УДК 728

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-15-22

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

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

ИНТЕГРАЦИЯ МАЛЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В АРХИТЕКТУРНУЮ ФОРМУ МАЛОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

INTEGRATION OF SMALL WIND POWER PLANTS INTO THE ARCHITECTURAL FORM OF LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS

Рассматриваются варианты интеграции малых ветроэнергетических установок (далее МВЭУ) в архитектурную форму малоэтажных жилых зданий с использованием эффекта усиления ветровых потоков («сквозняка»). Исследуется влияние архитектурной формы на создание этого эффекта в зоне размещения МВЭУ как архитектурного элемента здания. Определена классификация МВЭУ по принципам размещения и работы в наиболее приемлемых для интеграции местах в структуре малоэтажных жилых зданий. Проанализирован эффект возникновения «сквозняка» в различных по форме малоэтажных зданиях графически и на основе программного метода исследования с апробацией в виде экспериментального проектирования. В качестве гипотезы и целеполагания предлагается новое архитектурное формообразование малоэтажных жилых зданий при использовании МВЭУ.

Ключевые слова: архитектура малоэтажных жилых зданий, МВЭУ, эффект «сквозняка», интеграция ветроэнергетических установок, архитектурная форма, ветровые потоки, обтекание, скорость ветра, формообразование зданий, возобновляемые источники энергии.

The article considers some options of integration of small wind power plants (hereinafter SWPP) into the architectural design of low-rise residential buildings using the effect of strengthening wind flows («draught»). The influence of the architectural form on the creation of this effect emerging near the SWPP location is investigated, the SWPP being regarded as an architectural element of the building. The classification of SWPPs is presented applying the principles of allocation and operation in the most suitable places in the structure of low-rise residential buildings. The «draught» effect emerging in various forms of low-rise buildings is analyzed graphically and on the basis of a software research method envisaging a testing in the form of experimental design. As a hypothesis and goal setting, the authors propose a new architectural morphogenesis of low-rise residential buildings using small wind power plants.

Keywords: architecture of low-rise residential buildings, SWPP, «draught» effect, integration of wind power plants, architectural form, wind flows, flow, wind speed, architectural morphogenesis, renewable energy sources.

Архитектура малоэтажных жилых зданий с интегрированными малыми ветроэнергетическими установками (МВЭУ) способствует развитию возобновляемой энергетики в целом [8]. Роль архитектора становится важной не только в теме совершенствования объемно-пространственных решений зданий, но и в увеличении эффективности использования возобновляемых источников энергии (далее ВИЭ) [9]. Применение ВИЭ, таких как ветровая и солнечная энергия, является наиболее эффективным решением экологических

задач с одновременным использованием климатических факторов, оказывающих влияние на энергосбережение [3, 4, 10].

Анализ современных исследований показывает, что ветровая и солнечная энергия способствуют выработке наиболее дешевой электроэнергии, особенно на долговременном отрезке использования [10]. Дополнительным стимулом использования МВЭУ в архитектуре малоэтажных жилых зданий в России стало постановление Правительства РФ № 299 от 02.03.2021 года

по функционированию объектов микрогенерации.

Существенным при интеграции МВЭУ является то, что ветрогенератор превращается в элемент архитектуры малоэтажного жилого здания. В этом случае предлагается использовать принцип приспособления объема здания под усиление ветровых потоков в местах установки МВЭУ.

Основное препятствие в природном ландшафте для свободного доступа ветровых потоков к зданию — лесные массивы и перепады рельефа местности. В то же время береговые склоны, характерные для прибрежных территорий, особенно в Калининградской области в зоне Балтийского моря, усиливают скорость ветра к вершине перепада. В этом месте размещения малоэтажных зданий не только усиливается взаимосвязь архитектурной формы с ландшафтом, в том числе силуэтный эффект, но и одновременно осуществляется эффективная выработка электроэнергии средствами МВЭУ [6].

Анализ зарубежных и отечественных производителей малых ветроэнергетических установок, используемых в различных зданиях, позволяет выявить наиболее оптимальные МВЭУ [1]. В табл. 1 предложена классификация эффективных МВЭУ для внедрения в архитектурную форму малоэтажных жилых зданий.

