

УДК 338.45:620.9

СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

*Докт. техн. наук, проф. КОВАЛЕВ Я. Н., докт. экон. наук, проф. ПАДАЛКО Л. П.,
инж. КАРЕНСКАЯ О. В.*

Белорусский национальный технический университет

Строительство объектов придорожного сервиса позволяет увеличить количественный и качественный уровень услуг, оказываемых пользователям автомобильных дорог, поступления в государственный бюджет и повышает транзитные возможности автомобильных дорог Республики Беларусь. Как известно, одними из крупных потребителей электроэнергии являются объекты придорожного сервиса. Беларусь не располагает значительными собственными топливно-энергетическими ресурсами. В связи с этим для нашего государства чрезвычайно важно включать в топливно-энергетический баланс вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии, одним из которых является ветер. Следует учитывать, что ветроэнергетическая отрасль за счет каждой ветроэнергети-

ческой установки (ВЭУ) начинает вырабатывать энергию немедленно после монтажа, осуществляя прямое преобразование кинетической энергии ветра в электрическую, и при этом не требует больших единовременных капитальных вложений. Величина мощности ВЭУ, устанавливаемой у сервисной станции автомобильной дороги, будет зависеть от электрической нагрузки потребителя электроэнергии, среднегодовой скорости ветра, высоты мачты. Экономическая эффективность сооружения ВЭУ определяется на основе сопоставления инвестиционных затрат в нее с достигаемым экономическим эффектом. Методика определения эффекта зависит от выбранного способа резервирования. Так как ветер непостоянен, а потребитель в течение 24 ч нуждается в энергии,

представляется целесообразным на сервисных станциях устанавливать так называемые гибридные электростанции, под которыми понимаются энергогенерирующие установки, включающие в себя источники генерации нескольких типов, например ВЭУ и газопоршневая энергоустановка или ВЭУ и дизельная электростанция (ДЭС). Обычно дизель-генератор применяется в сочетании с ВЭУ в случае, когда целью использования последней является экономия дизельного топлива, стоимость которого с учетом расходов на доставку может быть очень высокой. Соотношение мощности компонентов системы зависит от схемы генерирования нагрузки и ресурсов ветра.

Основное назначение ВЭУ, размещаемой на объектах придорожного сервиса, где установлены дизель-генераторные установки, – это экономия дизельного топлива, стоимость которого составляет 700–800 дол. за 1 т.

Работая параллельно с ДЭС, ВЭУ обеспечивает разгрузку ее и тем самым существенно снижает расход дизельного топлива. Чем больше величина установленной мощности ВЭУ, тем больше величина генерируемой ею мощности. Если генерируемая мощность оказывается выше электрической нагрузки потребителя, то ДЭС может даже останавливаться.

При безветренной погоде ВЭУ останавливается и вся электрическая нагрузка потребителя покрывается ДЭС.

Если объект дорожного сервиса подключен к электрической сети энергосистемы, а такая ситуация возможна, когда рядом проходит линия электропередачи, то и в этом случае может быть выгодным сооружение ВЭУ. В данном случае она обеспечивает замещение потребления электроэнергии из сети своей собственной более дешевой энергией. Действительно, тариф на электроэнергию от энергосистемы может составлять величину порядка 10–12 цент/(кВт·ч), а себестоимость производства энергии на ВЭУ – порядка 2–3 цент/(кВт·ч). Столь значительная экономия на 1 кВт·ч (8–9 цент/(кВт·ч)) обеспечивает быструю окупаемость капиталовложений для установки ВЭУ, а для владельца объекта дорожного сервиса – повышение рентабельности его работы.

Возможно также при работе ДЭС и ВЭУ использовать аккумуляторные батареи, кото-

рые могут заряжаться при отсутствии электрической нагрузки на объекты дорожного сервиса. Энергия, накопленная аккумуляторами, может использоваться в безветренную погоду. Однако в случае параллельного использования ДЭС и ВЭУ неизбежно усложнение системы управления за счет необходимости введения устройств синхронизации, обеспечивающей параллельную работу ДЭС и ВЭУ.

При выборе конкретных образцов ВЭУ необходимо дополнительно учитывать величину фактического ветроэнергетического ресурса в месте непосредственного размещения ВЭУ. К таким факторам относятся: абсолютная высота местности, высота возвышения площадок и их открытость, отдаленность предполагаемого места размещения последней от потребителя и особенно от линий электропередачи, в том числе от трансформаторных подстанций. Выборочные обследования зон опытной эксплуатации ветротехнического оборудования на территории Беларуси показали, что при оптимальном выборе строительной площадки для возведения ВЭУ окупаемость последней при среднегодовой скорости ветра 6–8 м/с составляет около пяти лет.

