
Конструктивно-технологические особенности строительства ветроэлектрических установок и воздушных линий, с учетом новых технических решений

^{1,2} Ю.М. Стрелков, ^{1,2,3} Л.С. Сабитов, ^{1,3} Л.Р. Маилян, ^{2,3} Л.Ш. Ахтямова,
^{1,4} И.Н. Гарькин

¹ Казанский федеральный университет;

² Казанский государственный энергетический университет;

³ Донской государственный технический университет;

⁴ Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

Аннотация. Приводится технология организации строительства децентрализованных энергетических систем на базе ветроэнергетических установок. Предложены новые конструктивные решения структурных элементов воздушных линий электропередач – башня, сборно-разборный фундамент балластного типа, защитный элемент, с учетом особенностей технологии строительно-монтажных работ. Приводятся данные по снижению затрат на строительное производство за счет оптимизации используемых машин и механизмов.

Ключевые слова: конструкции ветроэнергетических установок, воздушные линии электропередач, башня, сборно-разборный фундамент балластного типа, защитный элемент, поточный метод, децентрализованная система.

Основу потенциала электроэнергетических систем России, представляющих собой совокупность взаимосвязанных электрических станций, электрических сетей и потребителей электроэнергии, объединённых непрерывными процессами производства, передачи и потребления электроэнергии, в настоящее время составляют электростанции общей мощностью более 227,5 ГВт и воздушные линии электропередачи (ВЛ), напряжением 0,6÷1150 кВ, общей протяженностью 2,5 млн. км.

В порядке реализации стратегии развития, при участии ФГБОУ ВО «КГЭУ», в 2018 году три района Республики Татарстан были признаны эффективными для размещения ветроэнергетических установок (ВЭУ): Рыбно-Слободской, Камско-Устьинский и Спасский, их суммарный ветроэнергетический потенциал составляет 1 ГВт. Основным критерием для выбора площадок ВЭУ в этих районах является то, что значение расчетной

скорости ветра на высоте 100 м над уровнем моря земли на площадке, при которой обеспечивается возможность коммерческого использования энергии ветра для генерации электроэнергии, должно быть не менее 7 м/с.

Однако широкое внедрение децентрализованных энергетических систем электроснабжения сельских поселков и производственных поселений (рис.1) сельскохозяйственного назначения на базе ветроэнергетических установок, соединённых ВЛ с потребителями, сдерживается высокой сложностью и стоимостью возведения их основного структурного элемента ВЭУ, включающего башню для ее установки и фундамент под башню, который, как правило, размещается в труднодоступных районах, имеющих низкий уровень развития транспортной связи.

Исходя из этого, решение задачи, связанной с созданием оптимальных форм строительных конструкций для ВЭУ, следующее: необходимо наличие трехгранной решетчатой башни (рис.2), имеющей низкий расход стали при обеспечении высокой несущей способности, и сборно-разборного фундамента балластного типа с низкой транспортной массой и упрощённым монтажом на месте установки.

Разработка целостной методики расчета их совместной работы с помощью математического моделирования в программном комплексе «ANSYS», позволяющая снизить общую материалоемкость строительных конструкций для ВЭУ, является актуальной для повышения эффективности децентрализованных энергетических систем на базе ветрогенерации.

Конструктивная схема сооружения под ВЭУ представляет собой сборный железобетонный фундамент, состоящий из полых призматических блоков, стянутых между собой болтами. Размеры сооружения в плане составляют 15,274 x 13,758 м., высота фундаментной плиты – 1 м., толщины стенок сборных блоков – 150 мм, толщины стенок сборных блоков – 150 мм [1-3].

