего пьезоэлементы сжимаются и начинают вырабатывать ток. Малая мощность одного столба-генератора компенсируется их большим количеством – до 3-4 генераторов на 1 кв. м» [60]. Применение этой технологии на фасадах высотного здания создает выразительный художественный образ. Объект становится «пушистым», из-за колебаний все время меняется его силуэт. Положительными сторонами этих энергогенераторов является отсутствие вибрации, электромагнитного поля и безопасности для птиц.

Таблица 4

Критерии оценки архитектурных решений высотных зданий  
с ВИЭ

<b>Использование ВИЭ</b>	
Один источник (1 балл)	<input type="checkbox"/>
Два источника (2 балла)	<input type="checkbox"/>
Три источника (3 балла)	<input type="checkbox"/>
Четыре источника (4 балла)	<input type="checkbox"/>
Пять источников (5 баллов)	<input type="checkbox"/>
<b>Объемно-планировочное решение</b>	
Высота объекта	Высотные. 75-299 метров (1 балл) <span style="float: right;"><input type="checkbox"/></span>
	Сверхвысотные. 300-599 метров (2 балла) <span style="float: right;"><input type="checkbox"/></span>
	Супервысотные. Более 600 метров (3 балла) <span style="float: right;"><input type="checkbox"/></span>
Поворот этажа	Не поворотный (0 баллов) <span style="float: right;"><input type="checkbox"/></span>
	Угол поворота < 5° (1 балл) <span style="float: right;"><input type="checkbox"/></span>

	Угол поворота 5° - 10° (2 балла)	<input type="checkbox"/>
	Угол поворота > 15° (3 балла)	<input type="checkbox"/>
Форма плана	Компактная (1 балл)	<input type="checkbox"/>
	Развитая (2 балла)	<input type="checkbox"/>
<b>Объемно-пространственное решение</b>		
Отверстия для усиления скорости ветрового потока	Отсутствуют (0 баллов)	<input type="checkbox"/>
	Одинокое (1 балл)	<input type="checkbox"/>
	Несколько (2 балла)	<input type="checkbox"/>
Ветроулавливающая форма здания	Не применено (0 баллов)	<input type="checkbox"/>
	Ускорение ветровых потоков менее чем на 5 %* (1 балл)	<input type="checkbox"/>
	Ускорение ветровых потоков от 5 до 10 % (2 балла)	<input type="checkbox"/>
	Ускорение ветровых потоков более чем на 10 % (3 балла)	<input type="checkbox"/>
Внешний продуваемый каркас здания	Не применено (0 баллов)	<input type="checkbox"/>
	Менее 5 % от общей площади фасада здания (1 балл)	<input type="checkbox"/>
	От 5 % до 10 % от общей площади фасада здания (2 балла)	<input type="checkbox"/>
	Более 10 % от общей площади фасада здания (3 балла)	<input type="checkbox"/>
Интегрируемые фотоэлектрические модули (BIPV).	Не применено (0 баллов)	<input type="checkbox"/>
	Установка на одной из поверхностей (1 балл)	<input type="checkbox"/>
	Установка на двух поверхностях (2 балла)	<input type="checkbox"/>
	Установка на всех поверхностях (3 балла)	<input type="checkbox"/>

* процент высчитывается относительно средней скорости ветра, характерной для выбранной высоты	
<b>Инженерно-техническое решение</b>	
Системы, следящие за траекторией солнца	Не использованы в проекте (0 баллов) <input type="checkbox"/>
	Менее 15 % от общей площади фасада здания (1 балл) <input type="checkbox"/>
	От 15 % до 25 % от общей площади фасада здания (2 балла) <input type="checkbox"/>
	Более 25 % от общей площади фасада здания (3 балла) <input type="checkbox"/>
Динамическое здание	Не использовано в проекте (0 баллов) <input type="checkbox"/>
	Использовано в проекте (1 балл) <input type="checkbox"/>
Применение пьезоэлектрических элементов	Не использовано в проекте (0 баллов) <input type="checkbox"/>
	Использовано в проекте (1 балл) <input type="checkbox"/>

Были проанализированы 55 зданий и проектов, максимальную сумму баллов – 13 набрал проект «Вертикальный город» в Дубаи. На втором месте группа объектов, среди которых «Штаб-квартира инвестиционного совета» и «Бурж-Халифа», оба здания находятся в Объединенных Арабских Эмиратах. Основная масса объектов и проектов набрала от 4 до 7 баллов. Это объясняется тем, что в настоящее время наиболее распространены высотные объекты среднего размера, в которых применяются 1-2 возобновляемых источника энергии. Поэтому набираемая ими сумма баллов примерно одинакова и колеблется в пределах 3-4 баллов (таблица 5). Лидером стал небоскреб «Дубайский вертикальный город». Это объясняется масштабом данного проекта. По задумке архитекторов это должно быть здание более 1 километра в высоту, этажи которого поворачиваются примерно на 3-5 градусов каждый относительно предыдущего, используется энергия солнца, ветра и воды. Все эти характеристики позволили этому объекту

набрать 13 баллов. Максимально возможный результат – 29 баллов. Однако, в связи с тем, что в данной работе рассматриваются отдельные здания, а не комплексные элементы застройки, сочетание всех параметров в одном проекте практически невозможно, в силу их специфичности [17].

Таблица 5

## Итоговая таблица ранжирования высотных зданий с ВИЭ по баллам

№ п/п	Наименование здание	Баллы
1.	«Дубайский Вертикальный Город» («Dubai Vertical City»)	13
2.	«Башня Жемчужной Реки» («The Pearl River Tower»)	12
3.	Башня «Игла»	12
4.	«Спиральный небоскреб»	11
5.	«Логистический город» («Logistic City»)	10
6.	«Башня Власти» («Tower of Power»)	10
7.	«Гигантское яйцо» («Giant Eco-Egg»)	9
8.	Башни «Металлика» («Metallica» Towers)	9
9.	«Геодезическая Структура» («Structural Geodesics»)	9
10.	«Бурж-Аль-Таква» («The Burj-Al-Taqa»)	9
11.	«Штаб-квартира Инвестиционного Совета Абу-Даби» («Abu Dhabi Investment Council Headquarters»)	8
12.	«Бурж Халифа» («Burj Khalifa»)	8
13.	«Башня-Маяк» («The Lighthouse Tower»)	8
14.	«Проект Веб» («Web Project»)	8
15.	«Зеленый Центр Ухань» («Wuhan Greenland Center»)	8
16.	«Чикагская Солнечная Башня» («Chicago Solar Tower»)	7
17.	«Башня Чистых Технологий» («Clean Tech Tower»)	7
18.	«Здание КОР» («COR Building»)	7
19.	«Кристалльный остров» («Crystal Island»)	7
20.	«Зеленый проект «Урожай» («Harvest Green Project»)	7

21.	«Башня Мераас» («Meraas Tower»)	7
22.	«Миаполис» («Miapolis»)	7
23.	«Башня Святого Креста» («Swietokrzyska Tower»)	7
24.	«Высотная Структурная Эмблема» («Tall Emblem Structure by B + U»)	7
25.	«Всемирный Торговый Центр» в Бахрейне («The Bahrain World Trade Center»)	7
26.	«Витая ветряная башня»	7
27.	«Небесная деревня Бангару»	7
28.	«Штаб-квартира Страховой Компании КНР» («Headquarter of China Insurance Group»)	6
29.	«Летающий Парк» («Light Park»)	6
30.	«Башня Страта» («Strata Tower»)	6
31.	Башня «Гидра» («The Hydra Tower»)	6
32.	«Тропические Грибы» («Tropicool Mushrooms»)	6
33.	«Танцующие драконы»	6
34.	«Штаб-квартира корпорации «Манитоба» («Manitoba Hydro Place»)	6
35.	«Экобашня Азури» («Azouri Brothers»)	5
36.	«Солнечная Башня-Факел» («Link Solar Tower»)	5
37.	«Башни Гавани и Пляжа» («Marina & Beach Towers»)	5
38.	«Солнечная Городская Башня» («Solar City Tower»)	5
39.	«Штаб-квартира страховой компании «CIS» («The CIS Tower»)	5
40.	«Энергетический Цветок Ухань» («The Wuhan Energy Flower»)	5
41.	Небоскреб-«кактус»	5
42.	«Солнечное общежитие»	5
43.	«Бандра Ом» («Bandra Ohm»)	5
44.	«Лови Момент» («Carpe Diem»)	5
45.	«Штаб-квартира корпорации «PNC» («Tower at PNC Plaza»)	5

46.	«Башня 10 МВт» («10 MW Tower»)	4
47.	«Башня Золотого Побережья» («Gold Coast's Evo»)	4
48.	«Бухта Ириса» («Iris Bay»)	4
49.	«Круг Жизни» («Life Cycle»)	4
50.	«Спиралевидный Солнечный Небоскреб» («Spiraling Solar-Powered Skyscraper»)	4
51.	«Солнечный» жилой дом («The Solaire» / Twenty River Terrace)	4
52.	«Парк Заабил» («Zaabeel Park»)	4
53.	«Вертикальный лес»	4
54.	«Небоскреб из Соломинок» («Strawscaper»)	4
55.	«Волшебная Птица» («Avis Magica»)	4

## 2.2 Определение влияния на архитектуру высотных зданий применения возобновляемых источников энергии

«Энергия ветра, как вариант энергии Солнца, освоена человеком очень давно. Со временем системы усложнялись, в начале XIX века был сконструирован ветрогенератор Савониуса (с вертикальной осью вращения), а в 1890 г. первые ветрогенератор с горизонтальной осью вращения» [22].

В настоящее время построено большое количество различных установок, позволяющих использовать и преобразовывать энергию ветра. Существует ряд параметров, по которым их можно классифицировать. Для наглядности все данные сведены в таблицу 6. Результаты будут иллюстрированы архитектурными решениями высотных зданий с ветрогенераторами (рисунок 33).

Таблица 6

### Особенности ветроэнергоустановок

Критерии классификации	Результаты (варианты)
Расположение оси вращения относительно поверхности земли	- карусельные (с вертикальной осью вращения); - крыльчатые (с горизонтальной осью вращения);
Количество лопастей	- однолопастные;

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- двухлопастные;</li> <li>- трехлопастные;</li> <li>- многолопастные;</li> <li>- безлопастные</li> </ul>
Материал лопастей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- жесткие;</li> <li>- парусные</li> </ul>
Мощность	<ul style="list-style-type: none"> <li>- большой мощности (более 1 МВт);</li> <li>- средней мощности (от 100 кВт до 1 МВт);</li> <li>- малой мощности (от 5 до 99 кВт);</li> <li>- очень малой мощности (менее 5 кВт)</li> </ul>
Шаговый признак винта	<ul style="list-style-type: none"> <li>- с изменяемым шагом;</li> <li>- с фиксированным шагом</li> </ul>
Тип подключения к сети	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сетевой ветрогенератор;</li> <li>- автономный ветрогенератор;</li> </ul>

Важный параметр - расположение оси вращения относительно поверхности земли. Он отражается на объемно-планировочном решении высотного здания при использовании в его структуре ветрогенераторов. Большее число ветровых потоков – горизонтально направленные. Поэтому вертикальная развитость здания подходит для применения ветрогенераторов с горизонтальной осью вращения. Чаще всего это несколько ветрогенераторов, установленных в верхней части объекта, где скорость ветра максимальна. Существуют объекты с точечным размещением установок, со сквозными отверстиями, с консольным размещением инженерного оборудования, работающего на энергии ветра. Меньше разнообразия при использовании ветрогенераторов с вертикальной осью вращения. Они монтируются либо на завершении (на крыше) высотного здания, либо на кровле стилобатной части, либо внутри основного объема сооружения. В последнем случае это энергогенератор, который находится в сквозном отверстии в объекте или же установлен между двумя его корпусами. «Современные ветроустановки с горизонтальной осью и высоким коэффициентом скорости имеют КПД 46—48%, приближаясь по этому показателю к традиционным

тепловым станциям» [2]. «Лопастей английской турбины имеют размах 60 метров и она производит примерно 3 МВт энергии (72 МВт·ч)» [11]. При среднем энергопотреблении высотного здания в 50 000 МВт·ч, подобная турбина или аналог из нескольких сможет обеспечить около 10% от общего энергопотребления объекта. Стоимость подобной системы примерно 120-150 млн. рублей. Срок окупаемости 10-15 лет.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что высока вариативность внедрения инженерного оборудования, работающего на энергии ветра. Недавно в КНР был представлен проект «Башня Власти». Ограждающие конструкции представляют собой оболочку сложной формы с пустотами. В местах пересечения этого «каркаса» установлены ветрогенераторы. Таким образом, помимо необычного визуального решения высотного здания, проектировщики обещают и значительное количество вырабатываемой электроэнергии.

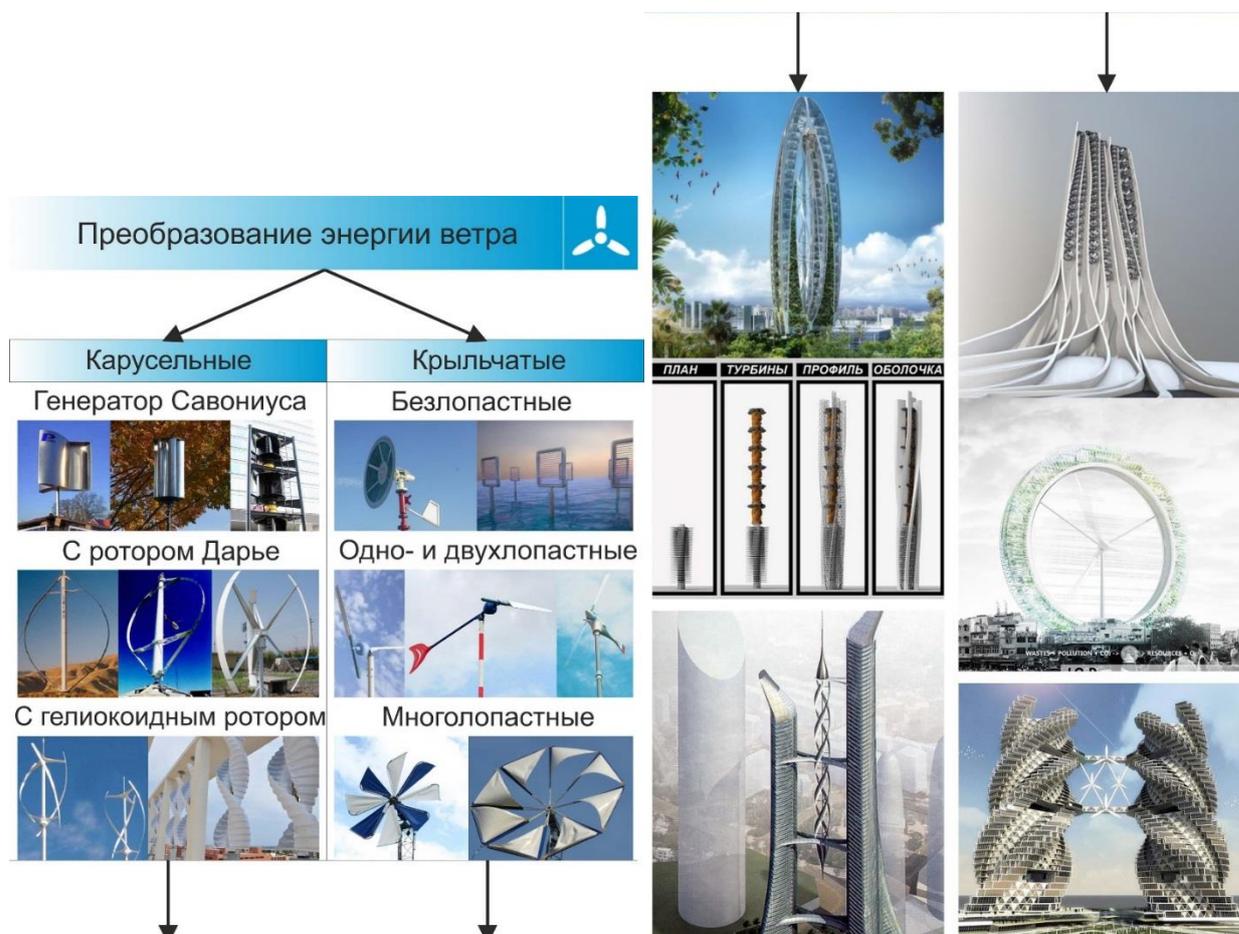


Рис. 33. Типы ветрогенераторов и проекты высотных зданий с их применением

Следующий рассматриваемый возобновляемый источник энергии – солнце. Основное отличие – тип получаемой энергии (таблица 7). Самый распространенный вариант перевод солнечной энергии в электрическую с помощью нагрева кремниевого состава, напыленного на пластину. Он применим как в высотном, так и в малоэтажном строительстве. Второй вариант – перевод солнечной энергии в тепловую посредством нагрева теплоносителя в трубках. Решение чаще применяется в мало- и среднеэтажных зданиях для отопления и горячего водоснабжения (рисунок 34).



Рис. 34. Типы гелиоустройств

Таблица 7

#### Особенности гелиоэнергоустановок

Критерии классификации	Результаты (варианты)
Тип получаемой энергии	- электрическая (гелиопанели); - тепловая (гелиоколлекторы)
Типы кремниевых пластин гелиопанелей	- монокристаллические (КПД 19-22%, срок службы – 40-50 лет); - поликристаллические (КПД 14-18%, срок службы – 25-40 лет);

	- тонкопленочные или аморфный кремний (КПД 15-17%, срок службы – 10-15 лет)
Материал гелиопанелей	- кремний; - теллурид кадмия; - медь, индий, селен, галлий; - полимеры (полифенилен, углеродные фуллерены, фталоцианин меди)
Типы конструкции гелиоколлекторов	- плоские; - трубчатые (вакуумные); - открытые
Область применения гелиоколлекторов	- поддержка отопления; - обеспечение горячего водоснабжения; - подогрев бассейнов
Тип подключения к сети	- сетевой ветрогенератор; - автономный ветрогенератор;
Технология «Интегрируемых строительных фотоэлектрических модулей» («Building Integrated Photovoltaics» (BIPV))	
<b>Поверхность установки</b>	<b>Тип модуля</b>
Плоская крыша	Плоская пластина
Скатная кровля	«Солнечная» черепица
Фасад	Фасадный модуль
Остекление	Прозрачный модуль

Недавно появилось новое поколение гелиопанелей - «Интегрируемые строительные фотоэлектрические модули». Их основная особенность – возможность монтажа на любую поверхность здания: кровля, наклонная плоскость, вертикальная стена или остекление. Особый интерес представляют прозрачные панели, которые способны пропускать дневной свет и при этом преобразовывать солнечную энергию (рисунок 35). Современные гелиоустановки обладают коэффициентом полезного действия равным 20-25%, существуют

опытные образцы с показателем в 35-40%. Вычислив среднее арифметическое от высот всех проанализированных объектов получаем среднее здание высотой 290 м. Если брать стандартную панель, вырабатывающую 80 кВт·ч/день, то потребуется площадь порядка 7000-8000 шт. или около 10000 м<sup>2</sup> для обеспечения 56 МВт·ч энергии. Если брать усредненное значение общего энергопотребления высотного здания 50 000 МВт·ч. Таким образом, с помощью энергии солнца можно обеспечить здание чистой энергией на 8-10 % от общего необходимого количества. Стоимость массива панелей около 50-70 млн. рублей. Примерный срок окупаемости 10-15 лет. Существуют данные, согласно которым при увеличении КПД устройства, сократится срок его окупаемости.

