СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Архитектура, градостроительство, дизайн

УДК 728

© И. А. Груничев, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: igrunichev@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-5-13

© I. A. Grunichev, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: igrunichev@mail.ru

ИНТЕГРАЦИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В АРХИТЕКТУРУ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

THE INTEGRATION OF WIND DRIVEN POWER PLANTS INTO THE ARCHITECTURE OF LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS

Рассматриваются интеграция ветроэнергетических установок (ВЭУ) в архитектуру малоэтажных жилых зданий в прибрежных районах; влияние архитектурной формы малоэтажных зданий на формирование скорости ветровых потоков для ВЭУ как элемента здания. Определены основные типы ВЭУ для интеграции их в архитектуру малоэтажных зданий. Проанализированы зарубежные осуществленные проекты зданий с интеграцией ВЭУ с учетом их эффективности по энергообеспечению при преимущественном использовании ветрогенераторов. В качестве гипотезы и целеполагания — новое формообразование жилых малоэтажных зданий при преимущественном использовании ветровых энергоустановок.

Ключевые слова: архитектура малоэтажных зданий, ВЭУ, интеграция ветрогенераторов, ветровые потоки, обтекание, трубка «Вентури», скорость ветра, формообразование зданий.

The paper deals with integration of wind driven power plants (further referred to as WDPP) into the architecture of low-rise residential buildings in coastal areas. The impact of the architectural form of low-rise buildings on the formation of wind currents' speed for wind turbines as a building element is considered. The main types of WDPP for their integration into the architecture of low-rise buildings are determined. The author highlights some foreign projects of buildings with WDPP integration taking into account their efficiency on power supply at the primary use of wind generators. The architectural morphogenesis of low-rise residential buildings with an advantageous use of wind power is regarded as a hypothesis and goal setting of the article.

Keywords: architecture of low-rise buildings, WDPP, integration of WDPPs, wind flows, flow-over, "Venturi" tube, wind speed, architectural morphogenesis of buildings.

Основная цель этой статьи — продемонстрировать, как архитектурная форма здания может влиять на формирование ветровых потоков, усиливая и направляя их к ветроэнергетическим установкам (ВЭУ). При использовании скорости ветра как возобновляемого источника энергии в архитектуре зданий фактически усиливается устойчивость экологических составляющих проекта в целом [2]. ВЭУ перестает быть отдельным элементом, оторванным от здания, и становится полноценным элементом архитектурной фор-

мы здания [7]. Для выявления возможных зон усиления скорости ветровых потоков при анализе схем обтекания форм здания требуется использовать программу *Autodesk Simulation CFD* 2015, в которой лежит принцип компьютерного газодинамического анализа. Модели зданий, разработанные в *Revit*, помещаются в аэродинамическую трубу *Simulation CFD*, где задаются направление и скорость ветровых потоков, полуавтоматически строится сеть, отвечающая за точность расчета.

Таблица 1

Примеры зданий с интеграцией ВЭУ

№ п/п	Варианты интеграции ВЭУ в здания	Технические характеристики и особенности	Анализ обтекания ветровыми потоками при скорости ветра 5–10 м/с здания с помощью программы Autodesk Simulation CFD
1	Здание Перл Ривер Тауэр в Гуаньджоу	В здание интегрированы 4 ветровые турбины WINDSIDE (WS-12) в 4 сквозных отверстиях, способствующих увеличению скорости ветровых потоков. При скорости ветра 5 м/с 1 ВЭУ вырабатывает 8640 кВт·ч/год. Всего 34 560 кВт·ч/год — 5 % от общего годового потребления здания
2	Жилой дом с интегрированными ветровыми турбинами Ridge Blade RB 1 (10 роторов) в коньке кровли в Польше	ВЭУ мощностью RB1 (10 роторов) мощностью 5,4 кВт производит при скорости ветра 3,5 м/с 5328 кВт·ч/год, а при 5,9 м/с – 10 590 кВт·ч/год. В месте усиления скорости ветра интегрирована ВЭУ	Диаграмма скорости ветра
3	Жилое здание в Шпандау, Берлин	ВЭУ интегрированы в кровлю здания как солнечно-ветровые. Используется край кровли, место усиления воздушных потоков. Модуль состоит из 2 ветрогенераторов в аэродинамической трубе и 4 солнечных панелей. Мощность 10 модулей 22 кВт. Общая мощность произведенной энергии 18 000 кВт·ч/год
4	Strata Tower	3 пятилопастных ВЭУ производят 57 кВт (по 19 кВт каждая). В год при скорости ветра 16,6 м/с — 50 МВт·ч, что составляет 8 % от потребности здания в год. Пять лопастей турбины вместо 3 способствуют снижению уровня шума и вибраций
5	Здание в Бахрейне	3 трехлопастные ветровые турбины с горизонтальной осью вращения ø 29 м и мощностью 225 кВт — интегрированы в пространство между зданиями. Вырабатывают 1,3 ГВт·ч/год — 13 % от потребности здания