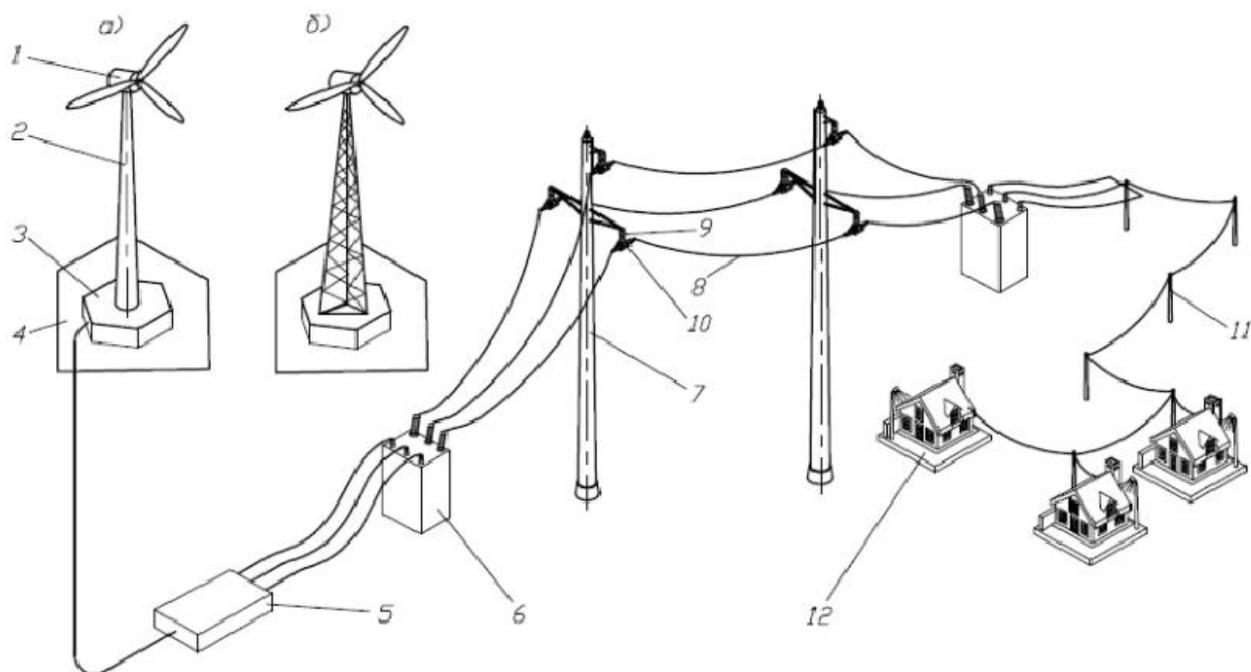


Рис 1. Децентрализованная энергетическая система на базе ВЭУ: 1 – Ветроэлектрическая установка (ВЭУ), 2 – башня (а – коническая оболочка замкнутого сечения, б – трехгранная решетчатая конструкция), 3 – сборно-разборный фундамент балластного типа, 4 – грунт основания, 5 – силовой преобразователь, 6 – трансформатор, 7 – опора воздушной линии (ВЛ), 8 – провода, 9 – изолятор, 10 – защитный элемент ВЛ, 11 – распределительная сеть, 12 – потребитель (сельский поселок или производственное поселение сельскохозяйственного назначения).

Схема разработана авторами

В центральных блоках присутствуют отверстия для крепления мачты к фундаменту, во всех блоках имеются четыре отверстия для стягивания отдельных блоков между собой болтами. В качестве материала конструкций следует использовать бетон класса В25, арматуру А500, А240.

Нагрузки на фундамент передаются от мачты в центральную часть фундамента, жёстко закреплённую с шестью сборными железобетонными блоками. На мачту действуют нагрузки от ветра, которые усилиями

передаются на основание мачты. Вертикальная нагрузка составляет 974 т., горизонтальное усилие, возникающее от действия ветра на всю длину мачты, равняется 48 т. На поверхность фундамента действует нагрузка от вышележащего грунта толщиной 1 м., на боковую поверхность фундамента действует давление грунта [4,5].