В целях апробации результатов исследования автором статьи в качестве эксперимента были разработаны концептуальные решения малоэтажных жилых зданий с внедрением МВЭУ в их архитектурную форму [6]. При этом были использованы методы графического анализа обтекания зданий ветровыми потоками и программного анализа на основе Autodesk Simulation CFD. При программном анализе особое внимание обращалось на эффект усиления ветровых потоков в зависимости от системы размещения и объемных характеристик малоэтажной жилой застройки [2].

В табл. 2 рассмотрены авторские экспериментальные разработки внедрения МВЭУ в архитектурную форму малоэтажных жилых зданий на основе графического и программного анализа обтекания зданий ветровыми потоками.

В качестве результатов исследования можно выделить следующее:

1. Классифицированы виды наиболее приемлемых МВЭУ для интеграции в архитектурную форму малоэтажного жилого здания (см. табл. 1).

2. Выявлены основы эффективности и устойчивости выработки ветровой энергии при архитектурном формообразовании жилого здания с целью содействия усилению ветровых потоков (см. табл. 2).

3. Анализ мирового опыта внедрения ветрогенераторов в архитектуру зданий показал наибольший эффект их размещения в сквозных проемах зданий. Учитывая результаты анализа, предложены авторские разработки с использованием метода создания эффекта «сквозняка» (см. табл. 2).

4. Анализ научных трудов российских ученых — Н. Е. Жуковского, который заложил основы наиболее эффективной работы ВЭУ, Ю. И. Курбатова, предложившего модель формообразования и взаимосвязи архитектурной формы с природным ландшафтом [7], С. В. Корниенко [5] и других — дает возможность рассмотреть перспективы взаимодействия архитектурной формы с МВЭУ, а также превращения чисто инженерных утилитарных конструкций в архитектурные элементы зданий.

5. Приведенная классификация МВЭУ позволяет в предпроектных исследованиях оценить степень эффективности МВЭУ при выработке электроэнергии и определить возможные места интеграции МВЭУ (см. табл. 1).

6. На основе исследования по использованию эффекта усиления ветровых потоков предложена методика «обтекания» архитектурной формы малоэтажного жилого здания ветровыми потоками. Графический метод предполагает возможное направление ветровых потоков обтекания архитектурной формы с учетом ориентации здания по сторонам горизонта и розы ветров. В процессе построения схемы обтекания выявляется возможная аэродинамическая тень — место, непригодное для интеграции МВЭУ. Программный метод исследования обтекания ветровыми потоками здания с использованием Autodesk Simulation CFD позволяет определить места наиболее эффективного размещения МВЭУ (см. табл. 2).

Таблица 1

Классификация МВЭУ по принципам размещения и особенности их работы при интеграции в архитектуру малоэтажных жилых зданий

№ п/п	Типы малых ветроэнергетических установок		Внешний вид	Мощность	Интеграция				
					Срезы углов «треугольные консоли»	Башня типа Invelox	Сквозные отверстия	Кровля	
								плоская	наклонная
1	Установки ветроэнергетические с вертикальной осью вращения	С усилителем скорости ветровых потоков		при 5 м/с — 1340 кВт·ч/год	+	+	+	+	+
2		Без усилителя скорости ветровых потоков		Eddy GT при 5 м/с — 1250 кВт·ч/год	+	–	+	+	+
3					–	–	С учетом солнечных панелей	+	+
4					+	–	+	+	+
5	Установки ветроэнергетические с горизонтальной осью вращения	С усилителем скорости ветровых потоков		WindRail при 3,8 м/с — 1600 кВт·ч/год	–	–	С учетом солнечных панелей	+	+
6				SWIFT turbine при 6 м/с — 1900 кВт·ч/год	+	+	+	+	+
7				Закрытая ветровая турбина (ЗВТ) при 5 м/с — 2000 кВт·ч/год	–	–	+	+	+
8				RB1 (10 роторов) при 3,5 м/с — 5328 кВт·ч/год	–	–	+	–	+
9	Без усилителя скорости ветровых потоков			Liam F1 при 5 м/с — 1500 кВт·ч/год	+	–	+	+	+
10	Инновационные ветроэнергетические установки без лопастей типа EWICON				+	+	+	+	+
11	С усилителем скорости ветровых потоков			Invelox при 5 м/с — 2000 кВт·ч/год	–	+	+	+	+