Внедрение инженерного оборудования, работающего на энергии воды и земли, не оказывает влияние на объемно-пространственное решение высотного здания. Существуют экспериментальные разработки использования биомассы на фасаде объекта. «Предлагаемая система основывается на применении панелей фотобиореакторов, в которых происходит развитие водорослей. Для этого используется солнечный свет, углекислый газ и вода. Панели навешиваются на фасад и служат как для выращивания водорослей, так и для защиты здания от перегрева и остывания» [36]. В процессе эксплуатации панелей водоросли будут развиваться и наступит момент, когда они практически заполнят доступный объем. Далее они извлекаются, собираются и перерабатываются в биомассу, энергия которой преобразуется в электрическую. Подобные решения начинают внедряться в высотных зданиях, пример – «Башни Марина» в Чикаго. Это два цилиндрических объекта, построенных в 1964 году, функции – жилая, офисная, нижние 19 этажей отданы под парковки. В настоящее время рассматривается идея использования биопанелей с водорослями для облицовки верхних этажей комплекса (рисунок 36).

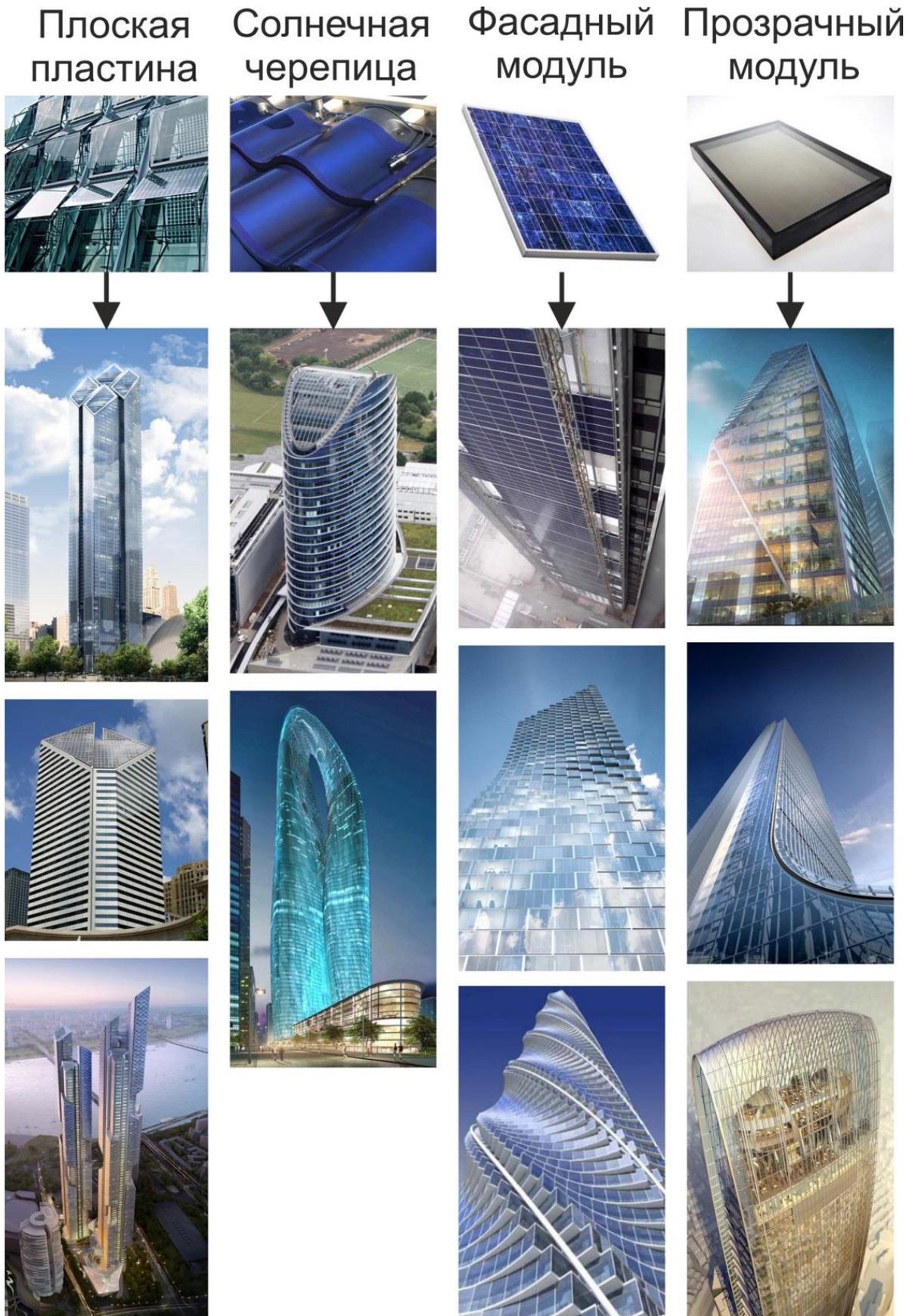


Рис. 35. Виды интегрируемых строительных фотоэлектрических модулей.

Примеры высотных зданий с их применением



Рис. 36. Панели фотобиореакторов на комплексе «Башни Марина», США.  
Концепт

Источник: <http://stroitelstvo.org/images/vodorosli1.jpg>

Архитектурное решение высотного здания может быть более разнообразно, за счет применение инженерного оборудования, использующего ВИЭ. В первую очередь это касается установок, преобразующих энергию ветра и солнца.

### **2.3 Классификация и предложения по размещению типов высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии на территории Российской Федерации.**

Был проведен анализ 55 построек и проектов высотных зданий с ВИЭ. Опираясь на эти данные, составлена классификация типов. В ее основу положено разделение зданий по количеству и набору применяемых ВИЭ. Осуществлено крупное деление на моноэнергетические и полиэнергетические объекты. В первых применен один из пяти источников, во второй группе – несколько, в разных сочетаниях. Каждая из групп разбивается на отдельные типы. Рассмотрим подробнее моноэнергетические типы высотных зданий (рисунок 37):

— Здания, использующие энергию ветра. Тип объектов характеризуется применением инженерного оборудования, основанного на преобразовании ветровой энергии. Он делится на два вида: объекты со сквозными отверстиями, в которых установлены ветрогенераторы и здания с ветроустановками, размещаемыми на открытых поверхностях. Первый характеризуется особым объемно-пространственным решением, которое концентрирует и направляет потоки ветра. Разогнанные и усиленные, они проходят сквозь установленный на их пути ветрогенератор, что позволяет увеличить его КПД. Характерные примеры: «башня Страта» (Великобритания), «Всемирный торговый центр» (Бахрейн). Второй – объекты, в структуру которых на разной высоте внедрены ветроустановки («башня Власти», КНР, «Гигантское яйцо», США). Один из распространенных приемов – установка ветрогенератора в верхней части высотного здания. Ветроэлектростанция венчает объект, придавая его силуэту характерные очертания («Жилой дом в Вэст-Энд», США).

— Здания, использующие энергию солнца. Значительная часть внешней облицовки объектов этого типа - гелиопанели. Они определяют членение и фактуру фасадов. Возможен монтаж на высотном здании специальной конструкции (например, экрана), на котором будут размещаться фотоэлементы гелиосистемы, как в «Комплексе инвестиционного совета» в Абу-Даби (ОАЭ). Другим распространенным вариантом является создание наклонной поверхности или крыши, угол которой равен углу падения солнца, для наибольшей эффективности системы («Бухта Ириса», ОАЭ).

— Здания, использующие энергию воды. Объекты возводятся рядом с водным источником, как правило, рекой или океаном. Планировочное решение нижних этажей (стилобатной части) определяется конструкцией энергоустановки. В большинстве случаев это небольшие гидроэлектростанции, которые работают на приливной энергии. В связи с этим, водные акватории со стоячей водой или слабым течением не подходят для данного типа.



Рис. 37. Моноэнергетические типы высотных зданий

Примеров подобных зданий не так много, в связи с частым отсутствием прямого выхода на водную поверхность из нижней части объекта. Одним из удачных проектов является «Башня Золотого побережья» (Австралия).

— Здания, использующие энергию земли. Примером использования данного вида энергии является «17-ти этажный энергоэффективный жилой дом в микрорайоне Никулино-2» в Москве. В здании внедрена теплонасосная установка для горячего водоснабжения, использующая тепло грунта и удаляемого вентиляционного воздуха [8]. Примененное решение вкупе с другими технологиями позволили добиться снижения потребления энергии из городских электросетей. Это многоэтажное здание, но не высотное. Среди последних можно выделить «Императорскую Башню» и «Башню Индии», оба объекта запроектированы в Индии. Данный ВИЭ влияет на планировку первых и подземных этажей объекта.

— Здания, использующие энергию биомассы. Биомасса — растительные и животные материалы, которые могут быть преобразованы в электрическую, тепловую энергию, а также биогаз (метан, водород). «Это шестой по запасам из доступных на настоящий момент источников энергии после горючих сланцев, урана, угля, нефти и природного газа» [44]. Планировочное решение здания, использующего энергоустановки на данной энергии, должно предусматривать площади, для размещения инженерного оборудования, которые изолированы от остальных частей объекта. Для стабильной работы энергосистемы, необходим постоянный подвоз сырья. Поэтому чаще всего подобные решения внедряют в зданиях, расположенных рядом с лесопилками, фермерскими хозяйствами и подобными объектами. В последние годы стали появляться проекты вертикальных сельскохозяйственных ферм - высотных сооружений, на этажах которых выращиваются овощи и фрукты, а также возможно ведение животноводства. Внедрение установок, работающих на энергии биомассы, в такие объекты является логичным и целесообразным, т.к. помимо дешевой энергии, сырье для которой всегда «поставляет» сам объект, удастся обеспечить наиболее

полный цикл переработки отходов производства. Пример – концепты высотных сельскохозяйственных ферм для Лондона.

Моноэнергетический тип высотных зданий является распространенным объектом. Это связано с простотой внедрения системы, работающей на одном ВИЭ, и ее увязке с другим инженерным оборудованием здания. Данный подход позволяет создавать объемно-пространственные решения, которые целенаправленно увеличивает коэффициент полезного действия установки, работающей на возобновляемой энергии. Яркие примеры – ветроулавливающее здание, а также объект с динамическим фасадом, поворачивающимся, следуя траектории солнца. Однако, имея спектр из пяти основных возобновляемых источников, проектировщики пришли к идее их симбиоза в одном объекте. Так возникли полиэнергетические типы высотных зданий.

#### Полиэнергетические типы высотных зданий.

Это объекты, в которых применены два и более ВИЭ. Исходя из наличия пяти основных видов «чистой» энергии, их возможное число сочетаний более двадцати комбинаций. Это может быть, как сочетание четырех, пяти, так и двух / трех источников энергии. Проведенный анализ показал, что наиболее распространенными являются пять основных типов, которые и будут в дальнейшем рассмотрены (рисунок 38).

— Тип 1. Энергия солнца и ветра. Сегодня является одним из самых распространенных типов высотных зданий. Использование «связки» ветро- и гелиоустановок позволяет получить большое количество энергии, практически в любой климатической зоне. Объемно-пространственное решение в каждом случае строго индивидуально, и ограничивается лишь фантазией архитектора и техническими возможностями оборудования, для преобразования энергии. Примерами подобных объектов являются «Бурж Халифа» (ОАЭ), «Башня Мераас» (ОАЭ). Первое высотное здание вырабатывает электроэнергию, используя 61-метровую турбину, расположенную в верхней части, а также массив солнечных панелей (частично располагающихся на стенах башни) общей площадью около 15 тыс. м<sup>2</sup>.

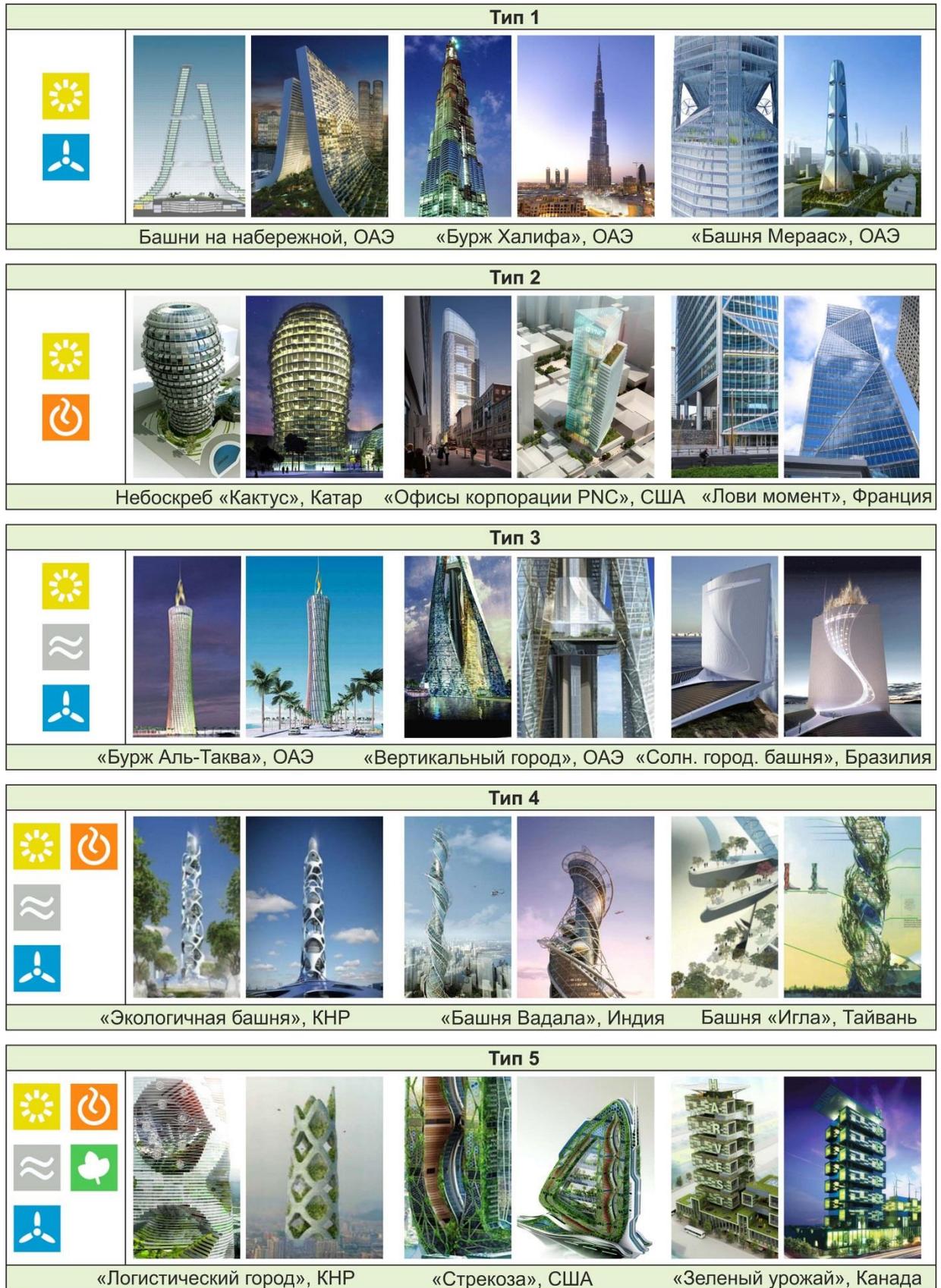


Рис. 38. Полиэнергетические типы высотных зданий

Второй объект практически полностью облицован стеклом, со слоем, позволяющем преобразовывать солнечную энергию в электрическую, по бокам на

трех разных высотах расположены ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения. Решения, использующие энергию ветра опираются на эффект Вентури.

— Тип 2. Энергия солнца и земли. Применение двух данных ВИЭ энергии рационально в связи с отсутствием у них отрицательных эксплуатационных недостатков, например, вибрации у ветрогенераторов (высотное здание «Кактус» в Катаре). Возведение зданий с этими источниками возможно вблизи водных акваторий, что помимо энергетической составляющей также положительно сказывается на композиционной характеристике высотного здания и возможности психологической разгрузки посетителей в связи с расположенной рядом водой. Преобразование солнечной энергии может быть обеспечено путем облицовки (может быть частичной) фасадов здания, наклонных частей, выступающих фальшьэлементов.

— Тип 3. Энергия солнца, ветра и воды. Данный тип – комплексный объект, в энергосистему которого включено сразу три ВИЭ [33]. Основной архитектурной особенностью является, как правило, плавная бионическая форма, возможно наличие динамических деталей. В ряде объектов прослеживается спиралевидная, закрученная форма. Это связано в том, что данный прием позволяет перенаправить ветровые потоки и одновременно дать необходимый изгиб и наклон части фасада, для восприятия солнечного света. Пример подобного решения – «Вертикальный город» в ОАЭ. Форма высотного здания позволяет интенсифицировать выработку ВИЭ.

— Тип 4. Энергия солнца, ветра, воды и земли. Для данного типа характерны внушительные размеры высотного здания, как правило, с развитой стилобатной частью. Возможны применения масштабных решений, например, размещение гелиополя или массива ветрогенераторов на крыше стилобатной части, применение прозрачной фотоэлектрической пленки в окнах объекта, фасада, преобразующего солнечную энергию и раскрывающемуся подобно бутону цветка, в зависимости от интенсивности освещения («Экологичная башня», КНР; «Башня-игла», Тайвань) [34].

— Тип 5. Энергия солнца, ветра, воды, земли и биомассы. Данный тип представляет из себя самое крупное сооружение. Это вертикальный город - объект, который вмещает несколько тысяч человек, площадь этажа от 5000 м<sup>2</sup> и более. Построенных подобных высотных зданий на сегодняшний момент нет, однако, существует несколько десятков проектов. Как правило, это мегаструктуры, как с точки зрения архитектуры, так и с точки зрения конструкций и инженерных коммуникаций. Поскольку, энергозатраты на такую систему будут колоссальны, в проект закладывается возможность применения всех ВИЭ, вертикального озеленения, сбора дождевой воды и ряда других решений [33]. Возможным становится применение экспериментальных разработок, таких как облицовочные панели, наполненные раствором с водорослями, способными играть роль солнцезащиты и одновременно преобразовывать свет в электрическую энергию. Также перспективным направлением является возможность применения модульной архитектуры, что позволяет достраивать как жилые (или функционально иные) ячейки, так и дополнять энергосистему объекта необходимым количеством энергетических модулей, преобразующих ВИЭ. Форма этих ячеек может быть различной, наиболее часто встречаются в проектах 3 типа: шарообразная, треугольная и гексагональная. Одним из примеров может служить «Логистический город», КНР. Подобные проекты существуют и для Объединенных Арабских Эмиратов, и Соединенных Штатов Америки.

В более чем 50 % построенных и проектируемых высотных зданий используются несколько ВИЭ. Данная особенность позволяет разнообразить архитектурное решение и повысить эффективность энергосистемы объекта. В настоящее время прослеживается тенденция возведения зданий все большей высоты. Помимо вертикальной развитости данные объекты имеют значительные размеры в плане. Эти обстоятельства, вкуче с повышенным энергопотреблением, позволяют предположить продолжение практики применения нескольких ВИЭ и появление новых типов высотных зданий.

