

## ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

*Н. С. Самарская, О. Н. Парамонова, Ю. С. Борисова*

*Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

В условиях активного развития ветроэнергетики в России особое значение приобретают вопросы проектирования и строительства данных объектов. Проблема реализации проекта строительства ветроэнергетической установки (особенно автономной) в той или иной местности заключается в том, что каждый проект уникален и обладает множеством особенностей. В работе предложено рассмотреть проект на ветроэнергетическую установку с позиции ее жизненного цикла, осуществить моделирование основных этапов жизненного цикла с момента зарождения идеи до момента утилизации (ликвидации) ветроэнергетической установки. При этом каждый этап жизненного цикла имеет свои особенности. Результаты проведенных исследований позволяют разработать методику реализации проекта ветроэнергетической установки и определить особенности эффективного управления процессами на каждом из выделенных этапов.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, жизненный цикл ветроэнергетической установки, ветроэнергетика, этапы жизненного цикла.

## LIFE CYCLE OF A WIND POWER PLANT

*N. S. Samarskaya, O. N. Paramonova, Y. S. Borisova*

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation*

In the context of the active development of wind energy in Russia, the issues of design and construction of these facilities are of particular importance. The problem of implementing a project for the construction of a wind power plant (especially an autonomous one) in a particular area is that each project has many features. In this paper, it is proposed to consider the project for a wind power plant from the point of view of its life cycle, to simulate the main stages of the life cycle from the moment of conception of the idea to the moment of disposal (liquidation) of the wind power plant. At the same time, each stage of the life cycle has its own characteristics. The results of the conducted research allow us to develop a methodology for implementing a wind power plant project and determine the features of effective process management at each of the selected stages.

**Keywords:** wind power plant, life cycle of a wind power plant, wind energy, life cycle stages.

В настоящее время вопросы получения энергии из альтернативных источников являются крайне актуальными во всем мире [1–4]. Переход к альтернативным источникам энергии сопровождается значительным сокращением выбросов в окружающую среду, а также неисчерпаемым количеством сырья для производства энергии, в качестве чего может выступать солнечная энергия, ветровая энергия, энергия воды, биогаз и т.д. При этом в России наблюдается тенденция активного развития именно ветроэнергетики. Аналитические исследования, а также реализованные проекты показали, что каждый из них требует тщательной проработки и технико-экономического обоснования. Это обусловлено тем, что особенности строительства и обслуживания ветроэнергетических установок значительно варьируются в зависимости от многих факторов, среди которых предполагаемое место расположения объекта, его высота, строительные материалы и дополнительное оборудование. Поэтому целью исследования являлось рассмотрение ветроэнергетической установки с позиции ее жизненного цикла.

Как и любой объект строительства, ветроэнергетическую установку можно рассмотреть с позиции сложной системы. Следовательно, можно представить ее жизненный цикл с момента зарождения идеи до момента утилизации (ликвидации). В процессе моделирования жизненного цикла ветроэнергетической установки нами проведена аналогия с традиционным генерирующим энергию объектом, жизненный цикл которого заключается в ряде взаимосвязанных этапов. Несмотря на схожесть этапов жизненного цикла для большинства объектов строительства, в том числе традиционных генерирующих энергию объектов, именно для ветроэнергетических установок можно выделить целый ряд особенностей на каждом из этапов ее жизненного цикла (рис. 1). Проведенные исследования позволили выполнить сравнительный анализ этапов жизненного цикла для традиционного генерирующего энергию объекта и для ветроэнергетической установки, а также выявить особенности каждого из этапов.



Рис. 1. Жизненный цикл ветроэнергетической установки

Рассмотрим подробнее этапы жизненного цикла ветроэнергетической установки, выделяя основные процессы и особенности.

1. *Первый* этап является предпроектным. На данном этапе важным является анализ рынка, осуществление выбора объекта проектирования. Далее происходит разработка стратегического плана ведения проекта, определение источников финансирования, оформление исходно-разрешительной документации. В целом, данный этап жизненного цикла ветроэнергетической установки схож с первым этапом традиционного объекта, генерирующего энергию, по перечню процессов и их особенностей [5].