Таблица 2

Концептуальные решения интеграции МВЭУ в архитектурную форму малоэтажного жилого здания с анализом системы формирования ветровых потоков

№ п/п	Графический анализ обтекания архитектурной формы здания	Анализ обтекания ветровыми потоками при скорости ветра 5–10 м/с здания с помощью программы Autodesk Simulation CFD

1	<p data-bbox="217 931 743 999">Обтекание ветровым потоком архитектурной формы здания в двух направлениях</p>	<p data-bbox="767 1066 1433 1189">Анализ обтекания архитектурной формы здания показал, что при скорости ветрового потока 5 м/с скорость ветра в зоне интеграции МВЭУ по типу (табл. 1, № 2) увеличивается до 18 м/с</p>

2	<p data-bbox="217 1816 743 1883">Обтекание ветровым потоком архитектурной формы здания в разных направлениях</p>	<p data-bbox="767 1816 1433 1939">Анализ обтекания архитектурной формы здания показал, что при скорости ветрового потока 5 м/с скорость ветра в зоне интеграции МВЭУ по типу (табл. 1, № 2) увеличивается до 16 м/с</p>

№ п/п	Графический анализ обтекания архитектурной формы здания	Анализ обтекания ветровыми потоками при скорости ветра 5–10 м/с здания с помощью программы Autodesk Simulation CFD

3	<p data-bbox="220 974 743 1041">Обтекание ветровым потоком архитектурной формы здания в двух направлениях</p>	<p data-bbox="767 1019 1436 1137">Анализ обтекания архитектурной формы здания показал, что при скорости ветрового потока 10 м/с скорость ветра в зоне интеграции МВЭУ по типу (табл. 1, № 7) увеличивается до 24 м/с</p>

4	<p data-bbox="220 1727 743 1794">Обтекание ветровым потоком архитектурной формы здания в двух направлениях</p>	<p data-bbox="767 1749 1436 1861">Анализ обтекания архитектурной формы здания показал, что при скорости ветрового потока 20 м/с скорость ветра в зоне интеграции МВЭУ по типу (табл. 1, № 2) увеличивается до 36 м/с</p>

Продолжение табл. 2

№ п/п	Графический анализ обтекания архитектурной формы здания	Анализ обтекания ветровыми потоками при скорости ветра 5–10 м/с здания с помощью программы Autodesk Simulation CFD

5	<p data-bbox="220 1220 743 1276">Обтекание ветровым потоком архитектурной формы здания в двух направлениях</p>	<p data-bbox="767 1388 1433 1512">Анализ обтекания архитектурной формы здания показал, что при скорости ветрового потока 20 м/с скорость ветра в зоне интеграции МВЭУ по типу (табл. 1, № 7) увеличивается до 45 м/с</p>

Предлагаемая методика позволяет утверждать, что архитектурная форма малоэтажного жилого здания может способствовать значительному увеличению скорости ветрового потока в зоне интеграции МВЭУ на 80 % и более (см. табл. 2). Названные методы исследования позволяют при архитектурном проектировании малоэтажных жилых зданий прогнозировать на начальных стадиях наиболее эффективное раз-

мещение МВЭУ в «теле» здания и превращение их в архитектурные элементы.

7. Естественное влияние на формирование архитектурного облика малоэтажного жилого здания с внедренными МВЭУ оказывает природный ландшафт: прибрежные склоны, открытые водные пространства прибрежных территорий, а также климатические факторы. Особый интерес представляют береговые склоны, где ветровые потоки испытывают наибольшее ускорение.

№ п/п	Графический анализ обтекания архитектурной формы здания	Анализ обтекания ветровыми потоками при скорости ветра 5–10 м/с здания с помощью программы Autodesk Simulation CFD

6	<p data-bbox="215 1299 742 1366">Обтекание ветровым потоком архитектурной формы здания в разных направлениях</p>	<p data-bbox="766 1388 1436 1500">Анализ обтекания архитектурной формы здания показал, что при скорости ветрового потока 10 м/с скорость ветра в зоне интеграции МВЭУ по типу (табл. 1, № 2) увеличивается до 18 м/с</p>

Таким образом, в исследовании сделана попытка дать «инструмент» для проектирования при интеграции МВЭУ в архитектуру малоэтажной жилой застройки.

