

УДК 624.971

ПРИМЕНЕНИЕ СБОРНО-РАЗБОРНОГО ФУНДАМЕНТА КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ВОЗВЕДЕНИЯ БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Л.А. Токарева¹, Л.С. Сабитов^{1,2}, А.Д. Зиганшин¹, Э.Ю. Абдуллазянов¹

¹ Казанский государственный энергетический университет, г. Казань (Российская Федерация)

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань (Российская Федерация)

Аннотация. Башенные конструкции имеют широкое применение в качестве конструкций энергетического назначения в связи с перспективами мировой экономики и устойчивым развитием энергетики. Из-за постоянного развития промышленности, потребление энергии растет, что приводит к увеличению затрат и росту стоимости продукции на предприятиях. Одной из стратегий развития и использования башенных конструкций является повышение их надежности, прочности, эксплуатационной долговечности, а также ресурсоэффективности и снижение стоимости. Это позволит обеспечить оптимальное соотношение между качеством и стоимостью конструкций. В статье рассматривается процесс оптимизации возведения башенных сооружений путем применения сборно-разборного фундамента для данных конструкций. Изделие представляет собой отдельные железобетонные блоки, которые устанавливаются на поверхность основания и связываются горизонтальными связями, и анкерные болты на отдельных блоках для крепления башни. Результат предлагаемого решения - сборно-разборный фундамент, как изделие заводского изготовления - позволяет сооружать объекты в местах с неразвитой строительной индустрией, уменьшить количество рабочего и инженерно-технического персонала, а также уменьшить временные затраты.

Ключевые слова: сборно-разборный фундамент, конструкция, технология, башенное сооружение, оптимизация.

Ссылка для цитирования: Токарева Л.А., Сабитов Л.С., Зиганшин А.Д., Абдуллазянов Э.Ю. Применение сборно-разборного фундамента как способ оптимизации возведения башенных сооружений // Инженерные исследования. 2023. №5 (15). С. 35-40. EDN: ZBWXSE

APPLICATION OF PREFABRICATED FOUNDATION AS A WAY TO OPTIMIZE THE CONSTRUCTION OF TOWER STRUCTURES

L.A. Tokareva¹, L.S. Sabitov^{1,2}, A.D. Ziganshin¹, E.Yu. Abdullazyanov¹

¹ Kazan State Energy University, Kazan (Russian Federation)

² Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan (Russian Federation)

Abstract. Tower structures are widely used as energy structures in connection with the prospects of the global economy and sustainable energy development. Due to the constant development of industry, energy consumption is increasing, which leads to an increase in costs and an increase in the cost of products at enterprises. One of the strategies for the development and use of tower structures is to increase their reliability, strength, operational durability, as well as resource efficiency and cost reduction. This will ensure an optimal balance between the quality and cost of structures. The article discusses the process of optimizing the construction of tower structures by using a collapsible foundation for these structures. The product consists of separate reinforced concrete blocks that are installed on the surface of the base and connected by horizontal ties, and anchor bolts on individual blocks for fixing the tower. The result of the proposed solution - a collapsible foundation, as a factory-made product - allows you to build facilities in places with an undeveloped construction industry, reduce the number of workers and engineering and technical personnel, as well as reduce time costs.

Keywords: prefabricated foundation, design, technology, tower structure, optimization.

For citation: Tokareva L.A., Sabitov L.S., Ziganshin A.D., Abdullazyanov E.Yu. Application of prefabricated foundation as a way to optimize the construction of tower structures // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.5 (15). Pp. 35-40. EDN: ZBWXSE

ВВЕДЕНИЕ

Сооружениями башенного типа называют сооружения, высота которых значительно преобладает над стороной или диаметром основания самой конструкции [1]. Башни имеют широкое применение в строительной и энергетической сферах, а именно являются основным конструктивным элементом при строительстве ветроэнергетических установок (ВЭУ), используются в качестве опор воздушных линий электропередачи (ВЛ), а также при возведении телевизионных и телекоммуникационных башен для размещения антенн и оборудования сотовой связи. Самой распространенной и часто используемой конструкцией для башен ветряных турбин является башня со стальной цилиндрической оболочкой из-за ее удобства в монтаже и ограниченных трудозатрат на месте. Башни такого типа выполняются в виде круговой цилиндрической оболочки из металла, которая подкрепляется ребрами жесткости.