2. *Второй* этап жизненного цикла ветроэнергетической установки – проектирование. На данном этапе важным является анализ потребностей конкретной области (района, местности) в проектируемом объекте [6]. Далее происходит разработка технического задания, которое должно содержать описание функционирования будущего ветроэнергетического объекта, его режимов работы, внешний вид, желательные экономические показатели. К основным характеристикам ветроэнергетической установки относятся: длину мачты, диаметр лопастей, вес, мощность, номинальная скорость ветра, номинальная частота вращения ветроколеса.

Следующим подэтапом является эскизное проектирование, целью которого является моделирование отдельных функционирующих элементов (схемы, чертежи), анализ возможности создания будущей ветроэнергетической установки. В состав технического проектирования входят рабочие чертежи, схемы, описание принципа действия ветроэнергетического объекта строительства. На основе данной документации заказчик даёт заключение о возможности производства данной продукции. При положительном заключении, как правило, начинается разработка рабочего проекта.

3. *Третий* этап жизненного цикла ветроэнергетической установки – производство комплектующих ветроэнергетической установки. На данном этапе происходит материальное отображение этапа проектирования, т.е. все составные части устройства производят согласно требуемым условиям проектной документации, в результате чего получают требуемые сборки элементов и вспомогательные технические устройства, предназначенные для размещения на строительной площадке. Основными элементами ветроэнергетической установки являются:

- башня, на которую крепится ротор, генератор и гондола;
- гондола – головная часть ветроэнергетической установки, в которой расположены гидравлическая система, система торможения, двигатели, датчики поворота гондолы и др.;

- генератор (крепится к гондоле) и преобразует механическую энергию вращения в электрическую, а также регулирует обороты вращения вала;

- ветроколесо (крепится к генератору) и скрепляет между собой лопасти [7];

- элементы крепления башни к фундаменту, благодаря которым обеспечивается устойчивость конструкции.

4. *Четвертый* этап жизненного цикла ветроэнергетической установки – выбор площадки размещения будущего строительства. Выбор места размещения ветроэнергетической установки (одиночной или ветрофермы) основывается, как правило, на комплексном анализе определенных факторов. Наиболее важным из них является ветроэнергетический потенциал предполагаемого места строительства. Так, в районах со среднегодовыми скоростями ветра от 6 м/с использование ВЭУ будет выгодным. Если же показатели скорости ветра не достигают порога этого значения, то при проектировании имеет значение дать обоснование необходимости использования энергии ветра. Это возможно сделать, сопоставив данные расчета энергии с потребностью ВЭС в данном районе, также стоит учитывать удовлетворенность конкретных потребителей в полученных экономических значениях.

Кроме того, важную роль играет рельеф местности и удаленность от жилой застройки. Наиболее благоприятными местами расположения, как правило, считаются возвышенные равнинные участки, территории вдоль морских побережий, акватории рек и морей. Размещение ВЭУ необходимо произвести так, чтобы все возможные препятствия для свободного движения ветра на площадке были устранены или минимизированы. Анализируя район предполагаемого строительства необходимо учитывать расстояние до ближайшей жилой застройки, медицинских центров, образовательных учреждений, рекреационных зон, с целью соблюдения нормативных уровней звукового давления как ветроэнергетической установки, так и ее вспомогательного оборудования.

В результате комплексного анализа факторов, влияющих на размещение ветроэнергетической установки, выявляют наиболее приемлемый вариант и переходят к следующему этапу.

5. *Пятый* этап жизненного цикла ветроэнергетической установки – транспортировка ее комплектующих элементов из мест производства до места сборки (строительной площадки).

Работы по поставке оборудования на площадку размещения должны выполняться с учетом требований безопасности ГОСТ Р 54418.1–2012 и предусматривать и учитывать, прежде всего:

- выполнение необходимых ограждений и сопровождения;
- состояние и тип дорожного покрытия;

- ширину и просвет дорожного полотна;
- грузоподъемность дорожного покрытия и грунта;
- перемещение оборудования по территории строительства.

На этом этапе также должны быть предусмотрены места складирования элементов ветроэнергетической установки.

6. *Шестой* этап жизненного цикла ветроэнергетической установки – строительство (монтаж) ветроэнергетической установки. Данный этап начинается с заливки фундамента башни и установки опорных конструкций. Как показывает практика внедренных проектов, забетонированная площадка обеспечивает необходимую устойчивость конструкции. После установки опор, монтируют саму башню ветрогенератора. Чаще всего башню ветрогенератора изготавливают из стальных труб, а её высота варьируется от 60 до 100 м. Затем устанавливают гондолу и все лопасти поочередно.