Объемно-пространственное решение высотных зданий часто является визуальным «манифестом», применяемых технологий. Применение ВИЭ положительно сказывается как на ментальности людей, так и на экологической ситуации. В целом эта тенденция положительно отражается на имидже высотных зданий.

В настоящее время в мире примерно равное соотношение полиэнергетических и моноэнергетических зданий. В каждой группе есть свои «лидеры». Для моноэнергетических зданий это объекты, использующие энергию солнца и ветра, для полиэнергетических – тип 1, тип 2, тип 3.

Установлено соотношение применения ВИЭ в высотных зданиях (таблица 8).

Таблица 8

Соотношение применения ВИЭ в моно- и полиэнергетических высотных зданиях

Наименование источника, типа здания	Занимаемая доля от общего количества, %
<b>МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗДАНИЯ</b>	
Солнце	50,0
Ветер	40,0
Вода	3,33
Земля	3,33
Биомасса	3,34
<b>ПОЛИЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗДАНИЯ</b>	
Тип 1 (солнце + ветер)	72,0
Тип 2 (солнце + земля)	12,0
Тип 3 (солнце + ветер + вода)	8,0
Тип 4 (солнце + ветер + вода + земля)	4,0
Тип 5 (солнце + ветер + вода + земля + биомасса)	4,0

Выявлена зависимость выбора возобновляемых источников энергии от функционального решения в высотных зданиях. Инженерные устройства, перерабатывающие энергию солнца, воды и земли, могут быть установлены в

объектах с любым набором функций. Энергию ветра не рекомендуется применять в зданиях (в случае монофункциональности) и на этажах (в случае полифункциональности) со следующими функциями: жилая, рекреационная, гостиничная. Установки для переработки биомассы и биогаза рекомендуется использовать в сельскохозяйственных высотных фермах и лабораториях, в торговой и выставочной функциях. Высотные здания с офисной функцией как правило располагаются в центральной или срединной зонах города. В этих областях высокая транспортная загруженность. Необходимость постоянного подвоза сырья для функционирования установок, работающих на энергии биомассы способна усложнить автомобильную доступность к объекту, увеличить время въезда и выезда.

Рассмотрим энергетический потенциал России по каждому из источников, исходя из карт энергоресурсов страны. Карты составлены министерством энергетики Российской Федерации.

1. Энергия солнца. Территория страны разделяется на 3 «пояса» согласно продолжительности солнечного сияния. Наиболее благоприятными районами являются южные области страны, находящиеся южнее 56 параллели. Это такие города как Ростов-на-Дону, Волгоград, Омск, Новосибирск, Иркутск, Чита, Хабаровск, а также Магаданская область, Кавказ и республика Крым. Здесь наблюдается продолжительность солнечного сияния более 2000 часов в год (рисунок 39).

2. Энергия ветра. Согласно карте осуществлено трехчастное деление России в зависимости от среднегодовой скорости ветра. Районами, в преобладающими ветрами скоростью более 5 м/с являются: побережья Северного Ледовитого океана, Берингова, Охотского и Японского морей, южная часть Читинской области, Кавказа и республика Крым. Основная часть территории страны лежит в зоне со средними скоростями ветра от 3 до 5 метров в секунду (рисунок 40). Измерение скорости ветра производится на прилегающей к поверхности земли участке.



Рис. 39. Карта солнечного потенциала РФ

3. Энергия земли. «На глубине до 4–6 км горячие породы с температурой 100–150 °С распространены почти повсеместно, а с температурой 180–200 °С на довольно значительной части России (рисунок 41). Этого вполне достаточно для целей теплоснабжения» [16].

4. Энергия воды. С одной стороны, в России существуют широкие полноводные реки, построено большое количество ГЭС. С другой стороны, небольшая часть территории страны имеет выход к морям и океанам. Преобразование энергии с помощью дамб и плотин малоприменимо в высотном строительстве. Речь скорее идет о приливных электростанциях, возможности установки которых в России пока малоизученны, однако, мировой опыт показывает, что подобные технологии не только существуют, но являются эффективными. Для их реализации необходим выход к незамерзающей водной акватории с приливами и отливами. Под этот критерий подходят Азовское, Черное, Красное Японское, Охотское, Белое, Баренцево моря.

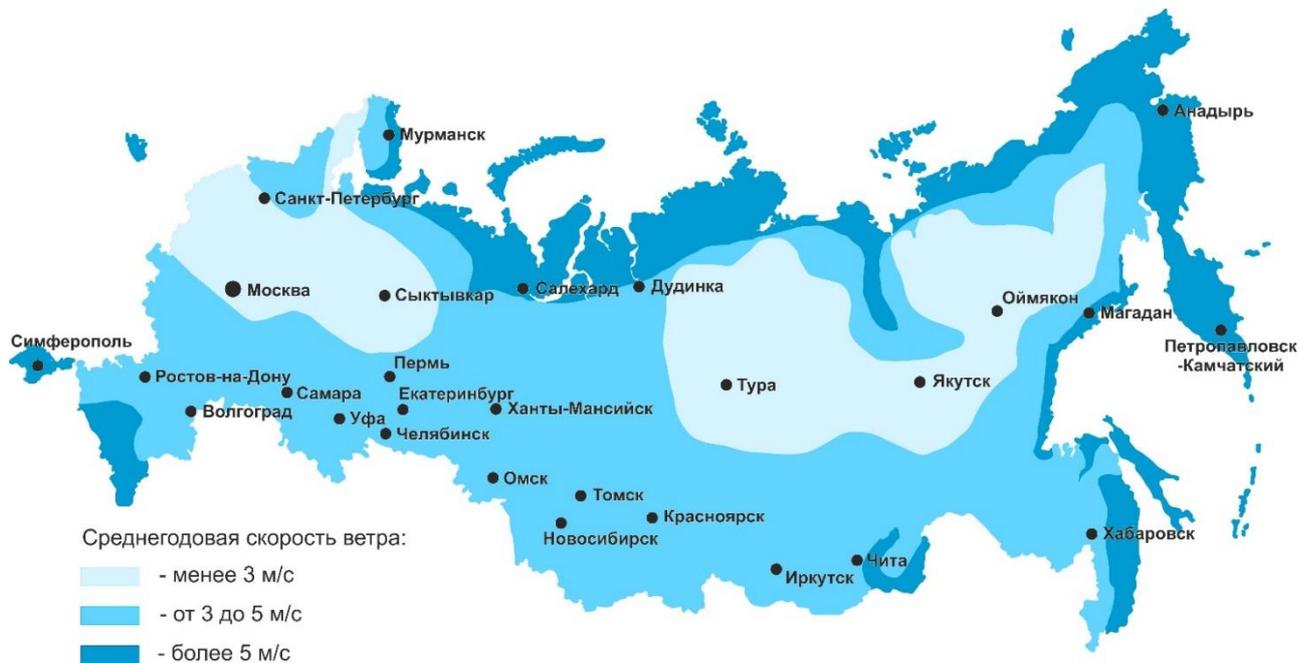


Рис. 40. Карта ветрового потенциала РФ

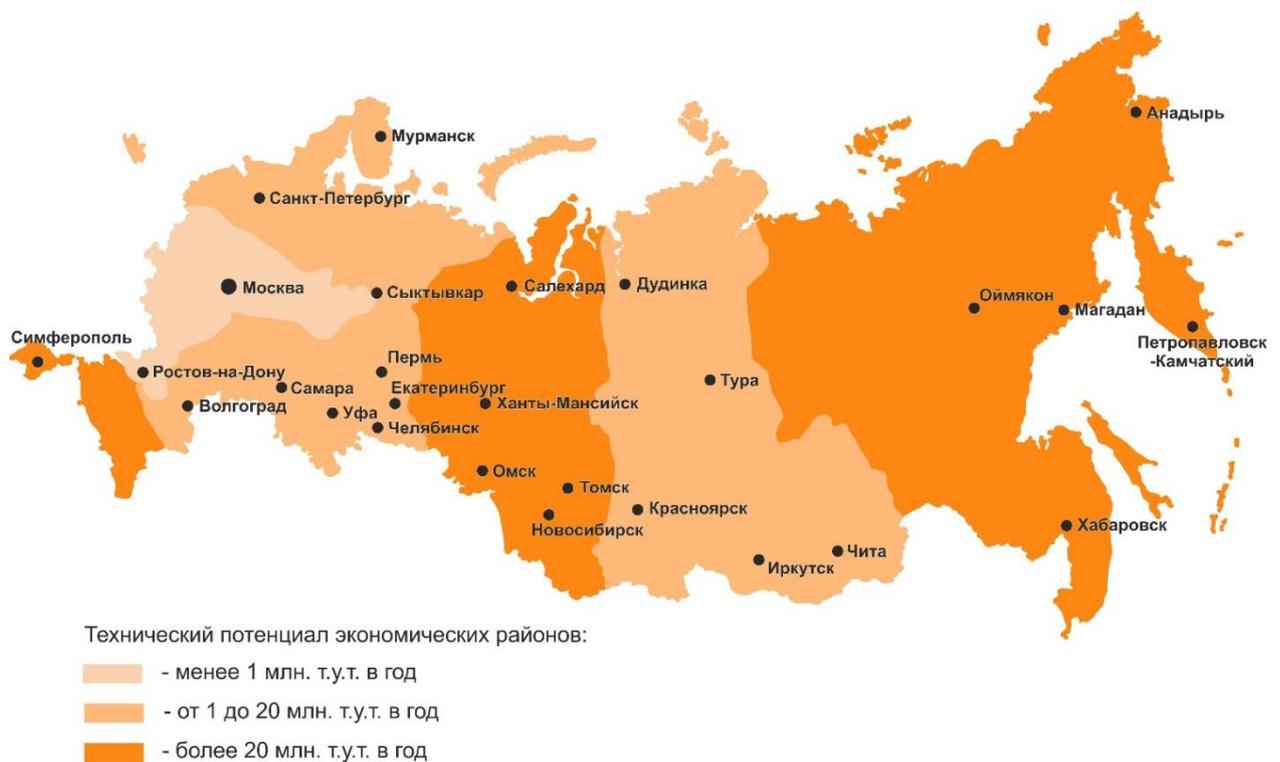


Рис. 41. Карта геотермального потенциала РФ

5. Энергия биомассы. Показатели данного источника сложнее всего оценить, т.к. он включает в себя как отходы от производства и заготовки леса, переработку отходов сельского хозяйства и ряд других аспектов. Возьмем за основу карту агропромышленного потенциала России. Согласно определению – «это

совокупность отраслей экономики страны, включающая сельское хозяйство и отрасли промышленности, тесно связанные с сельскохозяйственным производством, осуществляющие перевозку, хранение, переработку сельскохозяйственной продукции, поставку ее потребителям, обеспечивающие сельское хозяйство техникой, химикатами и удобрениями, обслуживающие сельскохозяйственное производство» [79]. Измерения потенциала производятся в тоннах условного топлива (т.у.т.). Максимальными характеристиками обладают регионы средней полосы России и Кавказа. Средние показатели наблюдаются в Сибирском федеральном округе.

Путем наложения пяти карт энергоресурсов России, была составлена карта зонирования территории нашей страны с учетом ВИЭ (рисунок 42). Она показывает зоны с наибольшим потенциалом энергии ветра и солнца, геотермальной энергии и биомассы. Территориями, где потенциал всех пяти источников является максимальным, являются:

— южный и северный Кавказ в составе субъектов: Ставропольский край, Карачаево-Черкесская республика, Кабардино-Балкарская республика, республика Северная Осетия-Алания, Республика Ингушетия, Чеченская республика, республика Дагестан;

— южная часть Читинской области;

— Приморский край, юго-восточная и северо-восточная часть Хабаровского края;

— восточная (прибрежная) часть Магаданской области;

— республика Крым.

В этих районах продолжительность солнечного сияния составляет более 2000 часов в год, среднегодовая скорость ветра более 5 метров в секунду, имеется значительный потенциал биомассы и геотермальной энергии. Большая часть территории России попадает в зону со средними показателями, тем не менее, строительство энергоактивных зданий там является целесообразным.



Рис. 42. Карта наиболее благоприятных зон возобновляемой энергетики РФ.

Приложения по размещению выявленных типов высотных зданий.

Возведение высотных объектов способно компенсировать относительно невысокие скорость ветра и продолжительность солнечного сияния благодаря специализированным объемно-планировочным решениям.

Даны предложения по конкретному местоположению для каждого из 10 типов, выявленных типов высотных зданий, в зависимости от применяемого ВИЭ (или их сочетания), и от природно-климатических особенностей территории (таблица 9).

Таблица 9

## Предложения по размещению выявленных типов высотных зданий с ВИЭ

Тип зданий	Территория размещения	Причина размещения на данной территории
Здания, использующие энергию ветра	Рязанская область	Зона со среднегодовой скоростью ветра от 3 до 5 метров в секунду. Среднее значение для РФ, но присутствует преобладающие направления ветра в течение всего года (южное и западное).
Здания, использующие энергию солнца	Читинская область	Зона с продолжительностью солнечного сияния более 2000 часов в год (максимальное значение в РФ)
Здания, использующие энергию воды	Прибрежная часть Магаданской области	Открытый доступ к Охотскому морю и проливу Шелихова
Здания, использующие энергию земли	Камчатская область	Высокий потенциал геотермальной энергии (более 20 млн. т.у.т. в год)
Здания,	Томская, Кемеровская	Высокий потенциал энергии

использующие энергию биомассы	области	биомассы (500-730 т/га коренных типов экосистем)
Тип 1. Энергия солнца и ветра	Республика Крым	Максимальные потенциалы энергий солнца и ветра
Тип 2. Энергия солнца и земли	Западная часть Иркутской области, республика Бурятия	Максимальные показатели потенциала солнечной энергии, значительный геотермальный потенциал территории
Тип 3. Энергия солнца, ветра и воды	Южная часть Республики Саха (Якутия)	Средние показатели потенциала солнечной и ветровой энергии, но большое количество водных артерий. Преобладающее направление ветра весь год – юго-западное.
Тип 4. Энергия солнца, ветра, воды и земли	Прибрежная зона Приморского края	Максимальные потенциалы энергий всех ВИЭ
Тип 5. Энергия солнца, ветра, воды, земли и биомассы	Прибрежная зона Приморского края, в районе Владивостока и Находки	Максимальные потенциалы энергий всех ВИЭ

Проектирование высотных зданий возможно и в зонах со средним потенциалом ВИЭ. Для максимального результата в аспекте энергообеспечения необходимо применять объемно-планировочные решения, усиливающие КПД энергоустановок. При проектировании высотного здания важным является возможность изменения его местоположения. Границы данного варьирования (в пределах участка, региона, страны) во многом определяют состав включенных в его структуру ВИЭ.

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Определены 6 основных групп факторов, влияющих на формирование высотных зданий с ВИЭ. Каждая группа насчитывает по 4 элемента. Выявлено 20 отдельных характеристик, охватывающих большую часть сторон создания высотных зданий: архитектурные, природно-климатические, социально-экономические, инженерно-технические, экологические, градостроительные. Выявлена взаимосвязь выбора ВИЭ от функционального решения объекта, которая в общем виде заключается в разделении функций по времени нахождения и фазам активности человека.

2. Разработаны критерии оценки архитектурных решений высотных зданий с ВИЭ. Оцениваются следующие параметры: высота объекта, поворот этажа, форма плана, отверстия для усиления ветра, ветроулавливающая форма здания, внешний продуваемый каркас, интегрируемые фотоэлектрические модули, системы, следящие за траекторией солнца, пьезоэлектрические элементы, динамическое вращение здания и наличие ВИЭ. Их применение позволило ранжировать проанализированные объекты по применяемым решениям в балльной системе.

3.. Составлена классификация типов высотных зданий с ВИЭ Она включает в себя 5 моноэнергетических и 5 полиэнергетических типов зданий. Классификация сформирована на основе анализа 55 объектов и проектов, и отражает существующие типы высотных зданий. Среди моноэнергетических типов самыми распространенными ВИЭ стали солнце и ветер, среди полиэнергетических типов лидирует тип 1.

4. Составлена карта наиболее благоприятных зон возобновляемой энергетики России. Выявлены 4 зоны, в них максимален потенциал всех источников энергии. Зоны включают в себя 8 субъектов Российской Федерации. Даны предложения по размещению выявленных в результате классификации типов зданий на территории России.

5. Установлено, что включение в структуру высотного здания инженерного оборудования, работающего на ВИЭ оказывает влияние на архитектуру здания. Решения, использующие энергию воды, земли и биомассы влияют на

функционально-планировочное, архитектурно-художественное и градостроительные решения. Применение энергоустановок на основе ветра и солнца отражается во всех аспектах проектирования объекта. Существующие технологии позволяют применять облицовку фотоэлектрическими панелями на любой поверхности, формируя геометрический узор, заданный рисунок путем компоновки различных модулей. Возможности внедрения ветрогенераторов также широки: установка генератора на завершении здания, создание отверстий в объеме с установкой туда инженерного оборудования для преобразования ветра, монтаж подобных устройств на выступающих частях или на крыше стилобата. Возможны варианты комбинирования подобных решений в одном высотном здании.

### **ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

В результате обобщения данных, полученных в предыдущих главах, был составлен ряд принципов, определяющих особенности архитектуры высотных зданий с ВИЭ. Они базируются на выявленных факторах формирования, критериях оценки, классификации и особенностях архитектуры, характерных для данного типа объектов. Принципы построены как взаимодополняемая иерархичная система. Каждый последующий принцип учитывает предыдущий, при этом их порядок строго определен. Выбранная логика позволяет реализовать сценарность проектирования, оставляя при этом, значительную свободу как для архитекторов, конструкторов, так и для других участников проекта. Каждый принцип имеет ряд приемов, представляющих из себя конкретные мероприятия или стратегии поведения, внедрение которых позволит реализовать его при проектировании высотного здания.

#### **3.1. Принципы формирования архитектуры высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии**

Сформулировано 5 основных принципов, каждый из которых характерен для рассматриваемого объекта исследования – высотных зданий с ВИЭ. Это

специфические особенности при формировании вышеуказанного типа зданий и в имеющемся виде не могут быть применены для другого объекта.

**1) Принцип формирования архитектуры в зависимости от природно-климатических факторов.** Он основан на использовании позитивных условий климата (большое количество солнечных дней в году, сильные преобладающие ветра, положительная среднегодовая температура) путем применения карты зонирования территории России с учетом ВИЭ. Его основное отличие от одноименного принципа используемого сейчас заключается в ориентировании на получение максимального потенциала ВИЭ (рисунок 43). В настоящее время проектировщики в основном просчитывают стандартные параметры влияния природно-климатических характеристик на будущий объект: инсоляция помещений, толщина снегового покрова в зимнее время, уровень грунтовых вод и другие. Данные характеристики важны, но их значение при проектировании высотных зданий с ВИЭ может отличаться от традиционного. Для примера возьмем ветровое воздействие на верхнюю часть здания. Считается, что это негативный аспект с которым необходимо бороться, т.к. он вызывает вибрации и даже колебания всего здания, что особенно ощутимо на высоте. В случае применения ВИЭ мы можем из данного явления извлечь практическую пользу путем внедрения ветрогенераторов в верхнюю часть объекта. Помимо особенного объемно-планировочного решения, возможности самостоятельной выработки части энергии для здания, мы также устраняем сильные горизонтальные нагрузки и возможные вибрации. Это достигается путем фокусирования и направления ветровых потоков через отверстия, в которых установлены ветряки [91]. Если же брать данный принцип для мало- и среднеэтажных зданий с ВИЭ, то при проектировании высотных зданий он имеет большую эффективность. Высотные здания по определению имеют большие размеры, что позволяет внедрять в их структуру более масштабные энергоустановки. Желание девелоперов создать уникальный объект, и как следствие возможность инвестировать значительные средства, позволяет создавать индивидуальное объемно-планировочное решение

объекта, применяя экспериментальные инновационные разработки в области возобновляемой энергетики.