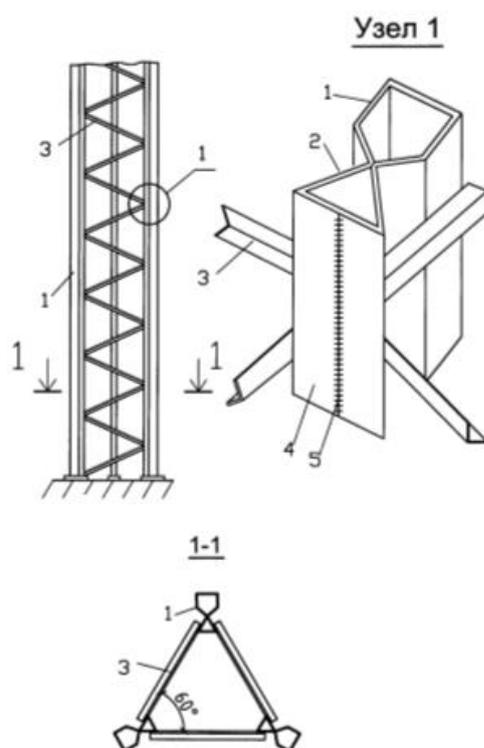


Рис. 2. Трехгранная башня (разработано авторами)

Расчет фундамента был произведен с использованием программного комплекса «Ли́ра», в котором реализован метод конечных элементов – как наиболее эффективный численный метод решения задач механики. Результатом моделирования стала пространственная несущая система фундамента, представленная на рис. 3. Фундаментная плита моделировалась в виде пластинчатых 3-угольных элементов. Основание здания задано в системе «ЛИРА-ГРУНТ»; для того, чтобы ограничить горизонтальные

перемещения сооружения, использованы специальные одноузловые конечные элементы, моделирующие трение грунта [6,7].

По результатам расчёта максимальное значение вероятной осадки плитного фундамента, полученное в программном комплексе при основном сочетании расчетных нагрузок, составило:

$$S_{max} = 83,3 \text{ мм} < [S] = 200 \text{ мм}.$$

Максимальное значение вероятных деформаций, полученных в программном комплексе, также не превышает значения предельных деформаций основания.

Основной принцип организации работ базируется на применении проектных и технических решений, позволяющих минимизировать количество используемых машин и механизмов при возведении энергоцентра, ввиду его отдаленности от территорий с развитой стройиндустрией [7,8]. Таким образом, для проведения свайных работ, устройства сборно-разборного фундамента (рис.4), монтажа ветроэнергетической установки используется кран ДЭК-631А со вспомогательным автомобильным краном 25 тонн, для операций по сборке крана и замене навесного оборудования. Безусловно, сооружения энергоцентра потребуют наличия экскаватора, фронтального погрузчика, бортовых машин, самосвалов (для подачи материалов и оборудования) и ручного инструмента. При этом все поставляемые элементы и конструкции являются габаритными и не требуют специальных разрешений на провоз по дорогам общего пользования (небольшой вес является ещё одним преимуществом). Максимальный вес конструкций составляет 18 тонн. Таким образом, обеспечивается снятие ограничений по транспортной доступности мест организации строительства как ВЭУ, так и ветропарков в целом [9,10].

Применение сборно-разборного фундамента в совокупности с забивными сваями, как изделий заводского изготовления, позволяет

сооружать объекты в местах с неразвитой стройиндустрией, с применением минимального набора строительной техники, и, что крайне важно, без разворачивания бетонно-растворного узла на площадке строительства.