Библиографический список

1. Безруких П. П., Безруких П. П. (мл.), Грибов С. В. Ветроэнергетика / под общей ред. П. П. Безруких. М.: Интехэнерго – Издат: Теплоэнергетик, 2014. 304 с.

2. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Малоэтажные многоквартирные жилые здания как новая среда обитания // Энергосбережение. 2020. № 5. С. 4–8.

3. Бударин Е. Л. Архитектура, пространство, экология. Анализ мировой экологической ситуации и проблема строительства экологического малоэтажного жилища // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 3 (19). С. 68–86.

4. Гашио Е. Г. Зеленая энергия для индивидуального строительства // Энергосбережение. 2020. № 1. С. 48–56.

5. Корниенко С. В. Малоэтажное жилищное строительство: в поисках совершенства // Энергосбережение. 2019. № 1. С. 16–30.

6. Курбатов Ю. И. Архитектурные формы и природный ландшафт: композиционные связи. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. 136 с.

7. Курбатов Ю. И. Очерки по теории формообразования. СПб.: СПбГАСУ, 2015. 132 с.

8. Мамедов О. М. Тенденции современного развития возобновляемой энергетики // Энергосбережение. 2018. № 6. С. 46–51.

9. Ремизов А. Н., Егорьев П. О. Экоустойчивый взгляд на интеграцию инновационных технологий в строительстве // Жилищное строительство. 2019. № 5. С. 17–24.

10. Развитие ВИЭ в России: технологии и экономика / под ред. А. Б. Чубайса, В. А. Зубакина и А. Е. Копылова. М.: Изд. группа «Точка», 2020. 464 с.

References

1. Bezrukikh P. P., Bezrukikh P. P. (Jr.), Gribov S. V. *Vetroenergetika* [Windpower]. Ed. by Bezrukikh P. P. Moscow, Intekhenargo – Izdat: Teploenergetik Publ., 2014, 304 p.

2. Brodach M. M., Shilkin N. V. *Maloetazhnye mnogokvartirnye zhilye zdaniya kak novaya sreda obitaniya* [Low-rise apartment buildings as a new living environment]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2020, no. 5, pp. 4–8.

3. Budarin E. L. *Arhitektura, prostranstvo, ekologiya. Analiz mirovoj ekologicheskoy situatsii i problema stroitel'stva ekologicheskogo maloetazhnogo zhilishcha* [Architecture, space, ecology. Analysis of the global

ecological situation and the problem of construction of ecological low-rise housing]. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii – Biosphere compatibility: man, region, technology*, 2017, no. 3 (19), pp. 68–86.

4. Gasho E. G. *Zelenaya energiya dlya individual'nogo stroitel'stva* [Green energy for individual construction]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2020, no. 1, pp. 48–56.

5. Kornienko S. V. *Maloetazhnoe zhilishchnoe stroitel'stvo: v poiskah sovershenstv* [Low-rise housing construction: in search of perfection]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2019, no. 1, pp. 16–30.

6. Kurbatov Yu. I. *Arhitekturnye formy i prirodnyy landschaft: kompozitsionnye svyazi* [Architectural forms and natural landscape: compositional connections]. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1988, 136 p.

7. Kurbatov Yu. I. *Ocherki po teorii formoobrazovaniya: kurs lektsiy* [Essays on the theory of architectural morphogenesis. Course of lectures]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2015, 132 p.

8. Mamedov O. M. *Tendentsii sovremennogo razvitiya возобновляемой энергетики* [Trends in modern development of renewable energy]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2018, no. 6, pp. 46–51.

9. Remizov A. N., Egoriev P. O. *Ekoustoichivyy vzglyad na integratsiyu innovatsionnykh tekhnologiy v stroitel'stve* [Eco-sustainable view on the integration of innovative technologies in construction]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction*, 2019, no. 5, pp. 17–24.

10. *Razvitie VIE v Rossii: tekhnologii i ekonomika* [The development of renewable energy in Russia: technologies and economics]. Ed. by Chubais A. B., Zubakin V. A., Kopylov A. E. Moscow, Tochka Publ., 2020, 464 p.