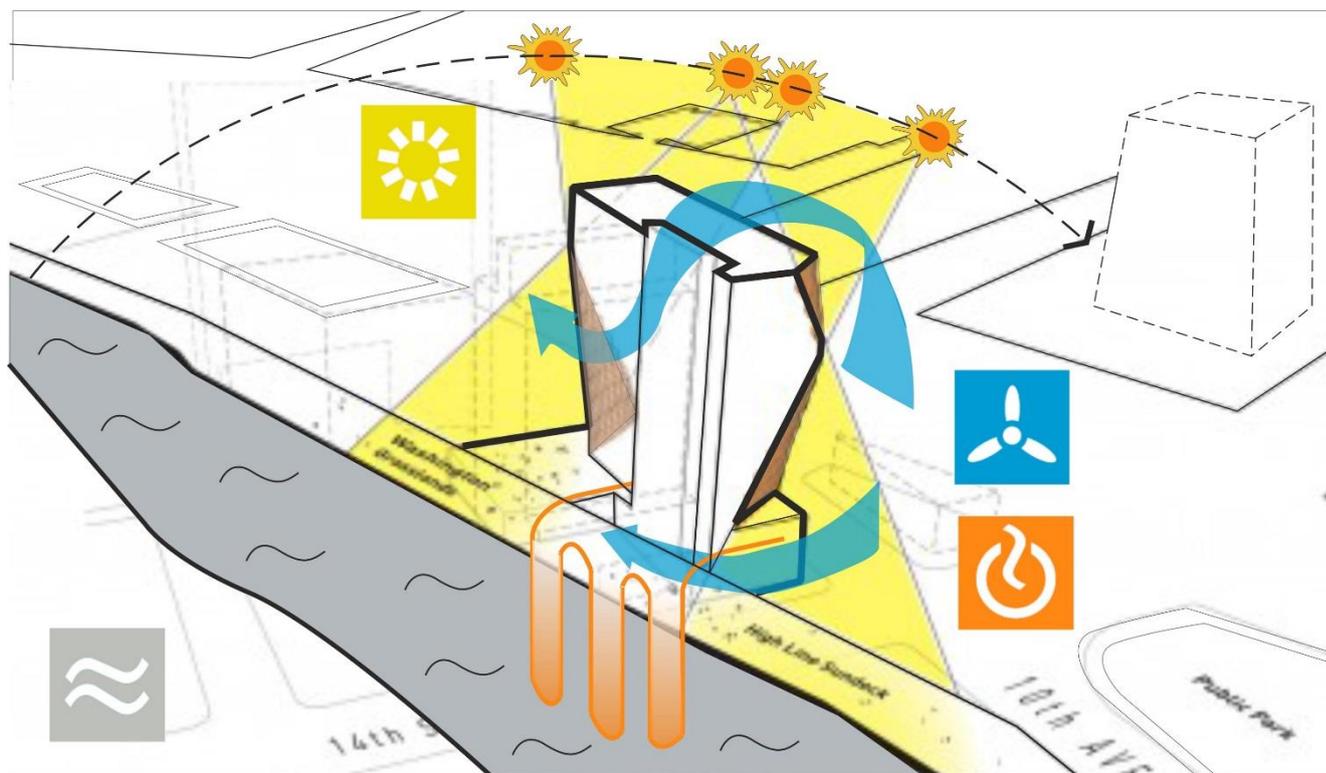


Рис. 43. Принцип формирования архитектуры в зависимости от природно-климатических факторов.

Приемы реализации:

- ориентация объекта согласно траектории движения солнца для получения максимальной продолжительности времени освещенности;
- ориентация объекта согласно розе ветров для восприятия и использования ветровых потоков;
- в случае недостаточной скорости ветровых потоков, возможно принятия решения об изначальном увеличении высоты объекта, для целесообразности применения ветроэнергоустановок;
- использование гидро-, геотермальной энергии;
- использование энергии приливов и отливов;
- размещение объекта в зонах с максимальным потенциалом сырья для производства биомассы.

**2) Принцип выбора ВИЭ для различных функционально-планировочных решений.** Суть принципа состоит в том, что функционально-планировочное решение влияет на выбор будущего состава энергоисточников объекта. Проведенное исследование позволило выделить 8 наиболее востребованных функций в высотных зданиях и дать оптимальное (по совокупности сравнений внедренных и внедряемых объектов) соотношение в них ВИЭ (таблица 10). Основой принципа является учет групп природно-климатических и архитектурных факторов формирования высотных зданий, разработанных в главе 2.

Таблица 10

## Процентное соотношение ВИЭ в различных функциях

Наименование функции	Применяемые ВИЭ	Процент ВИЭ в функции
<b>ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ</b>		
Жилая	Солнце	59,62%
	Вода	15,38%
	Земля	25,00%
Офисная	Солнце	41,43%
	Ветер	31,34%
	Вода	12,86%
	Земля	14,37%
Торговая	Солнце	34,09%
	Ветер	25,90%
	Биомасса	13,64%
	Вода	13,63%
	Земля	13,63%
Гостиничная	Солнце	67,39%
	Земля	19,64%
	Вода	13,04%
<b>ВТОРОСТЕПЕННЫЕ ФУНКЦИИ</b>		

Общественное питание	Солнце	30,56%
	Ветер	22,22%
	Вода	16,67%
	Земля	30,55%
Сельскохозяйственные фермы и лаборатории	Солнце	25,00%
	Ветер	25,00%
	Биомасса	16,67%
	Вода	16,66%
	Земля	16,66%
Рекреационная	Солнце	73,65%
	Вода	10,11%
	Земля	16,24%
Выставочная	Солнце	25,71%
	Ветер	22,86%
	Биомасса	14,29%
	Вода	20,00%
	Земля	17,14%

В данном принципе не учитывается точный «вес» функции в высотном здании. Приведены конкретные показатели применения ВИЭ по каждой функции (рисунок 44). Данные цифры получены путем сравнительного анализа и суммирования данных по 55 объектам и проектам. По каждому из них рассмотрены функциональный состав (при возможности выделены «якорные» функции), применяемые ВИЭ (см. главу 1). Далее были выявлены процентные соотношения функций как встречающихся отдельно, так и в многофункциональных объектах. После этого выбиралась одна из функций, все случаи, когда она была основной, суммировались ВИЭ, определялось их процентное соотношение. Намерено не были взяты сочетания нескольких функций, т.к. в таком случае пропадает специфика и получается возможным применять практически все ВИЭ. Стоит отметить, что также отбрасывались

источники, которые использовались в единичных проектах, в силу незначительности занимаемой ими процентной доли. Кроме того, исключались ВИЭ, при эксплуатации которых были выявлены негативные стороны. Таким образом получилось соотношение ВИЭ относительно каждой из 8 выделенных функций. В случае проектирования многофункционального объекта неизбежно возникнут «совпадающие» источники, которые рациональны для любой функции, но могут быть и расхождения. Выявлена взаимосвязь выбора ВИЭ от функционального решения объекта, которая заключается в разделении функций по времени нахождения и фазам активности человека. В функциях с долгосрочным пребыванием человека (жилая, гостиничная и рекреационная) и пассивной фазой (отдых, сон, лечебные процедуры) не рекомендуется использовать ветроэнергоустановки (вследствие возникающих шумов и вибрации при большом размере) и биомассу (необходимость подвоза сырья нарушает режим отдыха жильцов и требует отдельного подъезда к объекту). В высотных зданиях офисного назначения и с точками общественного питания (среднесрочное пребывание, активная фаза) стоит ограничиться энергией солнца, ветра, воды и земли. Подобные здания чаще всего проектируются в центре города, на пересечении оживленных улиц. Установки на основе биомассы не рекомендуется использовать в силу необходимости регулярного подвоза топлива для них, и как следствие, повышенной нагрузки на транспортную сеть, что будет создавать дискомфорт для работающих в здании людей. В трех оставшихся функциях: торговая, выставочная и сельскохозяйственная, возможно применение всех 5-ти источников. Для этих функций характерно краткосрочное пребывание человека в них и активная фаза деятельности (умственная и физическая активность).

Приемы реализации:

- учет природно-климатических факторов (принцип 1). Это позволит установить наличие и определить потенциал имеющихся ВИЭ;
- зонирование помещений по показателям тепловыделения;
- размещение лестнично-лифтового узла в центре здания;

— свободная планировка типовых этажей для возможности размещения любого арендатора;

— комфортность среды проживания (размещение объектов социально-бытового назначения в здании);

— вариативность среды проживания (возможность размещения квартир любого типа, для семей разного финансового достатка) [55].

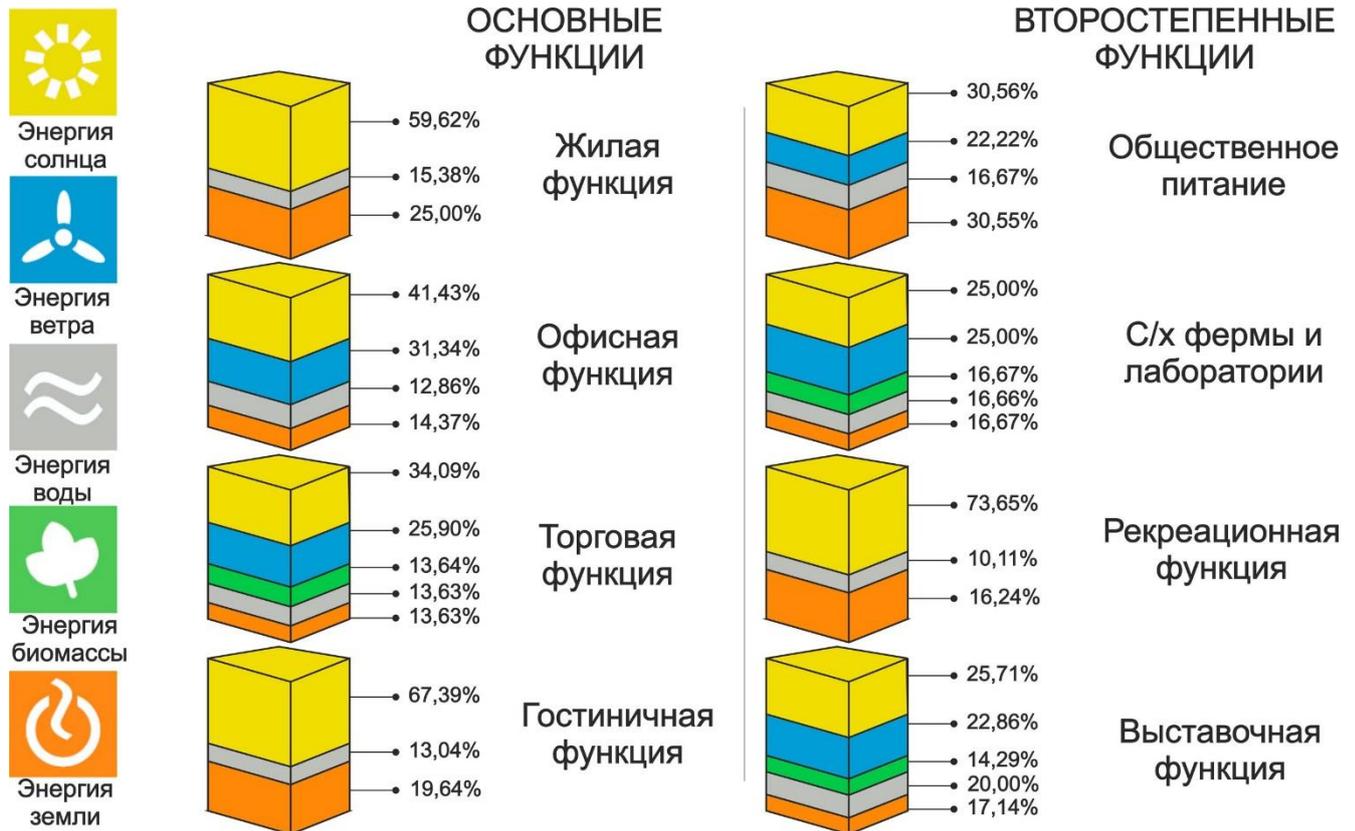


Рис. 44. Принцип выбора ВИЭ для различных функционально-планировочных решений.

**3) Принцип выбора учета в архитектурно-планировочном решении инженерного оборудования, работающего на ВИЭ (рисунок 45).** Предполагает обогащение архитектурного решения высотного здания путем применения выявленных во второй главе особенностей при размещении инженерного оборудования, работающего на ВИЭ (таблица 11). Основой принципа является учет групп архитектурных и инженерно-технических факторов формирования высотных зданий. На этом этапе формируется объемно-планировочное решение.

Изменения архитектурно-планировочного решения в зависимости от применения инженерного оборудования, работающего на ВИЭ

Источник возобновляемой энергии	Особенности инженерного оборудования	Возможные архитектурные решения высотного здания
Солнце	Солнечные коллекторы	Обогащение фасадного решения объекта за счет массивов, островков или рисунков, сформированных с помощью «текстуры» геوليوпанелей
	Фотоэлектрические панели	
	Пленка с фотоэлектрическими панелями	Возможность применения в любой точке здания. Создание криволинейных «рисунков» на панорамном остеклении.
Ветер	Ветроустановки с горизонтальной осью вращения	Акцентирование внимание зрителя на определенной поверхности (верхняя часть стилобата) или части этажа здания (выступающая консоль) с помощью смонтированных ветрогенераторов.
	Ветроустановки с вертикальной осью вращения	
	Универсальные ветроустановки (восприятие ветрового потока любого	

	направления)	
Вода	Приливная электростанция	Прибрежное местоположение объекта
Земля	Обустройство скважин	-
Биомасса	Установка для переработки биотоплива	-

Приемы реализации:

- учет природно-климатических факторов (принцип 1);
- учет зависимости выбора возобновляемых источников энергии от функционального решения высотного здания (принцип 2);
- компоновка объемно-планировочного решения с внедрением инженерного оборудования, имеющего максимальный коэффициент полезного действия.

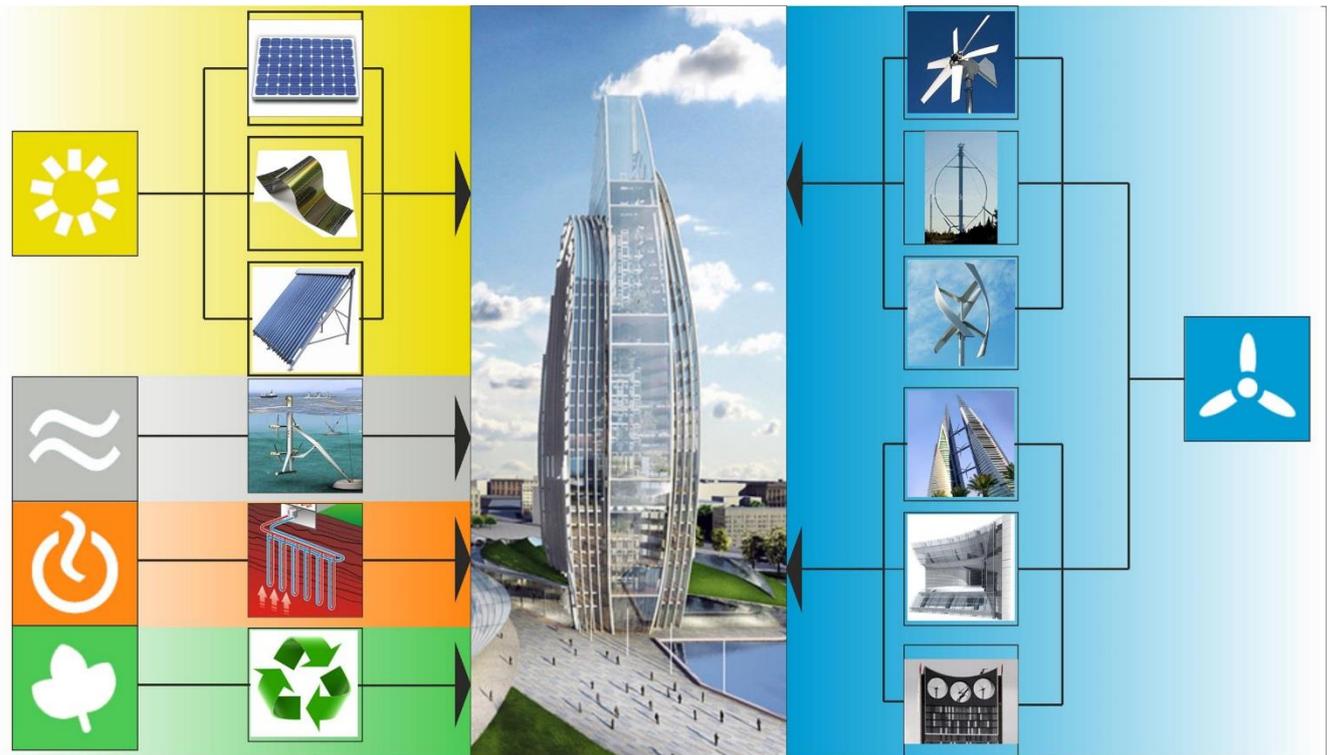


Рис. 45. Принцип выбора учета в архитектурно-планировочном решении инженерного оборудования, работающего на ВИЭ

**4) Принцип размещения ВЭИ в объемно-планировочной структуре здания (рисунок 46).** Специфика заключается во внедрении в объемно-планировочное

решение высотного здания пространственных элементов, усиливающих выработку каждого вида возобновляемой энергии (таблица 12).