Для оптимизации процесса возведения сооружений необходима разработка и применение новых конструктивных решений. Одним из направлений является разработка нового типа сборно-разборного фундамента под башенные конструкции энергетических установок, обладающим необходимой несущей способностью, а также такими немаловажными параметрами, как простота монтажа и эксплуатации, снижение затрат на производство и строительство сооружения. Разрабатываемое изделие позволит достичь такую цель, как уменьшение транспортной нагрузки и упрощение возведения конструкции.

МОДУЛЬНЫЙ ФУНДАМЕНТ ПОД БАШНЮ ВЭУ

В качестве примера рассмотрим ветроэнергетическую установку (ВЭУ), состоящую из таких основных элементов, как рабочее колесо, гондола с редуктором и генератором, башня и фундамент. Последнее два элемента рассматриваются как конструктивные параметры, отвечающие за несущую способность и являющиеся основными опорными элементами. Башня и фундамент должны выдерживать все воздействия, включая нагрузки, создаваемые ветряной турбиной и внешние факторы, к которым относятся сейсмические колебания, обледенение и действие волн (в случае установки сооружения на море).

ВЭУ, ее фундамент и грунтовое основание образуют единую систему «ВЭУ-фундамент-основание», элементы которой взаимодействуют друг с другой при любых статических или динамических воздействиях на них. Выбор фундамента при строительстве зависит от грунтов, типа башни, ее размеров и мощности установки. На практике свайные фундаменты применяют для установок мощностью 1500 кВт, а монолитный при мощности 500 кВт в связи с низкой стоимостью [2, 3].

Фундаменты ветряных турбин, как правило, имеют восьмиугольную форму, диаметр основания составляет 15...20 метров при средней глубине от 1,2 до 1,8 метров. Также используется подставка высотой 2,5...3 метра и диаметром 5-6 метров¹.

В качестве фундамента предлагается использование сборно-разборного фундамента, который состоит из отдельных железобетонных блоков, устанавливаемых на поверхность основания и связываемыми горизонтальными связями, и анкерные болты на отдельных блоках для крепления башни. Отдельные железобетонные блоки выполнены по габаритным размерам в виде полых треугольных или прямоугольных призм, включающие днище и стенки. В стенках вблизи их вершин по верху и низу выполнены отверстия для стяжных болтов [4, 10].

В центральных блоках присутствуют отверстия для крепления мачты к фундаменту, во всех блоках имеется 4 отверстия для стягивания отдельных блоков между собой болтами. В качестве материала конструкций использовать бетон класса В25, арматура А500, А240 [5].

¹STAAD.pro 2007 Design of Wind Turbine [Электронный ресурс]. - URL:https://www.researchgate.net/publication/308521313_Design_of_Foundations_for_Wind_Turbine_with_Analysis_by_Finite_Element_Method (дата обращения: 20.11.2023)

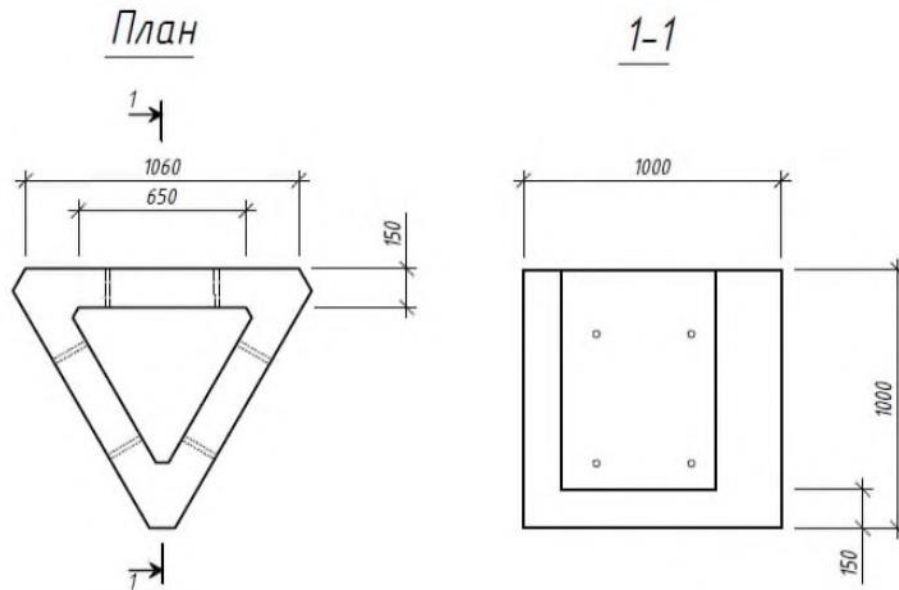


Рис. 1. План, разрез и армирование отдельного модуля [4]
Fig. 1. Plan, section and reinforcement of a separate module