Удачный пример формы здания при интеграции ВЭУ — реализованный проект «Перл Ривер Тауэр» в Гуаньджоу (табл. 1, № 1). Инновационным является комплексный модуль, сочетающий энергию ветра и солнца, внедренный в конструкцию кровли здания в Берлине в Шпандау (табл. 1, № 3).

Характерный пример зданий — концентраторов энергии за счет формы — здание в Бахрейне (табл. 1, № 5). Пример использования эффекта «трубка Вентури» для интеграции ВЭУ — здание *Strata Tower* (табл. 1, № 4). Традиционным примером в архитектуре малоэтажных зданий является использование наклонной крыши, которая способствует направлению и усилению

ветрового потока в вершине крыши, где интегрирован ВЭУ, и увеличивает выработку энергии (табл. 1, № 2).

Формирование оптимальных для ВЭУ потоков ветра зависит не только от формы здания, но и от планировочных решений прибрежных поселков [8]. В табл. 2 показаны авторские варианты схемы возможной планировочной организации застройки в целях концентрации ветровых потоков. При совпадении ветровых потоков и застройки происходит усиление скорости ветра, что способствует увеличению выработки энергии ВЭУ и на других зданиях (см. табл. 2, № 2, 3).

Таблица 2

Архитектурно-планировочные решения организации малоэтажной жилой застройки с учетом использования энергии ветра

№ п/п	Только преобладающий ветер с моря	Ветер разных направлений
1	<p>Фрагмент схемы планировочной организации земельного участка. Экспериментальные жилые дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный</p>	<p>Фрагмент схемы планировочной организации земельного участка. Экспериментальные жилые дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный</p>
2	<p>Фрагмент схемы планировочной организации земельного участка. Экспериментальные жилые дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный</p>	<p>Фрагмент схемы планировочной организации земельного участка. Экспериментальные жилые дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный</p>
3	<p>Фрагмент схемы планировочной организации земельного участка. Экспериментальные жилые дома с интегрированными ВЭУ, г. Пионерский</p>	<p>Фрагмент схемы планировочной организации земельного участка. Экспериментальные жилые дома с интегрированными ВЭУ, г. Пионерский</p>

В табл. 3 показаны авторские разработки интеграции ВЭУ в малоэтажные здания с анализом обтекания архитектурной формы с помощью программы *Autodesk Simulation CFD 2015*. Кроме этого, на основе анализа «обтекания» в авторских разработках предлагаются варианты наи-

более оптимальных размещений ВЭУ в архитектурную форму здания.

Результаты исследования

1. Выявлены особенности интеграции ВЭУ в структуру здания на примерах осуществленных зарубежных проектов и определено необхо-

Таблица 3

Примеры интеграции ВЭУ в малоэтажные здания на основании экспериментального проектирования

№ п/п	Архитектурные решения малоэтажного здания	Ветровые потоки при скорости ветра 5–10 м/с программы <i>Autodesk Simulation CFD 2015</i>
1	Проект многоквартирного жилого дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный	Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>Eddy GT</i> в сквозном отверстии увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 12 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 20 м/с
2	Проект многоквартирного жилого дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный	Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>Eddy GT</i> увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 15 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 24 м/с
3	Проект многоквартирного жилого дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный	Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>WindRail</i> в сквозном отверстии увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 20 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 38 м/с

№ п/п	Архитектурные решения малоэтажного здания	Ветровые потоки при скорости ветра 5–10 м/с программы <i>Autodesk Simulation CFD 2015</i>
4	<p>Проект многоквартирного жилого дома с интегрированными ВЭУ, г. Пионерский</p>	<p>Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>Eddy GT</i> в сквозном отверстии увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 15 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 28 м/с</p>
5	<p>Проект блокированного жилого дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный</p>	<p>Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>Eddy GT</i> увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 11 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 20 м/с</p>
6	<p>Проект многоквартирного жилого дома с интегрированными ВЭУ, г. Зеленоградск</p>	<p>Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>Eddy GT</i> в сквозном отверстии увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 15 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 24 м/с</p>
7	<p>Проект многоквартирного жилого дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный</p>	<p>Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>Eddy GT</i> увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 10 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 18 м/с</p>