Таблица 12

Изменение элементов объемно-планировочного решения высотного здания в зависимости от применяемых ВИЭ

Источник возобновляемой энергии	Особенности размещения инженерного оборудования	Возможные архитектурные решения высотного здания
Солнце	Наклонная кровля, облицованная солнечными панелями с углом, оптимальным для получения максимального КПД солнечного света.	Устройство кровли или ее части и отдельных элементов в верхней части высотного здания. Создание наклонных поверхностей на всю высоту (от верха до низа) объекта
	Выступы на здании, облицованные гелиопанелями	Разнообразные выступающие элементы, включенные в общий архитектурный замысел объекта
	Размещение гелиопанелей на стилобатной части и рядом с объектом (так называемое «гелиополе»)	Придание определенного образа стилобатной части с помощью «текстуры» гелиопанелей. Организация прилегающей

		территории с учетом размещения гелиополя
	Динамический гелиофасад (вращение в режиме слежения за солнцем, раскрытие в зависимости от интенсивности солнца)	Оболочка, которая поворачивается согласно траектории движения солнца. Форма оболочки должна поддерживать объемно-планировочное решение высотного здания в любой точке нахождения. Другой вариант – второй фасад или его часть, состоящий из элементов, реагирующих на плотность солнечного потока и соответственно увеличивающих свою площадь.
Ветер	Размещение ветроустановок в верхней части объекта.	Создание завершения высотного здания для размещения ветроустановок
	Объемно-пространственное решение объекта, включающее в себя	Отверстия могут размещаться в любой части высотного здания. Высота и

	отверстия с установленными ветрогенераторами	целесообразность размещения определяется эффектом Вентури
	Объемно-пространственное решение объекта концентрирующее, направляющее и усиливающее ветровые потоки	Высотное здание, объем которого представляет собой «отделенные» блоки, щели (зазоры, отверстия) с установленными ветряками, между которыми увеличивается скорость ветра
	Динамическое вращение частей зданий с установкой ветрогенераторов.	Высотные здания с вращающимися этажами, между которыми установлены лопасти ветрогенераторов с вертикальной осью вращения (архитектура Дэвида Фишера)
Вода	Устройство установки, работающей на энергии воды. Это возможно в случае прибрежного размещения здания.	Развитие стилобатной части объекта в сторону освоения водного пространства: пирсы, пристани, прогулочные зоны и т.д.

Земля	Обустройство скважин в помещениях ниже нулевой отметки	Размещение информации об используемом ВИЭ на фасадах здания. Применение медиафасада.
Биомасса	Устройство установки для переработки биомассы на первых этажах высотного здания	Размещение информации об используемом ВИЭ на фасадах здания. Применение медиафасада.

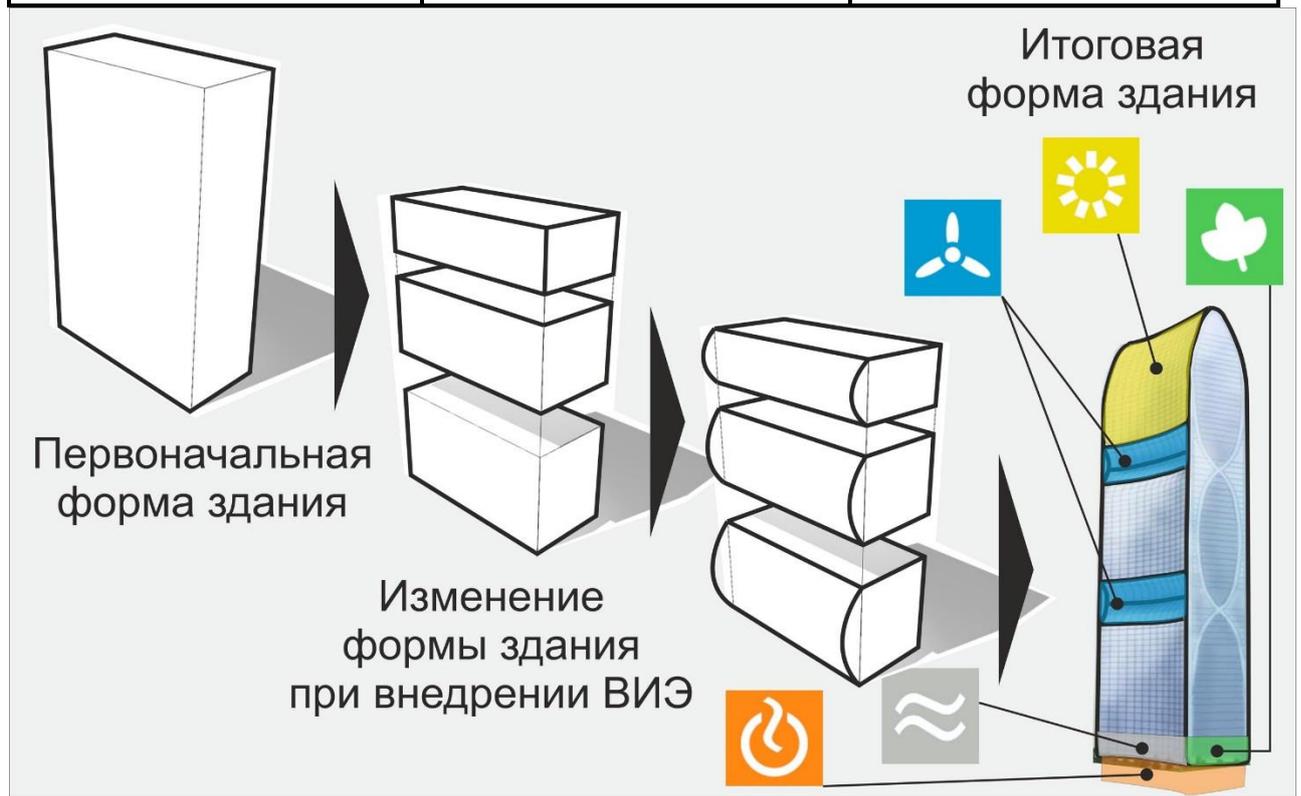


Рис. 46. Принцип размещения ВЭИ в объемно-планировочной структуре здания

Приемы реализации:

- учет природно-климатических факторов (принцип 1);
- учет зависимости выбора возобновляемых источников энергии от функционального решения высотного здания (принцип 2);

- учет рационального инженерного оборудования (принцип 3);
- изменение пластики фасада высотного здания в зависимости от угла падения солнца путем устройства наклонных площадок, выступающих элементов, кровли под определенным углом;
- учет эффекта Вентури: изменение объемно-пространственного решения высотного здания согласно движению ветровых потоков, включение в структуру объекта отверстий, разделение корпуса сооружения на несколько блоков.

**5) Принцип формообразования высотных зданий с ВИЭ**, который заключается в изменении объемно-пространственного и архитектурно-художественного решений для максимальной выразительности объекта. Он предусматривает создание изрезанного или пластичного фасада, применение ломаных и наклонных фальшьэлементов, динамических, модульных частей здания, способствующих эффективной работе ВИЭ. Возможно формирование комплекса объектов, объединенных общим решением и принципом построения объемно-пространственных решений [38]. Элементом, связывающим здания в комплекс может быть стилобатная часть (рисунок 47). Примерами подобных зданий: «Всемирный торговый центр» (Бахрейн), «Эко-кибернетический город» (Испания). «Гексагональный небоскреб-сад» (Австралия).

Приемы реализации:

- учет природно-климатических факторов (принцип 1);
- учет зависимости выбора ВИЭ от функционально-планировочного решения высотного здания (принцип 2);
- учет рационального инженерного оборудования (принцип 3);
- учет размещения ВИЭ в объемно-планировочной структуре здания (принцип 4);
- применение модульной системы при возведении объекта. Возможность замены устаревших ячеек, возможность увеличения геометрических параметров путем добавления отдельных частей;

— создание объектов по схеме «1-0-1»: высотное здание имеет стилобат без разрывов, выше (на высоте примерно 10-15 этажа) происходит разделение на несколько корпусов, которые объединяются воедино в верхней части (возможно не полное слияние, а «связки» несколькими этажами).

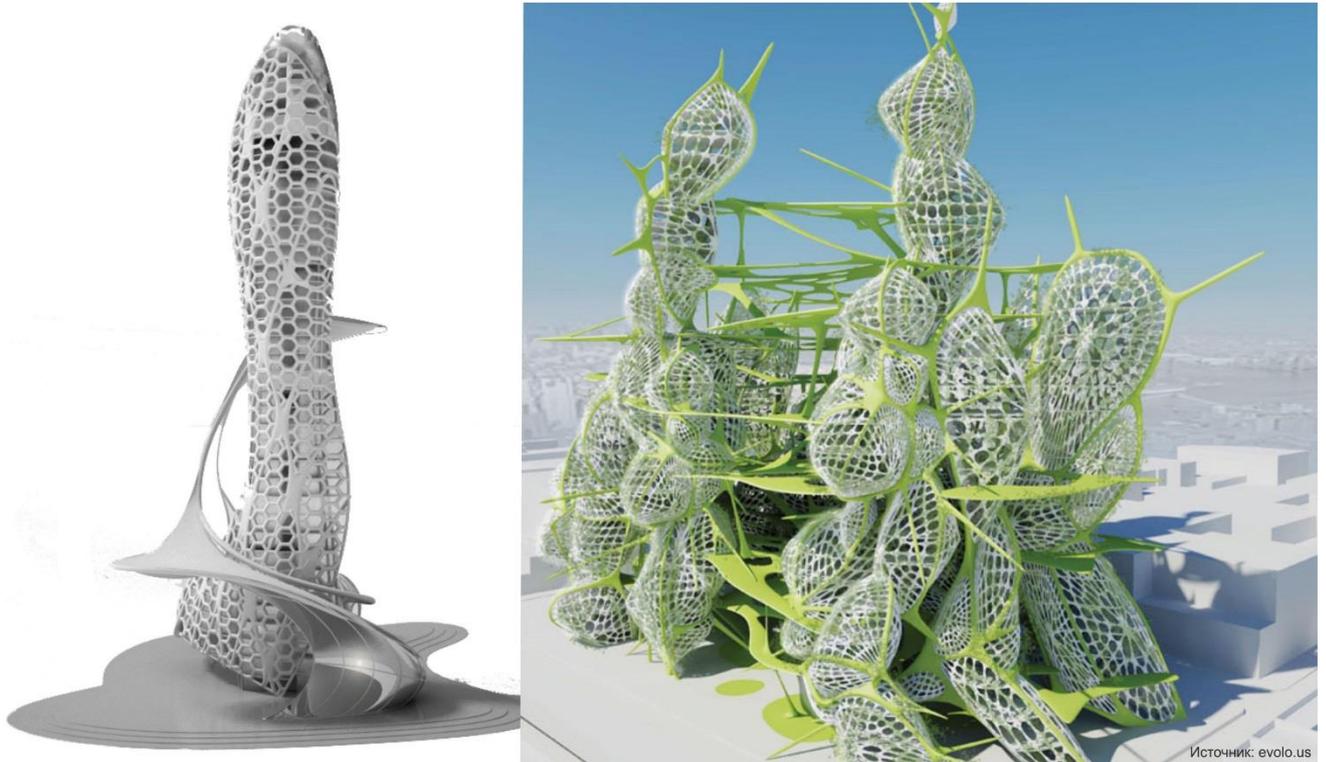


Рис. 47. Принцип формообразования высотных зданий с ВИЭ

Принципы позволяют интегрировать инженерное оборудование, работающее на ВИЭ в объемно-пространственное решение здания. Это может быть, как отдельное внедрение энергоустановок, так и масштабный симбиоз традиционной энергосистемы и ВИЭ.

### **3.2. Методика проектирования высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии**

На базе разработанных принципов сформулирована методика проектирования высотных зданий с ВИЭ, которая состоит из пяти основных пунктов:

1. Определение оптимального местоположения объекта согласно разработанной автором карте зон с наибольшим потенциалом ВИЭ в России. В случае фиксированного региона проектирования нужно рассматривать конкретные характеристики более мелких образований (город, район, квартал и т.д.).

2. Ориентация объекта согласно розе ветров и траектории движения солнца, поиск возможности применения геотермальной и водной энергии и биотопливных ресурсов, использование природных особенностей местности.

3. Определение функционального состава объекта и возможных применяемых ВИЭ. Формируется объемно-планировочное решение, включающее в себя общие габариты помещений, этажей, высотного здания в целом. Производится вертикальное и поэтажное функциональное зонирование объекта. Определяется состав «якорных» арендаторов, исходя из которого подбираются возможные источники энергообеспечения.

4. Определение концепции расположения инженерного оборудования, работающего на ВИЭ. Выбирается местоположение по высоте, по типу, размер и количество применяемых энергогенераторов.

5. Синтез объемно-пространственного решения объекта с учетом используемых ВИЭ. Архитектурное решение объекта корректируется для интенсификации работы инженерного оборудования, работающего на «чистой» энергии.

Применение данной методики упрощает процесс проектирования высотного здания; позволяет архитектору использовать все средства (функционально-планировочные, объемно-пространственные, технологические, организационные и др.) для создания объекта, не только соблюдающего действующие нормативы, но и учитывающего географические, климатические, энергетические и другие аспекты его местоположения. В данной работе не рассматривается пошаговая процессуальная стратегия в работе проектировщика, включающая создание эскизов, общение с Заказчиком, оформление чертежей и т.д. Методика позиционируется как совокупность принципов, способных помочь в проектировании высотного здания с ВИЭ. Принципы концентрируют внимание проектировщика на ключевых точках будущего объекта, что повышает уровень ответственности при выполнении проекта и в дальнейшем позволяет создать качественную комфортную среду для проживающих и работающих в высотном здании людей.

Апробация разработанных принципов и методики проектирования была осуществлена в процессе проектирования высотного здания для города Новосибирска с ВИЭ (см. рис. 7). Местом проектирования высотного здания выбран участок на пересечении Каменской и Октябрьской магистралей, улиц Кирова и Шевченко. Участок выбран исходя из возможности оптимального использования солнечных и ветровых ресурсов в энергосистеме здания и экологичности данного района. Одной из особенностей является 15 метровое наличие перепада высот, и как следствие, активного рельефа. Высотное здание запроектировано на площадке, находящейся на 5 метров ниже уровня ул. Кирова. Это позволило сделать входную группу объекта защищенной от шума и выхлопных газов проезжающих автомобилей и обособить подъезды к зданию. С южной и юго-западной стороны от объекта запроектирована зеленая парковая зона, которая является естественным продолжением парка у Хоккайдо-центра и плавно переходит в находящийся чуть восточнее сквер. Таким образом, данное решение позволит расширить и разнообразить прогулочное пространства для горожан, а также оно позитивно влияет на психофизиологическое состояние людей в здании.

Идея. Проектируемое высотное здание располагается в географическом центре Новосибирска, в его сердце. Это и определяет первую идею проекта – центральный, значимый бренд-объект для всего города. Если посмотреть сверху, форма здания напоминает сердце, данная идея поддерживается и трехчастным делением плана (подобно камерам сердца). Второй основополагающей идеей стал общеизвестный символ Сибири – ель (или елка). Подобно дереву здание состоит из уровней-«веток», которые развиты во всех направлениях и уменьшаются по мере увеличения высоты, придавая силуэту объекта изящность и легкость, как у настоящей елки. Третьим образом стал факел. Верхняя часть здания, которая включает площадку для приземления и гараж-лифт для вертолетов, напоминает символ побед и олимпиад – факел. Завершение объекта символизирует трепещущий огонь, что подчеркивает значимость и первенство здания в городе и в регионе в целом.

Функционально-планировочное решение. План здания представляет собой три окружности разных диаметров, собранных воедино. По мере вертикального развития объема происходит постепенный поворот и изменение их изначального местоположения и масштаба с определенным ритмом. Самая маленькая часть плана отдается полностью под зеленые зоны, сады, зоны отдыха и релаксации. Это позволит каждому работнику и посетителю отдыхать в специально выделенном пространстве, психологически и визуально будет облегчать нахождение людей на высоте.

Высотное здание имеет 56 этажей и является многофункциональным объектом. Три подземных этажа занимает автостоянка на 985 машиномест. Въезды и выезды осуществляются на улицы Шевченко, Сибревкома и Каменской магистрали. Организована наземная автостоянка на 70 машиномест. Первые 9 этажей отданы для функций, доступных горожанам:

- 1-ый этаж – торговая и выставочная функции;
- 2-ой этаж торговая функция и конференц-залы;
- 3-ий этаж - общественное питание (как для посетителей, так и для работников здания);
- 4-ый, 5-ый этажи – досугово-развлекательная, торговая и выставочная функции;
- 6-ой этаж – центр психологической разгрузки для работников здания;
- 7-9-ый этажи – религия и телерадиовещание.

Выше располагаются офисные этажи (с 10-го по 40-ой этажи), на 42-ом и 47-ом этажах устроены смотровые площадки. На 50-ом этаже расположена вертолетная площадка, с наклонным гаражом-лифтом для вертолетов и пассажирским лифтом.

Высота от земли (асфальта) до вертолетной площадки -196 метров. Общая высота здания – 220 метра. Высота этажей – 4,0 м.

Объемно-пространственное решение. С первого до 56-го этажа план поворачивается на 360 градусов, при этом его площадь на последнем этаже уменьшается относительно первоначальной в 10 раз (рисунок 48). С точки зрения объемно-планировочного решения выделяется «зеленая спираль», которая

обвивает все здание полностью. Наклонный пассажирский лифт с вертолетной площадкой «опоясывает» все здание и создает «противовес» «зеленой спирали», что в целом делает пространственное решение объекта более уравновешенным и гармоничным. Архитектура высотного здания выполнена в бионическом стиле (рисунок 49). Основой объемно-пространственного решения стала ориентация объекта по сторонам света и использование скругленных форм, как наиболее энергетически рациональных. Высотное здание представляет собой пластичный объем, в который интегрированы гелиоустановки, а ветроэнергостанция представляет собой «нарост» на здании со стороны преобладающего направления ветра (юго-запад), который композиционно компенсируется развитой стилобатной частью.