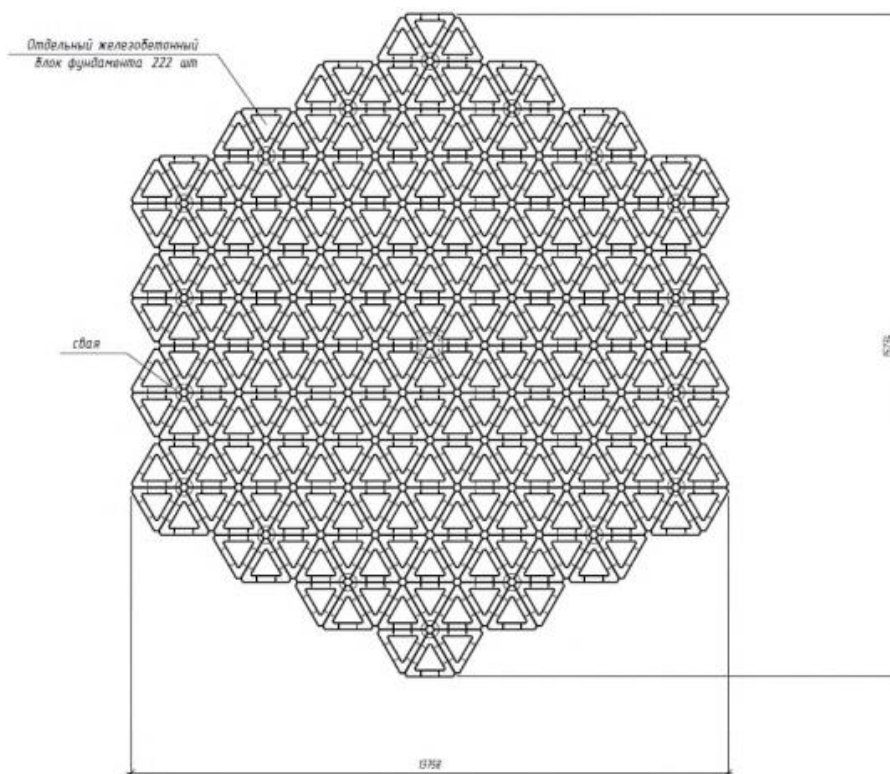


Рис. 2. План фундамента из модулей [4]
Fig. 2. Foundation plan from modules

Мачта передает нагрузки на центральную часть жестко закрепленного фундамента, который состоит из шести сборных железобетонных блоков. Эти нагрузки возникают из-за воздействия ветра на мачту и передаются на ее основание. Вертикальная нагрузка составляет 974 тонны, а горизонтальное усилие, возникшее от ветра на всю длину мачты, равно 48 тоннам. Кроме того, на поверхность фундамента действует нагрузка от грунта, находящегося выше на глубине 1 метра, а на боковую поверхность фундамента действует давление грунта.

Башня ВЭУ жестко крепится на монолитный свайный фундамент с помощью анкерной корзины, установленной в тело ростверка и надежно в нем закрепленной. Конструктивная схема сооружения – свободный сверху жесткий стержень, заземленный в фундаменте, с неуравновешенной массой ветроустановки в верхнем сечении. Пространственная неизменяемость и поперечная жесткость ВЭУ обеспечена собственными техническими параметрами и надежностью закрепления фундамента в грунте.

МОНТАЖ СБОРНО-РАЗБОРНОГО ФУНДАМЕНТА

Для проведения свайных работ, устройству сборно-разборного фундамента, монтажу ветроэнергетической установки используется кран ДЭК-631 А со вспомогательным автомобильным краном 25 тонн, для операций по сборке крана и замене навесного оборудования. При этом все поставляемые элементы и конструкции являются габаритными и не требуют специальных разрешений на провоз по дорогам общего пользования, а также имеют небольшой вес. Максимальный вес 18 тонн. Таким образом, обеспечивается снятие ограничений по транспортной доступности мест организации строительства ВЭУ и ветропарков в целом.