№ п/п	Архитектурные решения малоэтажного здания	Ветровые потоки при скорости ветра 5–10 м/с программы <i>Autodesk Simulation CFD 2015</i>
8	<p data-bbox="255 689 686 750">Проект индивидуального жилого дома с интегрированными ВЭУ, г. Пионерский</p>	<p data-bbox="742 683 1428 784">Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>Eddy GT</i> увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 10 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 17 м/с. Максимальное увеличение скорости ветра в зоне ВЭУ типа <i>Invelox</i> до 23 м/с</p>
9	<p data-bbox="255 1120 686 1176">Проект многоквартирного жилого дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный</p>	<p data-bbox="742 1142 1428 1220">Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>Eddy GT</i> увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 12 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 20 м/с</p>
10	<p data-bbox="255 1568 686 1624">Проект многоквартирного жилого дома с интегрированными ВЭУ, пос. Янтарный</p>	<p data-bbox="742 1590 1428 1668">Анализ показал, что скорость ветрового потока в зоне интеграции ВЭУ типа <i>Eddy GT</i> увеличивается при скорости 5 м/с с 5 до 12 м/с, а при 10 м/с — с 10 до 17 м/с</p>

димое количество вырабатываемой ВЭУ энергии (см. табл. 1, № 1–5). Важными составляющими внедрения ветрогенератора в здание являются максимально возможная выработка электроэнергии и способы ее увеличения за счет совершенствования архитектурной формы здания.

Главное условие работы ветрогенератора — постоянное движение воздушных потоков в месте его установки. Наиболее перспективными для интеграции ВЭУ в архитектуру зданий являются прибрежные зоны, характеризующиеся постоянством и преобладанием ветров со среднегодовой

скоростью 5 м/с и более. Архитектурная форма зданий, построенных в этих зонах, должна стать своеобразной «ловушкой» ветра. Существует два основных типа ветроустановок — с вертикальной и горизонтальной осями вращения. Для оптимизации улавливания ветровых потоков наибольшее применение в архитектуре зданий нашли ветрогенераторы с вертикальной осью вращения (см. табл. 1, № 1 и табл. 2, 3), занимающие наименьшую площадь установки. Эти ВЭУ характеризуются номинальной мощностью, которая увеличивается при определенной скорости ветровых потоков. Использование энергии ветра способствует автономности здания и накапливает в нем энергию (табл. 4).

2. Применение ВЭУ в сквозных отверстиях способствует уменьшению воздействия ветра на здание и усиливает скорость потоков ветра в соответствии эффекта «трубка Вентури» (см. табл. 1, № 1). С увеличением скорости ветра увеличивается выработка электроэнергии ветрогенераторами (табл. 3, № 1–6, 9, 10).

3. Пример ВЭУ с вертикальной осью вращения — устройство типа WS-12 (8640 кВт·ч/год при скорости ветра 5 м/с, а при 8 м/с — 22 464 кВт·ч/год) (табл. 1, № 1). Объемная интеграция ВЭУ в плоскую или наклонную кровлю здания создает новый архитектурный элемент завершения здания, усиливает ветровой поток в зонах изгибов фасада (см. табл. 1, № 2, 3).

4. Используя зарубежный опыт интеграции ВЭУ (см. табл. 1) в архитектуру зданий и анализ исследования моделирования обтекания ветровыми потоками при скорости ветра 5–10 м/с здания с помощью программы *Autodesk Simulation CFD 2015*, были выявлены и предложены варианты внедрения ВЭУ в архитектуру малоэтажных жилых зданий прибрежных зон (см. табл. 2).

На побережьях наблюдаются сильные и штормовые ветры, поэтому требуется устойчивость здания к ветровым нагрузкам. Формы здания должны увеличивать ветровые потоки для интеграции в них ВЭУ. Важным в исследовании влияния архитектурной формы на увеличение скорости ветра служит опыт строительства жилых домов американской фирмы *Deltec Homes*, которая возводит круглые и многоугольные в плане малоэтажные жилые здания, способные проти-

востоять ураганным ветрам. Круглая и многоугольная форма дома способствует плавному обтеканию потоков ветра без потери скорости. Эти особенности были учтены в экспериментальном авторском проекте малоэтажного жилого здания (табл. 2, № 1).