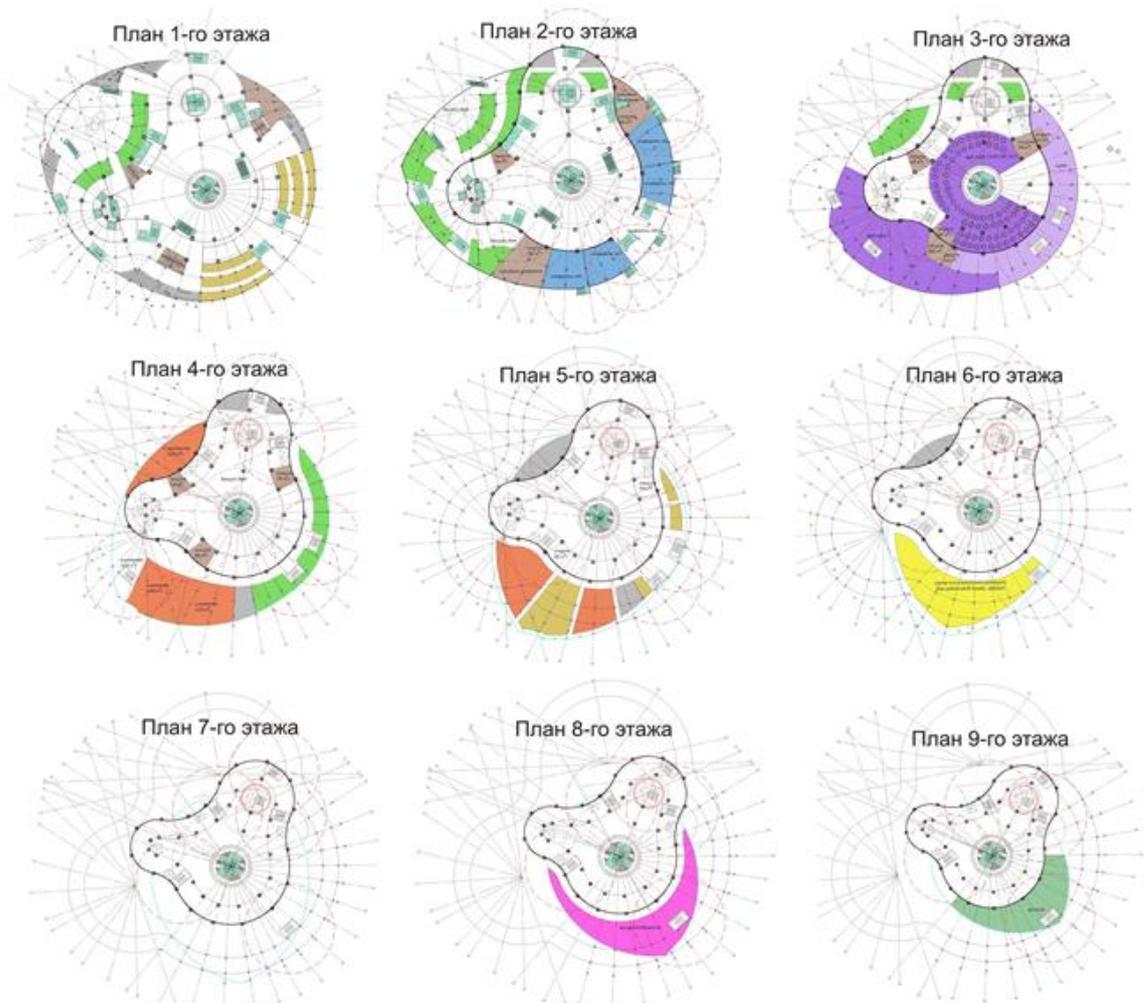


Рис. 48. Планы 1-9 этажей высотного здания

Конструктивное решение. Фундаменты – монолитная плита, опирающаяся на железобетонные сваи. Устойчивость здания обеспечивается за счет центрального

железобетонного ядра, толщиной 500 мм, в котором располагаются лестницы, лифты, коммуникации и системы колонн, связанных сплошными железобетонными перекрытиями. Внутренний несущий остов здания - металлические колонны с уменьшающимся сечением (с 1000 мм на 1-ом этаже до 250 мм на последнем) и расстоянием между собой по мере увеличения высоты здания. Колонны и другие лестнично-лифтовые узлы являются внутренними несущими элементами. Дополнительно в объекте применен внешний несущий каркас. Он состоит из 22 наклонных элементов, поясов жесткости и колец, которые устанавливаются на каждом из основных формообразующих этажей. Материалы внешних конструкций – металл, металлополимеры с использованием нанотехнологий. Монолитные железобетонные перекрытия толщиной 200 мм устраиваются по несъемной опалубке. Перегородки на этажах из светопропускающего бетона, внутри офисов - стеклянные толщиной 100 мм. Принятая конструктивная схема здания обеспечивает прочность, жесткость и устойчивость на стадии возведения и в период эксплуатации при действии всех расчетных нагрузок и воздействий.

Ограждающие конструкции – двойной стеклянный фасад, для создания эффекта эффекта «термоса» в зимнее время года и естественной вентиляции в летнее. Применено самоочищающееся и обогреваемое стекло компании «CitiLED», что предотвращает образование наледи и избавляет от необходимости чистки фасадов здания.

#### Применение ВИЭ и энергосберегающих решений

1. Ориентация здания увеличивает теплоступления по ходу движения солнца «восток-юг-запад».

2. Исходя из анализа солнечной активности на южной, юго-западной и юго-восточной частях объекта размещены гелиопанели. Они фрагментарно включены в массив фасада здания, а также полностью покрывают бионический «выступ», являющийся лифтом для пассажиров вертолетной площадки. Также в данном «выступе» установлены ветрогенераторы, которые выстроены в систему «по спирали». Обеспечивается максимальная эффективность запроектированных

ветрогенераторов благодаря преобладающим южным и юго-западным ветрам. Ветроустановки будут работать круглогодично без простоев (что продиктовано их местоположением на высоте).



Рис. 49 Общий вид высотного здания с ВИЭ в г. Новосибирске

В высотном здании используются экологически чистые источники энергии (гелио-, ветро-, геотермальной энергии и биомасса), которые увязаны в единую систему с парогазовой электростанцией комбинированного цикла.

3. Использована приточно-вытяжная система вентиляции с регулируемым притоком и вытяжкой воздуха, с рекуперацией тепла.

4. Двойной стеклянный фасад. Применение вентилируемых окон для уменьшения теплопоступлений в летнее время и уменьшения теплопотерь в

зимнее время. Минимальные утечки воздуха (герметичность здания) и низкий расход наружного воздуха в системе вентиляции для снижения затрат энергии на отопление здания. Эффективное освещение для снижения затрат электрической энергии. В сочетании с особыми отделочными материалами помещений достигается освещение точек помещения, находящихся на расстоянии до 8-ми метров от стекла.

5. Эффективное использование внутреннего объема здания для минимизации площади ограждающих конструкций и уменьшения через них теплопотерь. Эффективная теплоизоляция ограждающих конструкций для уменьшения теплопотерь. Высокая теплоемкость ограждающих конструкций для накопления тепла и повышения теплоустойчивости здания.

6. Применение «интеллектуальной» системы автоматического управления инженерным оборудованием для обеспечения комфортных параметров микроклимата помещений и снижения затрат энергии;

7. Автоматическое регулирование уровня искусственного освещения и использование осветительных ламп нового типа, обеспечивающих снижение затрат энергии примерно на 20%.

8. Система сбора и повторного использования дождевой воды (в зимнее время – система снеготаяния) для технических нужд («серая вода»).

Применение бионического подхода позволила создать яркий архитектурный образ объекта, при этом органично «вписать» в него энергоустановки, использующие ВИЭ. В основе проектирования высотного здания лежит использование сформулированных принципов, подтверждена их эффективность и целесообразность применения.

### **3.3 Предложения по размещению энергоустановок в архитектурных решениях высотных зданий и перспективы развития данного типа объектов**

Внедрение в структуру высотного здания инженерного оборудования, работающего на энергии воды, биомассы и геотермальной энергии, в основном оказывает влияние на планировочное решение объекта. Применение технологий, использующих энергию солнца и ветра, также затрагивает объемно-

пространственное и архитектурно-художественное решения. Данные взаимосвязи будут рассмотрены далее.

Применение энергии ветра в высотных зданиях. Большая часть решений высотных зданий, использующих ветроэнергетику, подчиняется эффекту Вентури (итальянский физик Джовани Вентури). «Его физическая сущность заключается в ускорении воздушного потока при прохождении через плавное сужение» [88]. В применении к высотным зданиям эффект заключается в перераспределении воздушных потоков: 60 % мощности уходит в верхний поток, порядка 40 % в нижний, таким образом, средняя часть объекта является неблагоприятным участком для размещения ветрогенераторов (рисунок 50).

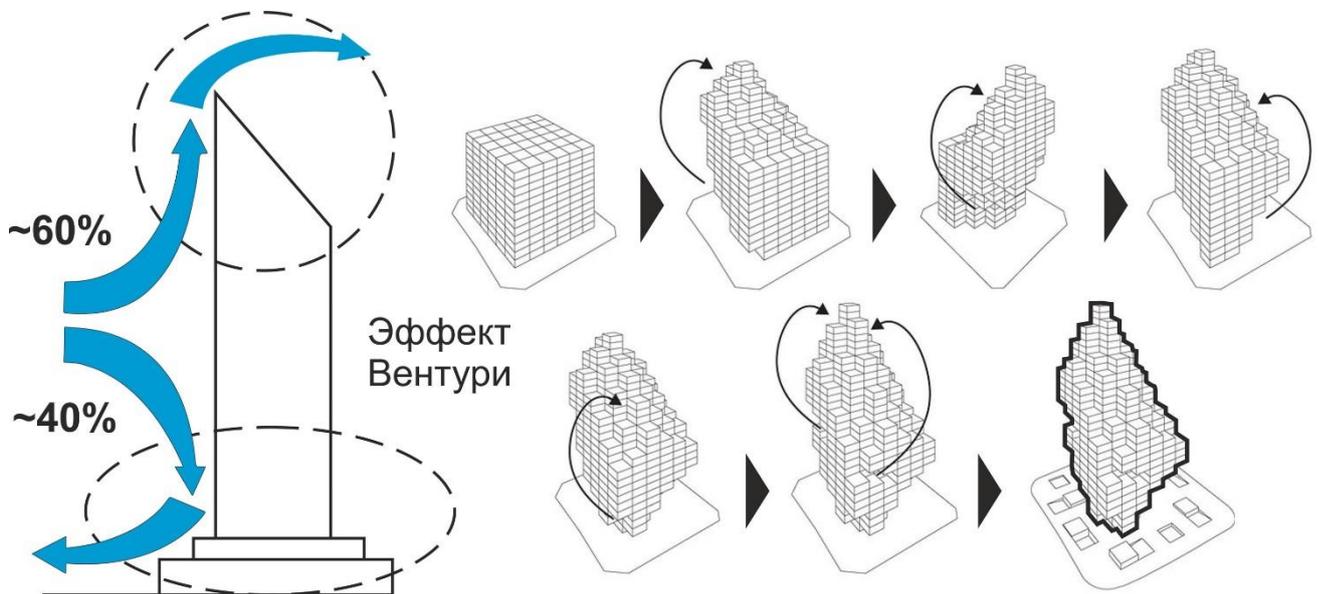


Рис. 50. Эффект Вентури и возможное формообразование объекта с его учетом.

Источник: <http://www.dysturb.net>

Можно выделить две основных группы зданий, использующих энергию ветра: объекты со сквозными отверстиями, в которых установлены ветряки, и объекты с отдельно размещенными ветроустановками. В разработанных предложениях осуществлено деление объектов по местоположению ветрогенераторов: в верхней, средней или нижней части здания. Также возможно и комбинированное размещение (рисунок 51).

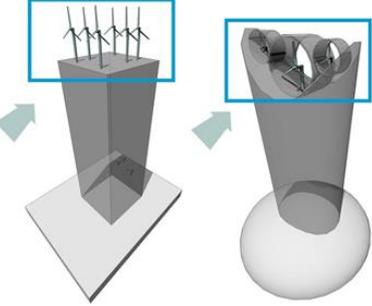
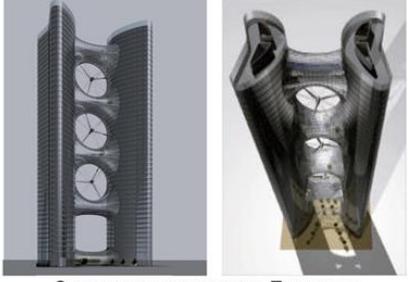
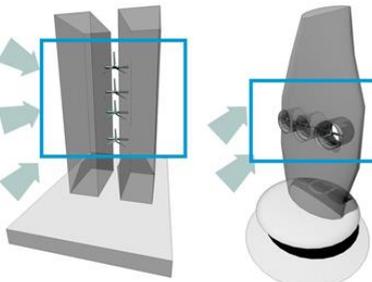
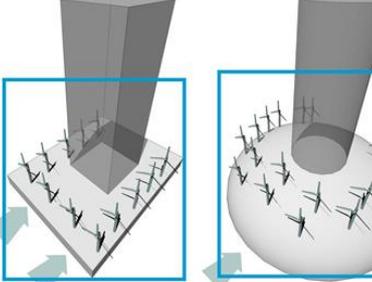
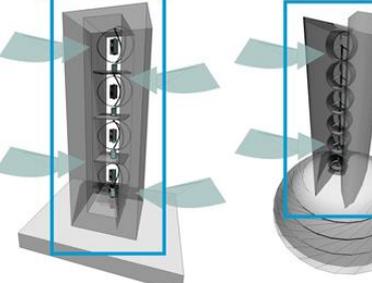
Местоположение возобновляемого источника энергии в высотном здании	Примеры зданий и проектов	Схема размещения
<b>ВЕРХНЯЯ ЧАСТЬ ЗДАНИЯ</b> (в т.ч. завершение, шпиль)	 <p>Башня Страта, Великобритания</p>	
<b>СРЕДНЯЯ ЧАСТЬ ЗДАНИЯ</b>	 <p>Здание-концентратор, Евросоюз</p>	
<b>НИЖНЯЯ ЧАСТЬ ЗДАНИЯ</b> (в т.ч. стилобат)	 <p>Витая ветряная башня (Великобритания)</p>	
<b>КОМБИНИРОВАННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ</b>	 <p>Башня Жемчужной реки, КНР</p>	

Рис. 51. Предложения по размещению ветроэнергоустановок в архитектурных решениях высотных зданий

— Самым оптимальным, с точки зрения эффекта Вентури, является размещение инженерного оборудования в верхней и нижней частях здания, примеры подобных проектов: «Башня Страта» (Великобритания), «Башня-Маяк» (ОАЭ), «Бурж-Халифа» (ОАЭ), «Высотный ресторан» в Дубаи (ОАЭ), «Витая ветряная башня» (Великобритания).

— Если же объемно-пространственное решение объекта требует размещения ветрогенераторов в средней части, то эффективным приемом является создание формы, которая будет ускорять и направлять потоки ветра. Такой тип объектов получил названия «ветроулавливающие» высотные здания, примерами могут служить «Всемирный торговый центр» (Бахрейн), «Спиральный небоскреб» (Индия), «Здание-концентратор» (концепция проекта для Евросоюза).

— Комбинированное размещение включает в себя точечное размещение ветрогенераторов и отверстий в высотных зданиях («Башня Жемчужной Реки», КНР), а также динамическую архитектуру. Автором этого направления является Дэвид Фишер, который разработал систему, при которой этажи здания находятся в постоянном движении с малой скоростью, чтобы не создавать дискомфорт у проживающих людей [48]. Между этажами расположены лопасти ветрогенераторов. Из-за постоянной ротации меняется направление ветра и форма потоков, что позволяет, по словам автора, увеличить КПД, получаемый от преобразования ветра.

Включение инженерного оборудования, основанного на преобразовании энергии ветра, в структуру высотных здания является рациональным решением по нескольким причинам. Первое, скорость ветра увеличивается на 5 м/с каждые 100 метров в высоту, соответственно, чем выше здание, тем больше скорость ветра и КПД ветроэнергостановки. Второе, в настоящее время разработаны универсальные ветроустановки, которые способны воспринимать как вертикальные, так и горизонтальные ветровые потоки. Существует негативный аспект ветротехнологий – вибрация, которая передается на конструкции и вызывает дискомфорт у посетителей здания. Однако, размещение ветроустановок в технических этажах, со специальными мероприятиями, гасящими колебания, способно купировать данный недостаток. Кроме того, у безлопастных ветрогенераторов и установок, использующих пьезоэлементы подобные негативные эффекты отсутствуют.

Применение энергии солнца в высотных зданиях. Существует общее правило, позволяющее эффективно применять солнечную энергетику - учет угла падения

солнца в зависимости от широты местности. На рис. 3 видно, что в зависимости от ориентации по сторонам горизонта и угла наклона меняется процентное количество годовой инсоляции (рисунок 52). Для корреляции с предложенными вариантами, использующими энергию ветра также рассмотрим четыре основных местоположения фотоэлектрических панелей в высотных зданиях (рисунок 53).

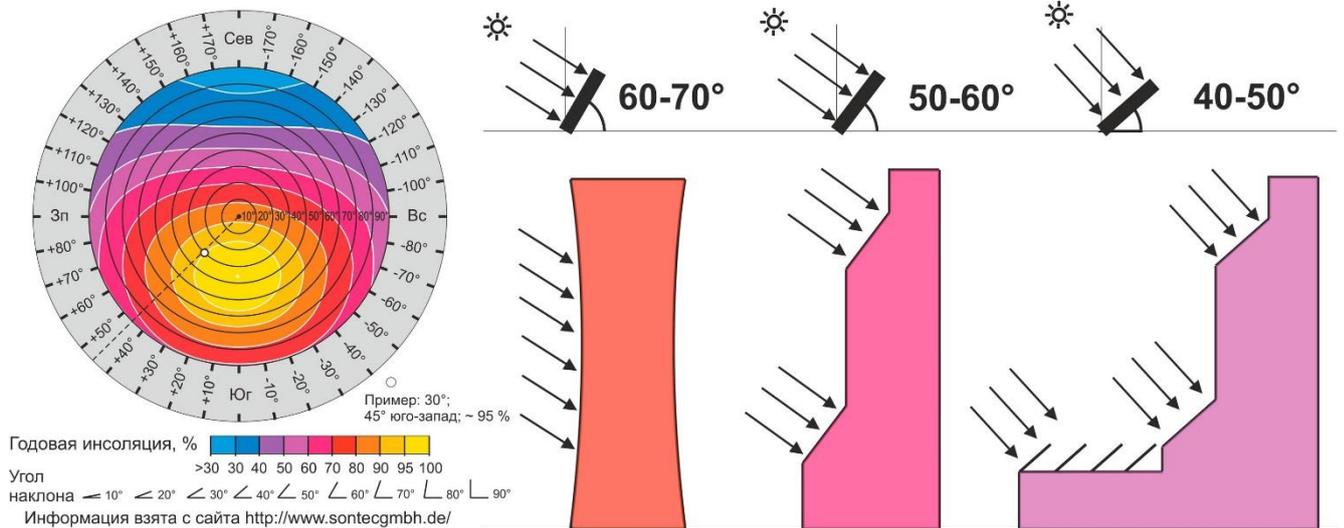


Рис. 52. Углы падения солнца в зависимости от широты местности

Исчтоник: <http://www.sontecgmbh.de/>

— В верхней части объекта возможно применение фотоэлектрических панелей, которые могут находиться на наклонной поверхности кровли объекта. Частым приемом является остекление фасада здания, в т.ч. верхней его части, фотоэлектрическими панелями, либо применение стекла с внедренной в состав пленкой, позволяющей преобразовывать солнечный свет в электроэнергию (Энергетический цветок «Калла», КНР). Другим решением выступает наклонная поверхность, размещаемая на плоской кровле объекта, примеры: «Экобашня Азури» (Израиль).

— В средней и нижней (в том числе стилобатной) частях высотных зданий применяется облицовка фотоэлектрическими панелями, реже - солнечными коллекторами. Возможно размещение отдельно стоящих солнечных панелей. Примерами являются «Солнечное общежитие» (Великобритания), «Солнечная башня в Чикаго» (США).

— Комбинированное расположение предполагает применение фасада с фрагментами стекла, улавливающего солнечный свет. Другое решение – динамический двойной фасад. Примером может служить построенный «Комплекс инвестиционного совета» в Абу-Даби (ОАЭ). Это два здания, имеющие бочкообразную форму, в которых внешний фасад поворачивается согласно траектории солнца, при этом, составляющие его части, подобно цветкам, раскрываются в зависимости от интенсивности падающего света.

Современные солнечные панели вырабатывают электричество при любой погоде, даже если небо покрыто облаками, что значительно увеличивает диапазон их применения. В большинстве регионов России в связи с продолжительным периодом отрицательных температур остро встает вопрос обледенения панелей. В настоящее время внедрены разработки, позволяющие растапливать лед путем подогрева поверхности или контура панели, что дает возможность получать энергию в полном объеме даже в зимний период.