Для гарантии соответствия системе стандартов безопасности труда сборку и монтаж ветроэнергетической установки проводят в соответствии с планами проведения работ.

7) *Седьмой* этап жизненного цикла ветроэнергетической установки – стадия эксплуатации, которая предполагает техническое обслуживание и ремонт объекта.

Этап эксплуатации представим в виде совокупности подэтапов: а) выработка энергии, б) ремонт комплектующих, в) реконструкция, содержание или обслуживание ветроэнергетического устройства.

Выработка энергии осуществляется силой ветра, которая приводит в движение лопасти (1), тем самым, вращая ротор (2) через специальный привод (рис. 2).

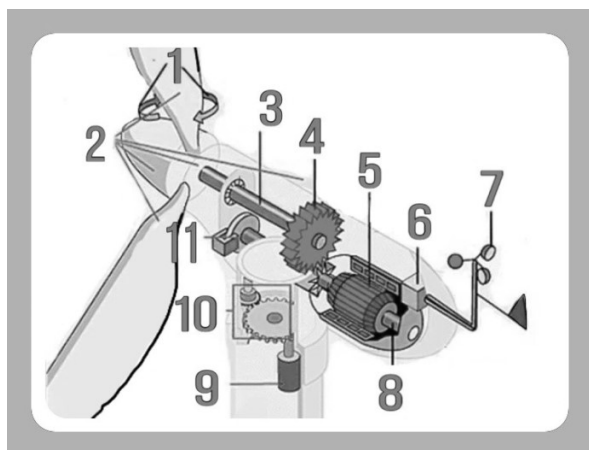


Рис. 2. Элементы ветроэнергетической установки:  
 1 – лопасть и её возможное положение вращения; 2 – ротор;  
 3 – ведущая ось (первичный вал); 4 – механизм вращения лопастей; 5 – электрогенератор; 6 – контролер вращения;  
 7 – анемоскоп и датчик ветра;  
 8 – ось генератора (вторичный вал);  
 9 – двигатель вращения; 10 – механизм вращения турбины;  
 11 – тормозное устройство.

Преобразование механической энергии в электрический ток обеспечивается наличием статорной обмотки.

Аэродинамические параметры винтов позволяют быстро вращать турбину генератора (5), которая присоединена к валу генератора (8).

Вращающая сила турбины преобразуется в электричество, в дальнейшем концентрируется в батарее. Чем больше значение потока воздуха, тем быстрее вращаются лопасти, генерируя большие запасы энергии.

Поскольку целью работы ветрогенератора является использование альтернативного источника энергии в максимальной возможности, в данном случае – ветра, конструкция одной из сторон лопастей имеет закругленную форму (рис. 3), вторая – относительно ровная.



Рис. 3. Форма лопастей

Проходящий вдоль закругленной стороны воздушный поток создает область вакуума, тем самым, засасывая лопасть, уводит её в сторону. В этом случае, возникающая энергия провоцирует вращение лопастей.

В то время, когда происходит движение лопастей, винты также вращают ось, соединённую с ротором генератора. В свою очередь, двенадцать магнитов, прикрепленных к ротору, вращаются в статоре, создавая электрический переменный ток. В этом заключается главный принцип ВЭУ.

Переменный ток легко генерируется и передается на большие расстояния, но не способен аккумулироваться. Для этого он должен быть преобразован в постоянный ток. Это обеспечивается за счет электронной цепи внутри турбины. Для получения большого количества электроэнергии производят промышленные ветроэнергетические установки, их размещают, как правило, несколькими десятками, создавая ветропарк.

С целью определения текущего состояния ВЭУ считается важным проводить диагностирование состояния и контроль наличия дефектов технического объекта. Выполняя вовремя замену отработанных деталей, можно повысить срок эксплуатации объекта.

*Восьмой этап* жизненного цикла ветроэнергетической установки – демонтаж и транспор-

тировка. После эксплуатации, как правило, в течение 20–25 лет ветроэнергетическая установка выходит из строя. В этом случае происходит замена установки или полный демонтаж, а также дальнейшая транспортировка основных материалов и комплектующих элементов к меступереработки.