5. На основании авторских разработок архитектуры малоэтажных зданий и метода анализа (*Autodesk Simulation CFD 2015*) определены возможно оптимальные места интеграции ВЭУ в «тело» здания:

- ВЭУ типа *Invelox* интегрируется в центральную часть здания, улавливая ветер всех направлений, одновременно выступая опорной конструкцией (см. табл. 3, № 1, 7, 8);

- ВЭУ типа *Eddy GT* внедрено в сквозное отверстие, форма которого способствует концентрации и усилению ветровых потоков (см. табл. 3, № 1, 4, 6, 10). Конструктивные треугольные консольные перекрытия, выступающие в виде самонесущих колонн, установленных в месте усиления ветра, служат местом интеграции ВЭУ (см. табл. 3, № 2–10);

- ВЭУ типа *SWIFT turbine* установлен в спиралеобразную форму здания и ориентирован на улавливание ветра всех направлений, наклонные плоскости усиливают и направляют ветровой поток к ВЭУ (см. табл. 3, № 1);

- ВЭУ типа *WindRail* устанавливается на плоской кровле здания, используя усиленный ветровой поток в вершине наклонной плоскости, а также в сквозных отверстиях зданий в вершине угла (см. табл. 3, № 3, 4, 6, 7);

- ВЭУ типа ЗВТ (закрытая ветровая турбина) в виде цилиндрических объемов, пронизывающих здание насквозь, отверстия способствуют улавливанию ветра, могут размещаться в любой части здания (см. табл. 3, № 2, 4–6, 9, 10);

- ВЭУ типа *Liam F1* интегрирован в крышу здания как плоскую, так и наклонную, ловит ветер всех направлений (см. табл. 3, № 2–10).

Выводы

1. В результате исследования методом моделирования обтекания ветровыми потоками при скорости ветра 5–10 м/с зданий с помощью программы *Autodesk Simulation CFD 2015* открывается возможность выявления мест интеграции ВЭУ в архитектуру малоэтажных жилых зданий прибрежных зон (см. табл. 2, 3). Методика

исследования позволяет внести корректировку расстояний между зданиями (эффект «сквозняка») и совершенствовать архитектурные формы с интеграцией в них ВЭУ уже на стадии эскиза, особенно в схемах планировочной организации застройки. При дальнейшей работе планируется создать нормативные регламенты по установке ВЭУ.

2. При использовании ВЭУ в малоэтажных зданиях нельзя отказываться от дополнительных источников энергии (солнечные батареи и т. п.). Анализ вариантов интегрирования ветрогенераторов в здания (см. табл. 3) показал, что общее количество потребляемой электрической энергии зданием в год (с учетом использования индукционной плиты и без учета отопления, горячей воды) возможно за счет ВЭУ (см. табл. 4) при скорости ветра в год 5 м/с, но нельзя исключить и безветрия.

3. Изучение продукции фирм-производителей ВЭУ с вертикальной осью вращения, таких как финская WINDSIDE, позволяет утверждать, что этот тип ВЭУ при увеличении скорости ветра увеличивает выработку энергии ветрогенератором. Вследствие этого архитектурная форма

здания должна способствовать усилению потоков ветра. ВЭУ выдерживают работу при ветре 60 м/с, а начинают работу при 2 м/с, что является особенностью климата прибрежных зон. Ветрогенератор с вертикальной осью вращения ловит ветер любого направления. Важный показатель ВЭУ — выработка электроэнергии за определенный период времени. При выборе следует учитывать не номинальную мощность ВЭУ, а количество кВт·ч/год при определенной скорости ветра.

4. Особое внимание при интеграции ВЭУ в малоэтажные застройки необходимо уделять показателям устройств по шуму, вибрации и электромагнитному воздействию. Предварительные исследования показали, что ветрогенераторы с вертикальной осью вращения менее шумны, например *Eddy GT* — 38 дБ при скорости ветра 12 м/с при допустимом ночью 45 дБ, отсутствие вибраций.