Включение в структуру высотного здания инженерного оборудования, работающего на энергии ветра и солнца, оказывает влияние на архитектуру здания. Как показывает практика проектирования и строительства, подобные решения позволяют посетителям визуально определять использование в объекте возобновляемых источников энергии, что положительно сказывается на его образе. Ментально люди понимают, что подобные здания наносят меньше урона окружающей среде, являются более экологичными и энергоэффективными в сравнении с объектами, которые полностью зависят от городской энергосистемы [6].

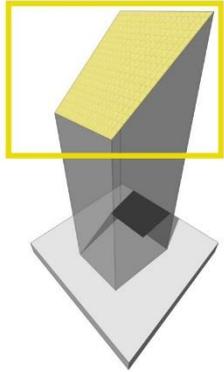
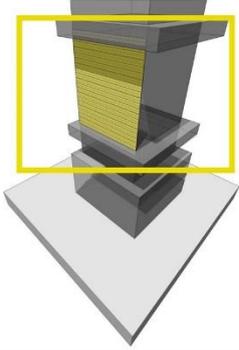
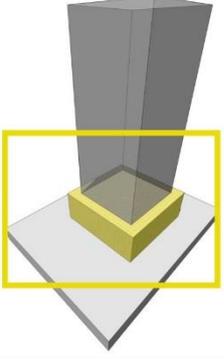
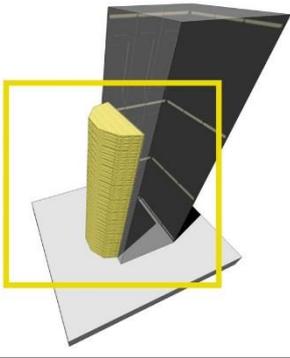
Местоположение ВИЭ в высотном здании	Примеры зданий и проектов	Схема размещения
<p><b>ВЕРХНЯЯ ЧАСТЬ ЗДАНИЯ</b> (в т.ч. завершение, шпиль)</p>	 <p>Энергетический цветок «Калла»</p>	
<p><b>СРЕДНЯЯ ЧАСТЬ ЗДАНИЯ</b></p>	 <p>Солнечное общежитие, Великобритания</p>	
<p><b>НИЖНЯЯ ЧАСТЬ ЗДАНИЯ</b> (в т.ч. стилобат)</p>	 <p>Солнечная башня, Чикаго</p>	
<p><b>КОМБИНИРОВАННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ</b></p>	 <p>Здания инвестиционного совета в г. Абу-Даби, ОАЭ</p>	

Рис. 53. Предложения по размещению гелиоэнергоустановок в архитектурных решениях высотных зданий

Опираясь на выявленные типы и ряд трудов современных архитекторов, определены наиболее вероятные перспективы развития высотных зданий с ВИЭ.

«С 2003 года проектирование и строительство небоскребов вступило в новый этап своей истории - появление «sustainable building» – это альтернатива стремлению человека «покорить» природу. Она включает в себя изучение возможности использования экологически чистых ВИЭ, оптимального использования энергии, сохранения водных ресурсов, применения строительных материалов повторного использования, улучшения качества среды обитания человека» [72].

«В мае 2013 года были начаты работы по возведению Башни Королевства (Бурдж-аль-Валид) в Джидде (Саудовская Аравия) высотой более 1 км. В конце 2014 года ожидается открытие небоскреба «Шанхайского Небесного города» в Китае высотой 838 метров» [65]. Результаты конференций, проведенных Всемирным советом по высотным зданиям и городской среде за последние 5 лет, позволяют прогнозировать постепенное появление «вертикальных городов». Здания вмещают все больше людей, их системы укрупняются и усложняются, поэтому такой объект становится небольшим городом с собственной инфраструктурой. Принципиальным отличием от обычного города является невозможность модифицирования среды. В мегаполисе мы можем снести устаревшие здания, заменив их новыми, иногда с другим функциональным наполнением, или обустроить (микро)район обогатив его учреждениями социально-бытового обслуживания [21, 32]. Высотное здание имеет четкие геометрические размеры, выйти за которые сегодня не представляется возможным. В случае возникновения необходимости изменения функционального назначения помещений это возможно в узких пределах, если же понадобится расширение площади объекта, единственным решением становится строительство новых корпусов. Выходом из данной ситуации может являться применение модулей. Подобная идея не нова, однако в случае с высотными зданиями она приобретает особый смысл. Модульность, возможность развития структуры объекта, путем присоединения дополнительных частей, позволит в будущем, строить «развивающиеся» здания. При подобном подходе возводится здание под конкретные условия, в случае изменения, модифицируется модульная структура. Возможной формой таких образований может стать виноградная гроздь, возможно, перевернутая. Каждая

«виноградника» в таком случае, отдельный модуль. Их размеры, характеристики и функции могут отличаться. Главным препятствием внедрения подобных решений является неразвитость технологий. Речь идет в первую очередь о материалах, позволяющих легко сращивать модули. Другая проблема – нагрузки на фундамент, при увеличении здания, растет масса, которую несет подземная часть, возможна деформация или разрушение всей конструкции. С архитектурной точки зрения подобный модульный подход несет положительные аспекты: возможность создания изменчивой композиции объекта, реализация масштабных структур, домов-фракталов и т.д. За 130 лет высотные здания сделали большой скачок в развитии. Разрабатываемые сегодня технологии в скором будущем помогут усовершенствовать методы строительства и используемые материалы. Все это даст архитекторам и проектировщикам новые возможности при создании высотных зданий с ВИЭ.

Другое направление, получающее развитие в последние годы – специализация высотных зданий. В каждом городе есть свои социально-экономические проблемы современности: нехватка озеленения в городах, нехватка продуктов питания, нехватка парковочных мест на земле и т.д. Возможным решением является строительство высотных зданий. Среди предлагаемых вариантов можно выделить следующие функции объектов: вертикальные сады, сельскохозяйственные фермы, автостоянки, места по складированию и заводы по переработке отходов, здания-очистители воздуха, здания-опреснители воды и даже высотные кладбища. Энергообеспечение будет осуществляться путем применения, ВИЭ. Примером реализации подобного подхода являются две башни (80 и 112 метров), строительство которых заканчивается в Милане (рисунок 54). В них будут размещаться деревья, кустарники и небольшие растения, что по площади эквивалентно 1 гектару обычного леса. «В основе концепции вертикального леса лежит идея улучшения экологии городских районов: фасады покрываются листвой различной формы и размера, которая поглощает пыль из воздуха, создает благоприятный микроклимат и защищает от солнечных лучей. Это своего рода биологическая архитектура, где в вопросах экологической

рациональности не применяется строго технологический и механизированный подход» [9].

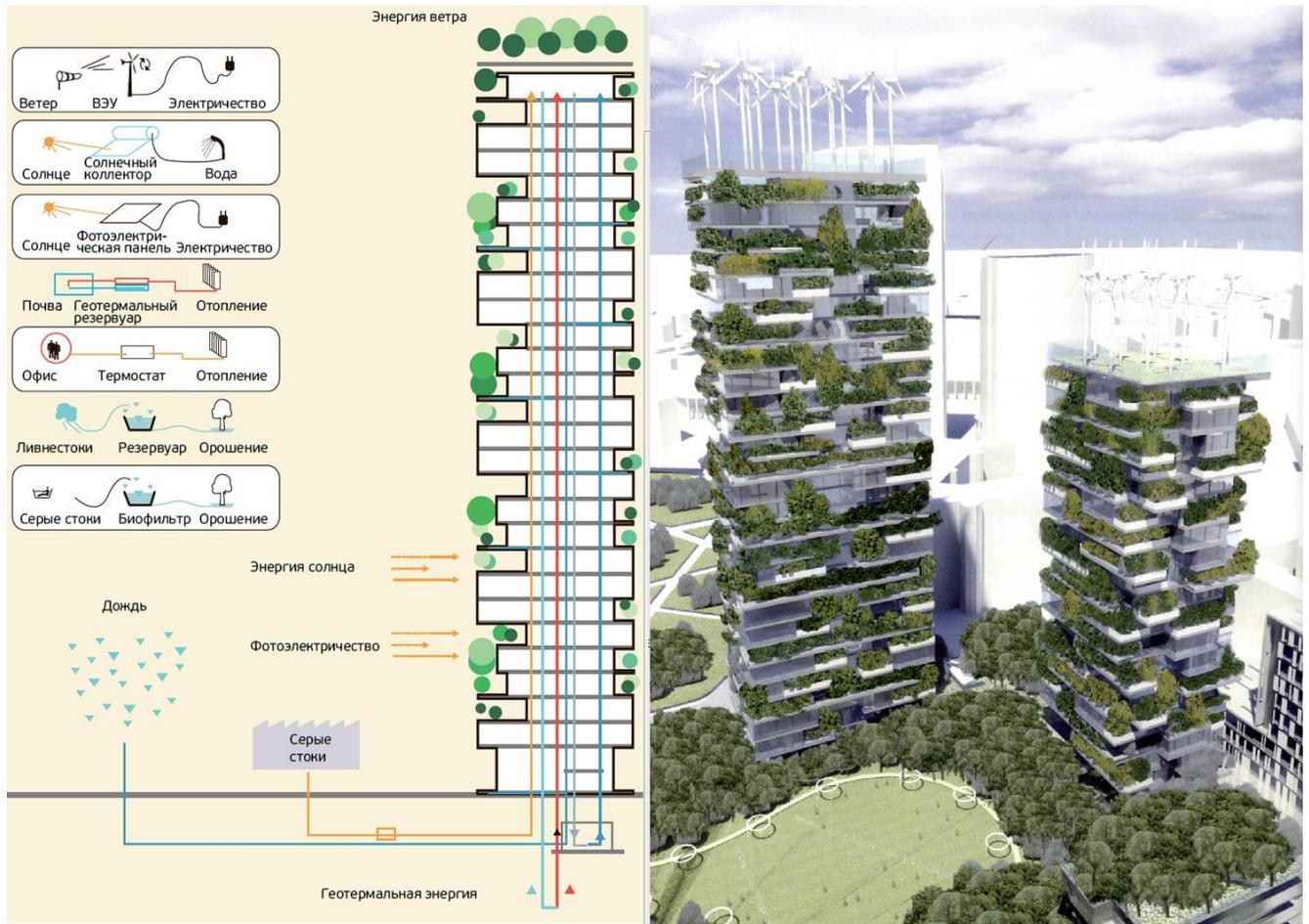


Рис. 54. «Вертикальный лес» в Милане.

#### Общий вид и схема инженерного оборудования

Около 20 лет назад Паоло Солери сформулировал понятие «аркология», которое стало совмещением архитектуры и экологии, при доминирующей роли первой. Проведенное исследование, выявило необходимость введения понятия «архитектурной энергетике», как дисциплины, рассматривающей два этих понятия в единстве. Такой подход, позволит в дальнейшем создавать здания, в которые будут органично с начального этапа проектирования, интегрированы ВИЭ, как часть объемно-пространственного решения объекта. Совершенствованием этой идеи стала концепция «здания с нулевым энергетическим балансом» («Net Zero Energy Building»). Это означает что объект может быть полностью энергетически самодостаточен, продавая излишки энергии в общегородскую сеть [99]. Как пишет Марианна Бродач: «Эта цель (создание

здания с нулевым энергетическим балансом) может быть достигнута только в результате совместной творческой работы архитектора, инженера, исследователя и самой природы, основанной на оптимизации ориентации и формы здания, использовании дневного освещения, естественной вентиляции, применении тепловых насосов и возобновляемых источников энергии и т.д.» [27]. Данная идея особенно актуальна для высотных зданий. При ее реализации будет купирован главный недостаток – высокое энергопотребление. В настоящее время в мире создано несколько программ, поощряющих строительство зданий с нулевым энергетическим балансом. Существует европейская резолюция до 2019 года и долгосрочные программы в США до 2020-2050-х годов. Поскольку сейчас в России происходит активное освоение потенциала ВИЭ можно прогнозировать появление подобных стратегий и в нашей стране. Возведение данных зданий способно изменить энергобаланс городов и регионов и способно сформировать у людей положительное отношение к высотному строительству.

### **ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3**

1. Разработана методика проектирования высотных зданий с ВИЭ. Сформулированы 5 принципов формирования архитектуры данного вида объектов.

2. Даны предложения по использованию гелио- и ветрогенераторов в высотных зданиях. Определено 4 основных местоположения по размещению энергооборудования: в верхней, средней, нижней частях объекта и комбинированное. Приведены схемы и конкретные примеры по каждому варианту.

3. Разработанные принципы и методика апробированы в эскизном проекте высотного здания в г. Новосибирске. В нем применены 4 ВИЭ: ветер, солнце, земля и биомасса. Полученный многофункциональный объект имеет высоту 220 метров, покрывает потребности в энергии примерно на 20 % и соотносится с масштабом окружающей застройки города.

4. Определены основные перспективы развития архитектуры высотных зданий с ВИЭ:

- здания, решающие прикладную социально-экономическую задачу в городе, стране;
- энергетически полностью самодостаточные здания;
- возведение «вертикальных городов» для подчеркивания имиджа города, страны и решения проблемы уплотнения городской застройки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследован и проанализирован российский и зарубежный опыт проектирования и строительства высотных зданий с ВИЭ. Выявлены основные этапы и особенности развития архитектуры данного типа объектов, соответствующие им энергетические парадигмы.

Проведен анализ функционально-планировочных решений высотных зданий с ВИЭ:

- установлено процентное соотношение применения ВЭИ в высотных зданиях;
- определен функциональный состав высотных зданий с ВИЭ. Определены конкретные процентные соотношения по каждой функции в многофункциональных объектах.

2. Определены группы факторов, влияющие на формирование архитектуры высотных зданий с ВИЭ. По степени влияния они ранжированы следующим образом: архитектурные, природно-климатические, социально-экономические, инженерно-технические, экологические, градостроительные.

3. Установлено что комплексное влияние архитектуру высотных зданий оказывает применение инженерного оборудования, работающего на энергии солнца и ветра. Основными приемами формирования архитектуры при использовании данных ВИЭ является варьирование местоположения энергоустановок в структуре высотного здания, применения различных типов и размеров устройств – форм и видов ветрогенераторов, возможности имитации рисунков и текстур фасадов с помощью гелиопанелей.

4. Разработаны критерии оценки архитектуры высотных зданий с ВИЭ. Они разделяются на 4 группы: использование ВИЭ, особенности объемно-планировочного, объемно-пространственного и инженерно-технического решений. Произведена оценка 55 объектов и проектов, составлена таблица ранжирования согласно набранным баллам.

Составлена классификация высотных зданий с ВИЭ на основе анализа 55 проектов и объектов, которая выявила 10 типов зданий по виду используемого источника. Пять из них – моноэнергетические объекты, использующие один ВИЭ, еще пять – полиэнергетические, в составе которых 2 и более ВИЭ.

5. По результатам многофакторной оценки составлена сводная карта зонирования территории России с учетом рассматриваемых ВИЭ. Предложены варианты размещения типов высотных зданий по составленной классификации на территории страны.

6. Сформулированы принципы формирования архитектуры высотных зданий на основе выявленных особенностей ВИЭ и классификации типов объектов. Принципы позволяют упорядочить процесс проектирования данного типа объектов, обогатить архитектурное решение путем включения в объемно-пространственную структуру инженерного оборудования, работающего на ВИЭ.

На основании принципов составлена методика проектирования высотных зданий с ВИЭ. Она состоит из 5 последовательных действий. Практическое применение разработанной методики получено при проектировании высотного здания с ВИЭ в г. Новосибирске. Объект имеет спиралевидную форму, что позволяет интенсифицировать генерацию ВИЭ. Регион выбран исходя из составленной карты наиболее благоприятных энергетических зон России. Проект иллюстрирует эффективность методики и достоверность сформулированных принципов.

7. Разработаны схемы размещения гелио- и ветрогенераторов в высотных зданиях. Для установок, преобразующих энергию ветра наиболее выгодными является расположение в верхней и нижней частях, для солнечной энергии – в

средней и верхней частях. Высокоэффективным прием – внедрение динамических частей в архитектурное решение высотного здания.

Определены основные перспективы проектирования строительства высотных зданий с ВИЭ: стремление к энергетической самодостаточности, увеличение размеров объекта, появление «узкоспециализированных» объектов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиация [Электронный ресурс] : классика энциклопедий / [гл. ред. Г. П. Свищев]. - Москва : DirectMEDIA, 2008. - 1 электрон. опт. диск : ил.
2. Альтернативная энергия: ветроэнергетика // Научно-производственная компании Scienmet Group. М., 2014. URL: <http://www.scienmet.ru/ru/occupation/vetroenergetika> (дата обращения: 18.09.2014)
3. Альтернативная энергетика России 2010 // АЭнерджи. М., 2010. URL: <http://aenergy.ru/report-2010> (дата обращения: 18.09.2014).
4. Альтернативная энергетика // Энергетический центр МегаДом. 2014. URL: <http://www.energycenter.ru/article/343/33/> (дата обращения: 21.09.2014)
5. Беляев В.С., Граник Ю.Г., Матросов Ю.А. Энергоэффективность и теплозащита зданий. М.: АСВ, 2012.- 396 с.
6. Бобылев С. Н. и др. Энергоэффективность и устойчивое развитие. – М.: Институт устойчивого развития; Центр экологической политики России, 2010. – 148 с.
7. Будущее возобновляемой энергетики в России // Ведомости. Конференции. М., 2013. URL: <http://www.vedomosti.ru/events/731> (дата обращения: 21.09.2014)
8. Васильев Г.П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2 // АВОК – 2002. – № 4. – С. 10-21.
9. Вертикальный лес // Здания высоких технологий: электронный журнал. 2013. – № 4. – С. 92-95. Систем. требования: Pdf. URL: [http://zvt.abok.ru/upload/pdf\\_articles/37.pdf](http://zvt.abok.ru/upload/pdf_articles/37.pdf) (дата обращения: 27.09.2014)

10. Ветровая энергия // Мастерская своего дела. 2014. URL: <http://msd.com.ua/misc/alternativnyye-istochniki-energii-3/> (дата обращения: 21.09.2014)

11. Ветрогенератор // Аккумуляторы, батарейки и другие источники питания. 2009. URL: <http://www.powerinfo.ru/wind-generator.php> (дата обращения: 18.09.2014)

12. Возобновляемые источники энергии // Мэйкстрой. 2014. URL: <http://www.make-stroy.ru/ecodom/alternativ-energiya/vie/> (дата обращения: 22.09.2014)

13. Высотные здания : Объем.-планировоч. и конструктив. решения / Ф. Рафайнер; Сокр. пер. с нем. Л. Э. Балановского. - М. : Стройиздат, 1982. - 181 с. : ил.

14. Генералов В. П. Особенности проектирования высотных зданий: учеб.-методич. пособие / В.П. Генералов; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара: Самарское книжное издательство, 2007. – 256 с., ил.

15. Геотермальные когенерационные станции // Экологическое сообщество. М., 2011. URL: [http://www.ecorussia.info/ru/ecopedia/geothermal\\_cogeneration](http://www.ecorussia.info/ru/ecopedia/geothermal_cogeneration) (дата обращения: 21.09.2014)

16. Гнатусь Н.А., Некрасов А.С., Воронина С.А. Петротермальные ресурсы как новый вид энергии XXI века / Н.А. Гнатусь, А.С. Некрасов, С.А. Воронина // Маркшейдерия и недропользование. 2009. – № 3. – С. 11-15. Систем. требования: Pdf. URL: <http://www.vipstd.ru/journal/mrksh/0903/p11.pdf> (дата обращения: 27.09.2014)

17. Григорьев И. В. Типологические особенности формирования высотных многофункциональных жилых комплексов : автореферат дис. ... кандидата архитектуры : 18.00.02 / Моск. архитектур. ин-т. - Москва, 2003. - 25 с.