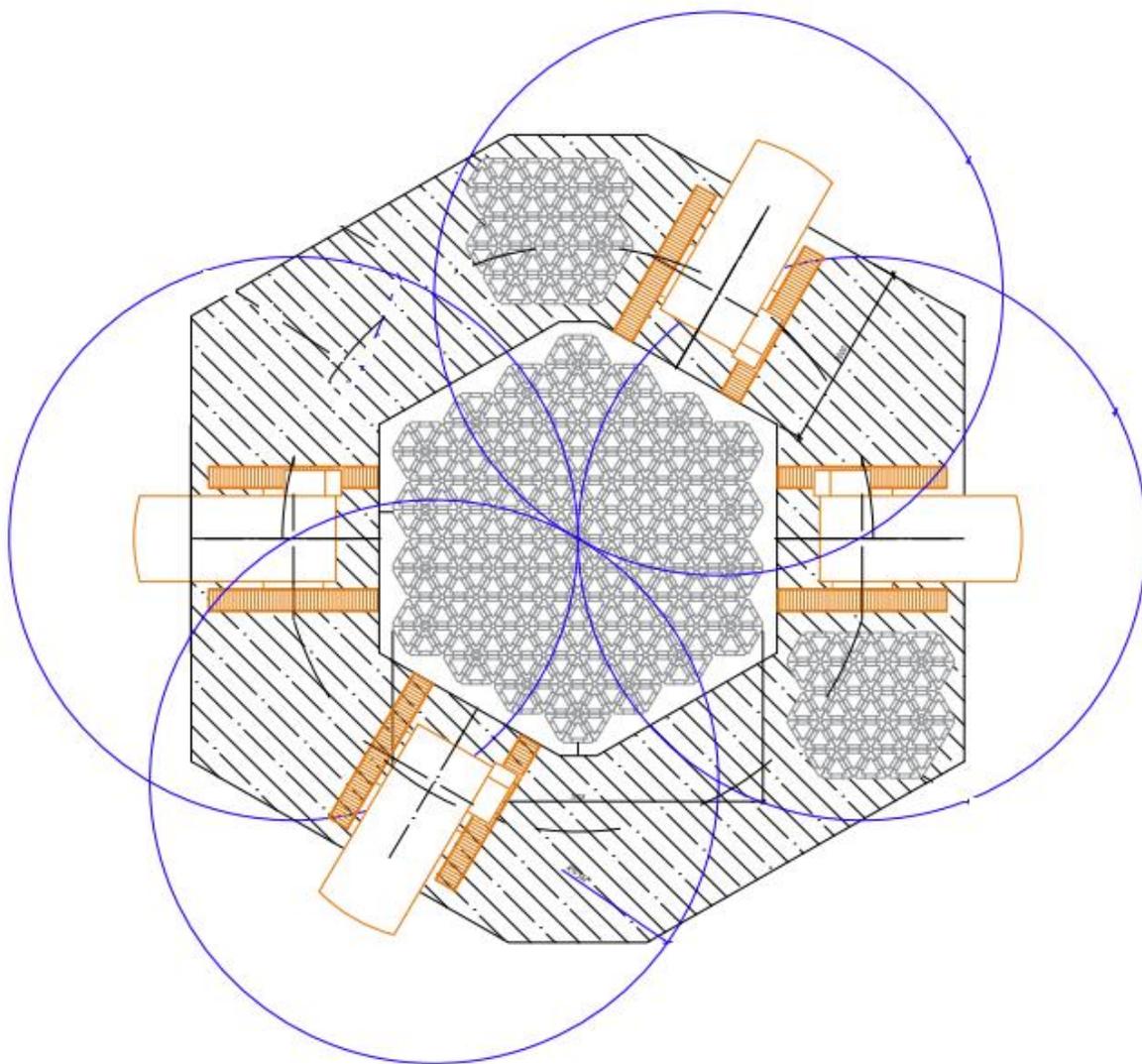


Рис. 4. Технология монтажа фундамента ВЭУ (разработано авторами)

Это, безусловно, даёт ряд преимуществ при сооружении ВЭУ единичной мощностью до 300кВт в неосвоенных и труднодоступных районах, обладающих высоким ветропотенциалом.

Применение новых зажимов проводов значительно снижает риск повреждения высоковольтных линий электропередачи, что актуально при

сооружении схем выдачи мощности с ветропарков изолированных энергосистем и энергоцентров [11,12].