Сочетание солнечных панелей и ветрогенераторов увеличивает выработку экологически чистой энергии, сокращая выбросы в атмосферу CO₂. ВЭУ способствует охлаждению панелей из кремния (см. табл. 1, № 3), защищая их от пере-

Таблица 4

Типы ВЭУ, интегрированные в здания, и энергетическая эффективность

№ п/п	Тип дома по табл. 3	Тип ВЭУ						Общее количество энергии, вырабатываемое ВЭУ в год при скорости 5–6 м/с (кВт·ч/год)	Общее количество потребляемой электрической энергии зданием в год (кВт·ч/год)
		Eddy GT при 5 м/с — 1250 кВт·ч/год	WindRail при 3,8 м/с — 1600 кВт·ч/год	SWIFT turbine при 6 м/с — 1900 кВт·ч/год	Invelox при 5 м/с — 2000 кВт·ч/год	Liam F1 при 5 м/с — 1500 кВт·ч/год	Закрытая ветровая турбина (ЗВТ) при 5 м/с — 2000 кВт·ч/год		
1	1	8	—	8(6)	1	—	—	23 400	23 400
2	2	18	—	—	—	9	3	42 000	30 582
3	3	12	4	—	—	4	—	27 400	23 400
4	4	32(23)	12(6)	—	—	5	3	51 850	36 000
5	5	24	—	—	—	12	4	56 000	40 776
6	6	18	24	—	3	2	—	69 900	48 000
7	7	12	3	—	2	4	—	19 750	19 200
8	8	5	—	—	1	5	—	15 750	7200
9	9	24	—	—	—	12	4	56 000	40 776
10	10	20	—	—	—	4	4	24 500	24 468

грева, а солнечные панели незаменимы в безветрие. Солнечно-ветровые модули идеально подходят для плоских кровель зданий. Комбинирование солнечных панелей улучшает пластику архитектурной формы ограждающих конструкций.

Библиографический список

1. Ремизов А. Н. Архитектура и экоустойчивость: сложность взаимоотношений // Жилищное строительство. 2015. № 1. С. 45–48.
2. Ремизов А. Н. Экоустойчивая архитектура как процесс // Жилищное строительство. 2016. № 4. С. 48–51.
3. Ремизов А. Н. О стимулировании экоустойчивой архитектуры и строительства // Жилищное строительство. 2014. № 3. С. 41–43.
4. Повзун А. О., Бузун Н. И., Зимин С. С. Ветровая нагрузка на здания и сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3 (30). С. 70–78.
5. Егорычев О. О., Поддаева О. И., Чуринов П. С. Проектирование макетов уникальных зданий и сооружений в экспериментальной аэродинамике // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 332–335.
6. Буслаева Ю. С., Грибач Д. С., Поддаева О. И. Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на многофункциональный высотный жилой комплекс // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2014. № 6. С. 58–62.
7. Шонина Н. А. Ветроэнергетика // Сантехника. 2012. № 2. С. 14–19.
8. Табунщиков Ю. А., Ефремов М. Н. Аэродинамика застройки и зданий // АВОК. Инженерные системы зданий. 2015. № 4. С. 48–56.

References

1. Remizov A. N. *Arkhitectura i ehkoustoychivost': slozhnost' vzaimootnosheniy* [Architecture and sustainability: complexity of relationship]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2015, no. 1, pp. 45–48.
2. Remizov A. N. *Ehkoustoychivaya arkhitektura kak protsess* [Sustainable architecture as a process]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2016, no. 4, pp. 48–51.
3. Remizov A. N. *O stimulirovaniy ehkoustoychivoy arkhitektury i stroitel'stva* [About stimulation of sustainable architecture and construction]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2014, no. 3, pp. 41–43.
4. Povzun A. O., Buzun N. I., Zimin S. S. *Vetrovaya nagruzka na zdaniya i sooruzheniya* [Wind load on buildings and structures]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy – Construction of unique buildings and structures*, 2015, no. 3 (30), pp. 70–78.
5. Egorychev O. O., Poddaeva O. I., Churin P. S. *Proektirovanie maketov unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy v ehksperimental'noy aehrodinamike* [Design of models of unique buildings and constructions in experimental aerodynamics]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzh'ya – Scientific and technical bulletin of the Volga region*, 2014, no. 5, pp. 332–335.
6. Buslaeva Yu. S., Gribach D. S., Poddaeva O. I. *Ehkspperimental'noe issledovanie vetrovykh nagruzok na mnogofunktsional'nyy vysotnyy zhiloy kompleks* [Pilot study of wind loads of a multipurpose high-rise housing estate complex]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova – Bulletin of the Belgorod state technological university named after V. G. Shukhov*, 2014, no. 6, pp. 58–62.
7. Shonina N. A. *Vetroehnergetika* [Wind power energy]. *Santekhnika – Sanitary engineering*, 2012, no. 2, pp. 14–19.
8. Tabunshchikov Yu. A., Efremov M. N. *Aehrodinamika zastroyki i zdaniy* [Air dynamics of building development and separate buildings]. *Inzhenernye sistemy zdaniy – Engineering systems of buildings*, 2015, no. 4, pp. 48–56.