18. Грозовский Г.И., Попов В.А., Полякова Е.А. Нормативно-техническое регулирование в области возобновляемых источников энергии // Тематическое сообщество «Энергоэффективность и энергосбережение» | Биржа инновационных

решений. 2011. Систем. требования: Word. URL: [http://solex-un.ru/sites/solex-un/files/energo\\_files/za257\\_10.doc](http://solex-un.ru/sites/solex-un/files/energo_files/za257_10.doc) (дата обращения: 27.09.2014)

19. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Экологические проблемы использования топлива. – Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. – 109 с.

20. Для населения / Вопросы и ответы /Альтернативные источники энергии, технологии // Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. М., 2014. URL: [http://gisee.ru/questions-answers/list.php?SECTION\\_ID=163](http://gisee.ru/questions-answers/list.php?SECTION_ID=163) (дата обращения: 18.09.2014)

21. Дурманов В. Ю. Социальная основа планировочного развития жилища : диссертация ... доктора архитектуры : 18.00.02. - Москва, 1992. - 329 с. : ил.

22. Есть ли будущее у ветрогенератора? // Энергоинформ – альтернативная энергетика, энергосбережение, информационно-компьютерные технологии. 2014. URL: <http://www.energoinform.org/pointofview/futurewindgenerators.aspx> (дата обращения: 26.09.2014)

23. Жизнь на высоте // «ВЗГЛЯД.РУ». М., 2014. URL: <http://vz.ru/society/2006/6/28/39278.html> (дата обращения: 22.09.2014)

24. Жилище для человека / Ю. Д. Губернский, В. К. Лицкевич. - М. : Стройиздат, 1991. - 225 с. : ил

25. Жилые дома повышенной этажности в зарубежном строительстве [Текст] / В. П. Этенко, канд. архитектуры ; Центр. науч.-исслед. и проектный ин-т типового и эксперим. проектирования жилища. - Москва : Стройиздат, 1967. - 207 с. : ил.

26. Жить в высотках – опасно для психики // Правда.ру: новости и аналитика. М., 2008. URL: <http://www.pravda.ru/society/how/defendrights/17-12-2008/295446-high-0/> (дата обращения: 22.09.2014)

27. Здания с нулевым энергетическим балансом // М.М. Бродач. Наука, образование и экспериментальное проектирование: Материалы международной научно-практической конференции 11-15 апреля 2011 г.: Сборник статей.—М.: МАРХИ, 2011.

28. Инженерное оборудование высотных зданий [Текст] : учебное пособие для студентов архитектурных и строительных вузов по специальности 270301 "Архитектура" / [М. М. Бродач и др.]. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : АВОК-Пресс, 2011. – 456 с.

29. «Интеллектуальное здание» в Бахрейне // Видеорадио.ru. Калуга. 2014. URL: [http://www.videoradio.ru/stati/intellektualnoe\\_zdanie\\_v\\_baxreine.htm](http://www.videoradio.ru/stati/intellektualnoe_zdanie_v_baxreine.htm) (дата обращения: 22.09.2014)

30. Истомин Б.С., Гаряев Н.А., Барабанова Т.А. Экология в строительстве: монография / ГОУ ВПО Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2010. – 154 с.

31. История развития солнечной энергетики в именах и числах // Солнечная энергетика из уст экспертов. 2014. URL: <http://sunexperts.ru/istoriya-razvitiya-solnechnoj-energetiki/> (дата обращения: 21.09.2014)

32. Казаков Ю. Н. Архитектура мегаполиса: Россия, Европа, США. Феномен интеграции и глобализации / Ю. Н. Казаков, В. В. Кондратенко. – СПб.: ДЕАН, 2007. – 448 с.

33. Комплексное использование возобновляемых источников энергии / Г. И. Денисенко. - Киев : о-во "Знание" УССР, 1984. - 33 с. : ил.

34. Коротич А. В. Композиционные особенности структурного формообразования оболочек высотных зданий / А. В. Коротич, М. А. Коротич // журнал «Академический вестник УралНИИпроект РААСН». - 2009. - №2. - с.66-69

35. Лондонская Strata tower признана самым уродливым зданием Британии // Деловой Петербург dp.ru. 2014. URL: [http://www.dp.ru/a/2010/08/13/Londonskaja\\_Strata\\_tower\\_p/](http://www.dp.ru/a/2010/08/13/Londonskaja_Strata_tower_p/) (дата обращения: 22.09.2014)

36. Магай А.А., Семикин П.П. Современные фасадные системы высотных зданий // Окна. Двери. Фасады. – 2013. – №49. – С.53-56

37. Макаров А. А. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство. - М.: Энергоатомиздат, 1997. – 277 с.

38. Масловская О. В. Формообразование и архитектурно-художественная интерпретация высотной застройки на прим. городов США. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. архитектуры.- М.: 2002. – 24 с.

39. Мелен П., Бриско К., Дек М. Ветрогенераторы на крыше здания / П. Мелен, К. Бриско, М. Дек // Здания высоких технологий: электронный журнал. 2013. – № 3. – С. 47-57. Систем. требования: Pdf. URL: [http://zvt.abok.ru/upload/pdf\\_issues/11.pdf](http://zvt.abok.ru/upload/pdf_issues/11.pdf) (дата обращения: 22.09.2014)

40. Многофункциональная архитектура / Э. Цайдлер; Пер. с англ. А. Ю. Бочаровой; Под ред. И. Р. Федосеевой. - М. : Стройиздат, 1988. - 151 с. : ил.

41. Молодкин С. А. Принципы формирования архитектуры энергоэффективных высотных жилых зданий: дис. ... канд. архитектуры : 18.00.02 / С.А. Молодкин. – М.: РГБ, 2007. – 142 с. : ил.

42. Муравьев В. В., Фрейдман А. В., Баранов А. А. Интеллектуальные здания и новейшие технологии инженерного обеспечения и автоматизации при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений // Энергосбережение. – 2002. – №5. – С. 38-43

43. Надежность строительных объектов и безопасность жизнедеятельности человека [Текст] : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению "Строительство" / В. А. Харитонов. - Москва : Высш. шк., 2012. - 366 с. : ил.

44. Неизбежная топливная альтернатива // Аналитический портал химической промышленности. М., 2014. URL: [http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n\\_id=3867](http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=3867) (дата обращения: 18.09.2014)

45. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Р. Б. Ахмедов, А. Д. Передерий. - М.: О-во "Знание" РСФСР, 1988. - 44 с.

46. Не отстать от современных технологий // Зеркало. Информационно-политический, общественно-аналитический ресурс. 2014. URL: <http://www.zerkalo.az/2014/ne-otstat-ot-sovremennyih-tehnologiy/> (дата обращения: 21.09.2014)

47. Обитаете в высотке – запишитесь на танцы // Газета «Новая». Все очень просто! Киев, 2008. URL: <http://novaya.com.ua/?/articles/2008/08/20/142812-15> (дата обращения: 22.09.2014)

48. Одного солнца нам мало (Кинетическая архитектура Дэвида Фишера) // AIR: Архитектура, Информация, Россия. М., 2008. URL: <http://www.archinfo.ru/publications/item/495/> (дата обращения: 18.09.2014)

49. Определение высотного здания // Рейтинг агентств недвижимости Москвы. М., 2014. URL: <http://www.solidarnost.info/rating/mailler.php?id=3> (дата обращения: 22.09.2014)

50. Особенности проектирования и возведения. Высотные здания и другие уникальные сооружения Китая [Текст] / [Бу Цзюньхуй и др. ; науч. ред.: П. А. Акимов, В. Н. Сидоров, А. Р. Турсин]. - Москва : Изд-во АСВ, 2013. - 808 с. : ил.

51. Официальная статистика/Население/Демография // Федеральная служба государственной статистики. М., 2013. Систем. требования: Excel. URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/population/demo/demo11.xls](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/demo/demo11.xls) (дата обращения: 08.09.2013)

52. О возобновляемых источниках энергии и перспективах их использования в России. Интервью с академиком Безруких П.П. // Портал-Энерго.ru – энергоэффективность и энергосбережение. М., 2012. URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/505> (дата обращения: 27.09.2014)

53. Пат. 2131995 РФ, 6 F 03 D 1/04 Ветроэлектростанция / В.Ф. Увакин (РФ). - № 94043158/06; Заявл. 06.12.94; Опубл. 20.06.99. Бюл. №7. – С. 16.

54. Перспективы развития геотермальной энергетики // Е.М. Ракитянский Молодежь и наука: сборник материалов VIII Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э.Циолковского, 19-27 апреля 2012 г. Красноярск. 2012 [Электронный ресурс] Систем. требования: Pdf. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s006/s006-047.pdf> (дата обращения: 21.09.2014)

55. Петрова Л. В. Архитектурно-планировочные приемы совершенствования жилой среды в многоэтажных домах : автореферат дис. ... кандидата архитектуры

: 18.00.02 / ЦНИИ индивидуального и эксперимент. проектирования жилища. - Москва, 1994. - 23 с.

56. Петроэнергетика. Глубинное тепло земли и возможности его использования // Портал-Энерго.ru – энергоэффективность и энергосбережение. М., 2012. URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/542> (дата обращения: 27.09.2014)

57. Почему опасно жить в высотках? // Недвижимость в Днепропетровске. Днепропетровск, 2010. URL: <http://lider.dp.ua/poslednie-novosti/pochemu-opasno-zhit-v-visotkach/> (дата обращения: 22.09.2014)

58. Президент Владимир Путин принял участие в церемонии ввода в эксплуатацию крупнейшей в России солнечной электростанции // Forestec отраслевой клуб. СПб., 2014. URL: [http://www.forestec.net/index/infocenter/news/news\\_3397.html#](http://www.forestec.net/index/infocenter/news/news_3397.html#) (дата обращения: 21.09.2014)

59. Принцип работы приливной электростанции, ее плюсы и минусы // Альтернативная энергетика. Альтернативные источники энергии. Альтернативная энергия. 2014. URL: <http://alternativenergy.ru/energiya/553-prilivnaya-elektrostanciya-princip-foto.html> (дата обращения: 21.09.2014)

60. Пьезоэлектрический ветрогенератор // Проект Заряд. Альтернативная и свободная энергия будущего. М., 2014. URL: <http://zaryad.com/2011/08/11/pezoelektricheskiy-vetrogenerator/> (дата обращения: 26.09.2014)

61. Росс Д. Проектирование систем ОВК высотных общественных многофункциональных зданий / Дональд Росс. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2004. – 166 с. – Перевод изд.: HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings / Donald E. Ross. Atlanta, 2004. – 164 с.

62. Руководство по высотным зданиям. Типология и дизайн, строительство и технология: Пер. с англ. – М.: ООО «Атлант-Строй», 2006. – 228 с. : ил.

63. Савин В.К., Киселёв И.Я. Повышение энергоэффективности теплозащиты зданий с учётом обеспечения комфорта в помещениях и нового нормативно-правового законодательства Фундаментальные исследования РААСН по

научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2012 году. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. – С. 531-535.

64. Савин В.К., Савина Н.В. Архитектура и энергоэффективность зданий // Градостроительство. – 2013. – №1. – С. 82-84.

65. Самые высокие башни мира // Интернет-портал «Ради Дома Про». М., 2014. URL: <http://www.radidomapro.ru/ryedkztzij/nedvijimost/kommertcheskaya/vysotchajschuiu-baschniu-mira-natchnut-stroitg-tch-8264.php> (дата обращения: 18.09.2014)

66. Солнечная энергия // Аккумуляторы, батарейки и другие источники питания. 2009. URL: <http://www.powerinfo.ru/sun-power.php> (дата обращения: 21.09.2014)

67. Соловьев Д.А. Энергия гидросферы: ресурсный потенциал, рынок и новые технологии использования / Д.А. Соловьев // Инновационное развитие энергетики. 2010. – № 6. – С. 51-63. Систем. требования: Pdf. URL: [http://www.sail.msk.ru/articles/51-63\\_6-10new.pdf](http://www.sail.msk.ru/articles/51-63_6-10new.pdf) (дата обращения: 27.09.2014)

68. Спиридонов А.В., Шубин И.Л. На подступах к энергоэффективности // Энергоэффективность и энергосбережение. – 2013. – № 1-2. – С. 53–57.

69. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / [сост.: Безруких П. П. и др.] ; под ред. Безруких П. П. - Москва : ИАЦ Энергия, 2007. - 272 с. : ил.

70. Сроки окупаемости инвестиций в строительство высотных зданий // Статистика небоскребов. 2013. URL: [http://www.antula.ru/site-rielter\\_197.htm](http://www.antula.ru/site-rielter_197.htm) (дата обращения: 26.09.2014)

71. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективное высотное здание / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин // АВОК – 2002. – № 3. – С. 8.

72. Табунщиков Ю. А. От энергоэффективных к жизнеудерживающим зданиям / Ю.А. Табунщиков // АВОК – 2003. – № 3. – С. 8.

73. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, Бродач М. М., Шилкин Н. В. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 192 с.: ил.

74. Устойчивое развитие города - Sustainable development of city : [В 2 ч.] / Тетиор А. Н. М.: Ком. по телекоммуникациям и средствам массовой информ. Правительства Москвы, 1999. – 173 с.

75. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2003. — № 13. — Ст. 1177.

76. Фортов Е.В., Макаров А.А. Тенденции развития мировой энергетики и энергетическая стратегия России // ЭнергоРынок. 2004. №7. URL: <http://www.e-m.ru/er/2004-07/22548/> (дата обращения: 21.09.2014)

77. Что им стоит дом построить // Российская газета. М., 2014. URL: <http://www.rg.ru/2012/01/19/china.html> (дата обращения: 22.09.2014)

78. Эвакуация людей из высотных зданий [Текст] : учебное пособие / Холщевников В. В. ; Московский гос. строит. ун-т, Ин-т стр-ва и архитектуры, Каф. высотного стр-ва. - Москва : МГСУ, 2011. - 275 с. : ил.

79. Экономико-математический энциклопедический словарь / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян ; Редкол.: С.А. Айвазян [и др.]. - М. : Большая Рос. энцикл. : ИНФРА-М, 2003. - 687 с. : ил.

80. Энергетика. Проблемы настоящего и возможности будущего [Текст] / В. Г. Родионов. - Москва : ЭНАС, 2010. - 346 с. : ил.

81. Энергия ветра на пользу людям // Свободная энергия – электростанции на солнечных батареях. М., 2014. URL: <http://www.solarroof.ru/theory/29/39/> (дата обращения: 21.09.2014)

82. Энергия океана / Н. В. Вершинский ; отв. ред. А. С. Монин ; АН СССР. - М. : Наука, 1986. - 149 с. : ил.

83. Энергия приливов и отливов // Зеленая энциклопедия GreenEvolution. М., 2014. URL: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/energiya-prilivov-i-otlivov/> (дата обращения: 21.09.2014)

84. Энергоактивные здания / [Н. П. Селиванов, А. И. Мелуа, С. В. Зоколей и др.]; Под ред. Э. В. Сарнацкого, Н. П. Селиванова. - М. : Стройиздат, 1988. - 373 с. : ил.

85. Энергосбережение в жилых зданиях: опыт строительства многоэтажных энергосберегающих домов в России // Альтернативная энергия, альтернативная энергетика. 2014. URL: <http://aenergy.ru/2579> (дата обращения: 22.09.2014)

86. Энергоэффективные дома. Интерактивная карта Российской Федерации // Государственная корпорация – Фонд содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства. 2014. URL: <http://energodoma.ru/karta-energoeffektivnykh-domov-rossii> (дата обращения: 22.09.2014)

87. Шейдина О. Зеленая энергия // Зеленеет. Женева, 2012. URL: <http://zeleneet.com/zelenaya-energiya/1182/> (дата обращения: 18.09.2014)

88. Шилкин Н.В. Возможность естественной вентиляции для высотных зданий // АВОК – 2005. – № 1. – С. 18-26.

89. Binder G. Sky high living: contemporary high-rise apartment and mixed-use buildings / Georges Binder. - Australia, 2002.

90. Binder G. Tall Buildings of Asia & Australia / Georges Binder; The Images Publishing Group. - Melbourne, 2001. – 580 p.

91. Brochure about Shanghai World Financial Center / Mori Building China (Shanghai) Co., Ltd. - Shanghai. : Published, 2008. - 25 p.

92. CTBUH Height Criteria // Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Chicago, 2014. URL: <http://www.ctbuh.org/HighRiseInfo/TallestDatabase/Criteria/tabid/446/language/en-GB/Default.aspx> (дата обращения: 26.09.2014)

93. Dictionary of ecodesign [Текст] : an illustrated reference / Ken Yeang a. Lillian Woo. - London ; New York : Routledge, 2010. - XI, 294 с. : ил.

94. Hart S. Ecoarchitecture: The Work of Ken Yeang. UK. Wiley, 2011. 304 p.

95. High-rise building (ESN 18727) // Emporis. Hamburg, 2014. URL: <http://www.emporis.com/building/standards/high-rise-building> (дата обращения: 22.09.2014)

96. Skyscraper (ESN 24419) // Emporis. Hamburg, 2014. URL: <http://www.emporis.com/building/standards/skyscraper> (дата обращения: 22.09.2014)
97. Skyscrapers : structure and design / Matthew Wells. - London : King, 2005. – 191 p.
98. Skyscraper : / vertical now / Eric Höweler. - New York : Universe, 2003. - 239 p.
99. Stephens S. Imagining Ground Zero / S. Stephens, I. Luna, R. Broadhurst. – New York : Rizzoli, 2008. – 224 p.
100. The Skyscraper Center. The Global Tall Building Database of the CTBUH. Buildings 100 m+ in height // Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Chicago, 2014. URL: [http://skyscrapercenter.com/create.php?search=yes&page=0&type\\_building=on&status\\_COM=on&list\\_continent=&list\\_country=&list\\_city=&list\\_height=100&list\\_company=&completionsthrough=on&list\\_year=](http://skyscrapercenter.com/create.php?search=yes&page=0&type_building=on&status_COM=on&list_continent=&list_country=&list_city=&list_height=100&list_company=&completionsthrough=on&list_year=) (дата обращения: 11.04.2014)
101. The story of architecture / Jonathan Glancey; [Forew. by Norman Foster]. - London : Dorling Kindersley, 2000. - 240 с. : ил.
102. Trim, M. J. B. Improving the energy-efficient performance of high-rise housing [Text] : доклад, тезисы доклада / M.J.B.Trim. - Garston ; Watford : [s. n.], 1991. - 4 p. : ill. - (Information paper / BRE ; 4/91). - 10 p.
103. World Energy Outlook // International Energy Agency. Систем. требования: Pdf. URL: [http://www.iea.org/media/russian/weo2008\\_es\\_russian.pdf](http://www.iea.org/media/russian/weo2008_es_russian.pdf) (дата обращения: 08.09.2013)
104. Yeang K. Eco Skycrapers / Ken Yeang ; Ed. Ivor Richards. – Hong Kong : Images Pudlishing, 2007. – 160 p.