Выводы

Основной целью данной работы является применение при сооружении децентрализованных систем на базе ветроэнергетических установок единичной мощностью 300 кВт из сборно-разборных фундаментов, решетчатых опор и зажимов проводов, стандартизированных в серию для уменьшения удельных капиталовложений в кВт/час установленной мощности, с учетом снижения затрат на строительство, за счет минимизации используемых механизмов, а также снижения стоимости владения объектом за счет оптимизации налогооблагаемой базы при учете сборно-разборного фундамента, как объекта движимого имущества.

Литература:

1. Токарева Л.А., Стрелков Ю.М., Сабитов Л.С., Хусаинов Р.Д. Конструктивные особенности проектирования фундаментов балластного типа для башенных сооружений // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2022. Т. 18. № 4 (30). С. 90-98.
2. Токарева Л.А. Анализ конструктивных решений башенных сооружений в энергетике // В сборнике: XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика. Материалы конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2022. С. 240-242.
3. Ельцов Р.И. Разработка технологического процесса изготовления сварных конструкций // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 5. С. 35 – 44.
4. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование стержневых систем на основе энергетического критерия при силовых и температурных воздействиях с учетом безопасной устойчивости // Вестник



Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 60-63

5. Шеина С. Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С. Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037

6. Кузин Н.Я., Багдоев С.Г. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий // Региональная архитектура и строительство. 2012. №2 С.79-82

7. Шейн А.И., Зернов В.В., Зайцев М.Б. Усиление несущих элементов ендов стропильных крыш // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 1 (42). С. 135-139.

8. Cherkasov A., Koroleva L., Bratanovskii S., Smigel M. Sacred pagan temples in the caucasus region: characteristic features // Muzeológia a Kultúrne Dedičstvo. 2018. Т. 6. № 2. С. 59-69.

9. Дали Ф. А. Методологические аспекты обследования объектов защиты на соответствие требованиям пожарной безопасности в проблемно-ориентированных системах управления // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7114

10. Garkin I.N., Garkina I.A. System approach to technical expertise construction of building and facilities // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. Vol.8. №5. pp.213-217.

11. Чепурненко В.С., Хашхожев К.Н., Языев С.Б., Аваков А.А. Совершенствование расчёта гибких трубобетонных колонн с учётом обжатия в плоскостях сечений // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 3. С. 41- 53.

12. Монахов В.А., Зайцев М.Б. Построение кинематической матрицы плоских стержневых систем // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 3 (40). С. 130-134.

References

1. Tokareva L.A., Strelkov YU.M., Sabitov L.S., Husainov R.D. Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki. 2022. T. 18. № 4 (30). pp. 90-98.

2. Tokareva L.A. V sbornike: XXV Vserossijskij aspirantsko-magisterskij nauchnyj seminar, posvyashchennyj Dnyu energetika. Materialy konferencii. V 3-h tomah. Pod obshchej redakciej E.YU. Abdullazyanova. Kazan', 2022. pp. 240-242.

3. El'cov R.I. Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2021. T. 4. № 5. pp. 35 – 44.

4. Klyuev S.V., Klyuev A.V. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. SHuhova. 2009. № 1. pp. 60-63.

5. Sheina S. G., Vinogradova E. V., Denisenko Yu. C. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037

6. Kuzin N.YA., Bagdov S.G. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo.2012. №2, pp.79-82.

7. SHein A.I., Zernov V.V., Zajcev M.B. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2020. № 1 (42). pp. 135-139.

8. Cherkasov A., Koroleva L., Bratanovskii S., Smigel M. Muzeológia a Kultúrne Dedičstvo. 2018. T. 6. № 2. pp. 59-69.

9. Dali F. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7114

10. Garkin I.N., Garkina I.A. Contemporary Engineering Sciences. 2015. Vol.8. №5. pp.213-217.

11. СHeпurnenko V.S., Hashkhozhev K.N., YAzyev S.B., Avakov A.A. Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2021. T. 4. № 3. pp. 41 – 53.



12. Monahov V.A., Zajcev M.B. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2019. № 3 (40). P. 130-134