*Девятый этап* – утилизация. Перерабатывать следует, прежде всего, лопасти и аккумуляторы. Основными направлениями переработки являются: механическая и термическая.

Механическая переработка довольно проста и включает в себя два этапа: механическое дробление, позволяющее извлекать смолу; отделение крупных волокон от более мелких волокон и гранул. Наиболее популярным способом переработки лопастей является термический (сжигание).

Стоимость жизненного цикла ветроэнергетической установки включает расходы, связанные с приобретением, и расходы, связанные с эксплуатацией и утилизацией.

Под временем окупаемости затрат энергии предполагается время, в течение которого должна функционировать ветроэнергетическая система для получения необходимого количества энергии на протяжении всего срока службы конструкции, то есть от производства до демонтажа. Этот срок окупаемости рассчитывается, как отношение суммарных первичных энергетических потребностей системы на протяжении всего ее жизненного цикла к суммарной годовой вырабатываемой ею мощности [8].

Учитывая перспективы развития ветроэнергетики во всем мире, важно иметь представление о проектах строительства объектов альтернативной энергии. Причем, это направление актуально не только для крупных (промышленных) станций, но и для использования в личных целях дома, в коттедже, на ферме [9–11]. Жизненный цикл позволяет рассмотреть каждую ступень существования ветроэнергетической установки и выявить условия для оптимального получения энергии при различных вариантах и целях использования. Так, на предпроектном этапе наиболее важным представляется анализ существующего рынка. Успешное выполнение этапов проектирования и производства комплектующих ветроэнергетической установки зависит, прежде всего, от тщательного анализа потребностей конкретного региона. Наиболее важным, на наш взгляд, является этап выбора площадки размещения будущего строительства. Место размещения будущего строительства определяется ветроэнергетическим потенциалом, определяемым специалистами для рассматриваемых участков. Только сопоставив данные расчета ветровой энергии с потребностью ВЭУ в данном районе, можно принимать решение о целесообразности строительства.

Таким образом, можно заключить, что жизненный цикл ветроэнергетической установки является важнейшим предметом исследования при принятии решений в области строительства объектов альтернативной энергетики.

#### Список литературы

1. Цепковская Т. А. Возможности использования альтернативных источников энергии //Инновационные методы проектирования строительных конструкций и сооружений. – 2019. – С. 282-284.
2. Преображенский Ю. П. Об экологически чистых источниках энергии //Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений. – 2019. – С. 199-202.
3. Брило Э. Ю., Матвейчук Е. Д., Рыбакова Э. В. Будущее альтернативных источников энергии //Промышленное развитие России: проблемы, перспективы. – 2017. – С. 80-85.
4. Грибач Ю. С., Егорычев О. О., Кургузова Е. В. Ветер-альтернативный источник энергии //Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. – 2019. – Т. 2. – №. 1.
5. Жаров Я.В. Учет организационных аспектов при планировании строительного производства в энергетике// Промышленное и гражданское строительство. 2013. №5. с 69-71.
6. Лескина А.Н. Жизненный цикл объектов строительства и управления недвижимостью// А.С. Гоштынар, С.А. Бижанов// Международные научный журнал «Символ науки». 2016. №1
7. Таймаров М. А., Лавирко Ю. В. Особенности применения ветроэлектрогенераторов с вертикальным ветроколесом //Научно-технический прогресс как фактор развития. – 2018. – С. 122.
8. Мясоедов Ю. В., Загоруйко А. С., Колтыга Р. П. Оценка окупаемости ветряного электрогенератора//Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. – 2019. – С. 358-360.
9. Шарфутдинов А. И., Гильфанов К. Х. Разработкаавтономного освещения придомовой территории с использованием альтернативных источников энергии//Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. – 2018. – С. 516-520.
10. Григораш О. В., Кривошей А. А., Смык В. В. Автономные гибридные электростанции //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №. 124.
11. Гурьев В. В. и др. Развитие возобновляемых источников электроэнергии в энергосистеме Республики Крым и г. Севастополя //Энергетические установки и технологии. – 2019. – Т. 5. – №. 2. – С. 90-93.

© Н. С. Самарская, О. Н. Парамонова, Ю. С. Борисова

#### Ссылка для цитирования:

Самарская Н. С., Парамонова О. Н., Борисова Ю. С. Жизненный цикл ветроэнергетической установки// Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 3 (37). С. 41–44.