Данный тип фундамента собирается из отдельных железобетонных элементов в соответствии с монтажными чертежами фундаментов ветряных турбин. Перед сборкой фундаментов излишки грунта после выемки (защитный слой) убираются вручную.

Сборка фундаментов из отдельных железобетонных элементов производится по установочным чертежам фундамента под ВЭУ. Перед сборкой фундамента недобор грунта (защитный слой) после экскавации зачищается вручную. Площадка под кран предварительно подготавливается с применением плит.

Монтаж ведется поэлементно с учетом захвата свай с предварительно срубленными оголовками в соответствующие клюза фундаментных элементов для последующей интеграции армокаркасов фундаментов и арматуры забивных свай. Отдельные элементы сборного фундамента стягиваются между собой анкерными болтами соответствующих размеров. Сборка фундамента ведется с постоянным геодезическим сопровождением. Таким образом, фундамент собирается на свайном основании из нескольких элементов в единый комплекс. После связки/сварки армокаркасов свай и элементов фундамента производится заливка анкерных колодцев бетонной смесью на мелком заполнителе либо безусадочными смесями, что определяется проектной документацией для каждого конкретного случая использования фундамента.

В зависимости от назначения фундамента анкерные болты для крепления, монтируемого на фундамент оборудования, интегрируются в тело элементов фундамента в заводских условиях. В нашем случае рассматривается фундамент под типовую ветроэнергетическую установку мощностью 100 кВт для электроснабжения удаленных поселков и предприятий.

ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Получение конструкции сборно-разборного фундамента основывается на следующих принципах:

1. Фундаменты собираются на строительной площадке из отдельных стандартных модулей, изготовленных на заводе.
2. Материалоемкость изделия снижается за счет создания полостей в каждом модуле и заполнения их грунтом, что также обеспечивает устойчивость.
3. Сокращение трудозатрат на этапе производства на заводе за счет использования высокопроизводительных машин и механизмов, не требующих трудоемкого ручного труда.
4. Снижение трудозатрат на этапе монтажа без участия специальных грузоподъемных механизмов [6].

Данные принципы позволяют оптимизировать технологию возведения башенных сооружений, обеспечить реализацию проекта в заданные сроки, повысить эффективность проекта, снизить трудоемкость строительства, при этом повысив качество конструктивно-технологических решений.

Помимо этого, важным является снижение стоимостных показателей возведения башенного сооружения.

Применение сборно-разборных фундаментов обладает рядом преимуществ для районов с неразвитой строительной индустрией и инфраструктурой вообще, за счет изготовления элементов фундамента в заводских условиях, с получением гарантированного качества будущей конструкции. Развертывание полномасштабной инфраструктуры строительной отрасли в труднодоступных районах не только

экономически нецелесообразно, учитывая высокую стоимость временных зданий и сооружений, но и может оказаться технически трудновыполнимой задачей, особенно с учетом сложной логистики, требующей применения специальной техники.

Также применение принципа идентификации строительных конструкций, таких, как сборно-разборный фундамент в качестве объектов движимого имущества, позволит заказчикам сократить стоимость владения объектами на всем жизненном цикле и снизить налоговую нагрузку [8]. Стоит отметить, что после применения этого принципа нет необходимости менять законодательную базу. Это означает, что эффект можно достичь и ощутить «сейчас», не требуя значительных временных ресурсов для внесения таких изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 развертывания бетонно-растворного узла на площадке строительства. Это, безусловно, дает ряд преимуществ при сооружении ВЭУ единичной мощностью до 300 кВт в неосвоенных и труднодоступных районах обладающих высоким ветропотенциалом.

Сборно-разборный фундамент при возведении башенных сооружений, в частности башен для ВЭУ, позволит оптимизировать технологический процесс, не снижая прочность конструкции, что является важным аспектом при строительстве и достигает поставленную цель, как упрощение монтажа.

Применение данного типа фундамента позволит достичь следующие преимущества:

- экономия времени составит более 2,5 месяцев за счет заводского изготовления типовых модулей;
- уменьшение затрат на машины и механизмы за счет их оптимального использования и отсутствия специального оборудования для проведения монолитных работ;
- экономический эффект от идентификации фундамента, как объекта движимого имущества, оптимизация и снижением налогооблагаемой базы, что в свою очередь снижает стоимость эксплуатации сооружения в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлические конструкции: учебник для вузов / под ред. Ю.И.Кудишина. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 688 с.
2. Нестеров А.А., Беляев Н.Д., Карелов А.В., Ефимова В.В., Власов П.П. Основания ветроэнергетических установок на шельфе и их защита от размыва // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №7 (34). С. 41-50. EDN: UKTMRV
3. Umesh K N, Bharath P, Mohamed FarzathIyaz D esign and analysis of 2-MW wind turbine tower // International Journal of Mechanical and Production Engineering. 2016. Vol.4. Issue 10. Pp. 13-17.
4. Стрелков Ю.М., Сабитов Л.С., Ключев С.В., Ключев А.В., Радайкин О.В., Токарева Л.А. Технологические особенности конструирования сборно-разборного фундамента под башенные сооружения // Строительные материалы и изделия. 2022. Том 5. № 3. С. 17-26. EDN: URAAOW
5. Пат. 2633604 Рос. Федерация: МПК E02D 27/42. Сборно-разборный фундамент под опоры // Сабитов Л.С., Кузнецов И.Н. Хусаинов Д.М., Сабиров С.И., Ахунова З.Ф., Стрелков Ю.М. - № заявл. 2016134679 24.08.2016; опубл 13.10.2017; Бюл. №29
6. Ахтямова Л.Ш., Сабитов Л.С., Маилян А.Л., Маилян Л.Р., Радайкин О.В. Технологические и конструктивные особенности проектирования модульного железобетонного фундамента под высотное сооружение различного типа // Строительные материалы и изделия. 2019. Т.2. № 6. С. 1-5. EDN: URAAOW
7. Миньков С.Л. Техничко-экономическое обоснование выполнения проекта: методическое пособие // Томск: ТУСУР, 2014. 30 с.
8. Стрелков Ю.М., Сабитов Л.С., Маилян Л.Р., Гарькин И.Н. Оптимизация эксплуатационных расходов при использовании сборно-разборного фундамента для ветроэнергетических установок // Инженерный вестник Дона, 2023. №3. С.409-417. EDN: IQJRJS
9. Sivakumar N., Muthukumar S., Sivakumar V., Gowtham D., Muthuraj V. Experimental studies on High Strength Concrete by Using Recycled Coarse aggregate // Research Inventy: International Journal of Engineering and Science. 2014. Vol. 4. No.1. P. 27 – 36.
10. Маилян Л.Р., Языев С.Б., Сабитов Л.С., Коноплёв Ю.Г., Радайкин О.В. Напряженно деформированное состояние системы «комбинированная башня – железобетонный фундамент – грунт основания» высотных сооружений // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 6. С. 29 – 37.

ОБ АВТОРАХ

Лия Андреевна Токарева – студент аспирантуры. Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ). 420066, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51. E-mail: la_tokareva@mail.ru

Линар Салихзанович Сабитов – д.т.н., профессор кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений», Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ). 420066, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д.51. Профессор кафедры «Конструктивно-дизайнерское проектирование», Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ). 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18. E-mail: sabitov-kgasu@mail.ru

Алмаз Дамирович Зиганшин – соискатель. Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ). 420066, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51. E-mail: kgeu.ahr@gmail.com

Эдвард Юнусович Абдуллазянов – к.т.н., доцент, ректор КГЭУ. Лауреат премии правительства в области науки и техники РФ. Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ). 420066, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51. E-mail: kgeu@kgeu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Liya A. Tokareva – postgraduate student. Kazan State Energy University (KSPEU). 420066, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Krasnoselskaya st., 51. E-mail: la_tokareva@mail.ru

Linar S. Sabitov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Construction of Buildings and Structures. Kazan State Energy University (KSPEU). 420066, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Krasnoselskaya st., 51. Professor of the Department of Structural Design. Kazan (Volga Region) Federal University (KFU). 420008, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Kremlyovskaya st., 18. E-mail: sabitov-kgasu@mail.ru

Almaz D. Ziganshin – applicant. Kazan State Energy University (KSPEU). 420066, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Krasnoselskaya st., 51. E-mail: kgeu.ahr@gmail.com

Edward Yu. Abdullazyanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Laureate of the Government Prize in the field of science and technology of the Russian Federation, Rector of the KSPEU. Kazan State Energy University (KSPEU). 420066, Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Krasnoselskaya st., 51. E-mail: kgeu@kgeu.ru