На сегодняшний день можно сказать, что в Республике Беларусь разработаны структура сервисных объектов в зависимости от их назначения, а также схема их размещения на сети автомобильных дорог. Предположительно, для обслуживания объектов придорожного сервиса необходима электростанция мощностью в среднем от 5 до 10 кВт либо несколько установок меньшей мощности. При достаточно большой мощности ВЭУ потребитель может быть обеспечен мощностью источника при любой погоде, не считая минимально допустимого уровня ветра, при котором ветроэнергоустановка не работает и тем более в безветренную погоду. Скорость ветра в течение года можно рассматривать в виде случайного процесса, а величину скорости в каждый момент времени – случайной величины. Для выбора оптимальной величины установленной мощности ВЭУ, предназначенной для электроснабжения того или иного потребителя энергии, можно использовать закон распределения случайной величины Вейбулла, решая задачу оптимизации

онного типа, которая выглядит следующим образом:

$$\min[K_y N(E + \alpha) + Y], \quad (1)$$

где K_y – удельная стоимость ВЭУ; N – установленная мощность ВЭУ; E – процентная ставка на капитал; α – коэффициент, учитывающий отчисления на эксплуатацию (амортизация, заработная плата, ремонты и др.) ВЭУ; Y – экономический ущерб из-за недоотпуска электроэнергии.

Чем меньше установленная мощность, тем больше величина ущерба, и наоборот, с увеличением установленной мощности величина ущерба снижается. Эта величина может быть определена по формуле

$$Y = y \mathcal{E}_{\text{нед}}, \quad (2)$$

где y – величина удельного ущерба; $\mathcal{E}_{\text{нед}}$ – размер недоотпуска электроэнергии потребителю.

Если же на объекте дорожного сервиса установлен какой-либо генерирующий источник, например ДЭС, то ущерб Y не будет. Величи-

на Y выражает в этом случае стоимость израсходованного углеводородного топлива. Чем больше величина N , тем меньше значение Y , но нулю оно никогда не будет равно из-за наличия безветренной погоды. Величина удельного ущерба y выражает в данном случае топливную составляющую себестоимости электроэнергии

$$y = \Pi_T B_y, \quad (3)$$

где Π_T – цена топлива; B_y – удельный расход топлива на выработку электроэнергии на ДЭС.

Если через P_m обозначить максимальную нагрузку потребителя, через h_m – число часов ее использования, то размер необходимого отпуска электроэнергии потребителю составит

$$\mathcal{E} = P_m h_m. \quad (4)$$

Определим величину недоотпуска

$$\mathcal{E}_{\text{нед}} = \beta \mathcal{E}, \quad (5)$$

где β – относительная величина, определяемая вероятностными характеристиками ветрового потока и характеризующая удельный вес недо-

отпуска в общем объеме необходимого электропотребления ($0 < \beta < 1$).

Обозначим через $P_{\text{ВЭУ}}(t)$ мощность, развиваемую ветроэнергоустановкой в момент времени t . Это зависимая случайная величина, определяемая независимой случайной величиной v – скоростью ветра. В каждый момент времени она зависит также и от установленной мощности ВЭУ и может быть представлена в виде функции

$$P_{\text{ВЭУ}} = \varphi(N, v) = N \left[\left(\frac{v}{v_H} \right)^3 \right], \quad (6)$$

где v – текущая скорость ветра; v_H – номинальная скорость ветра.

Отношение $\mathcal{E}_{\text{нед}}$ к величине планового электропотребления дает величину коэффициента β . Задаваясь различными значениями N для каждого значения при данном годовом графике электропотребления, определяем величину коэффициента β .

Предположим, что эта функция имеет следующий общий вид:

$$\beta(N) = b_1 e^{-b_2 N} + b.$$

Запишем оптимизируемую функцию

$$\min \{ K_y N(E + \alpha) + Y(b_1 e^{b_2 N} + b_2) \}. \quad (7)$$

Беря производную по N , приравнявая ее нулю, а затем логарифмируя, преобразуя и решая относительно N , получаем

$$N = \ln \frac{Y b_1 b_2}{K_y (E + \alpha)}. \quad (8)$$

Для определения правильного значения искомой величины установленной мощности ВЭУ необходимо объективное определение значений коэффициентов b_1 , b_2 и y .

Анализ ветровых условий Беларуси показывает, что приведенные среднегодовые фоновые скорости ветра составляют 2,8–4,4 м/с, что считается недостаточным для ветроэнергетики. Однако в ряде местностей и в отдельных точках отмечаются более высокие скорости ветра: наибольшие (5–6 м/с) – на вершинах некоторых возвышенностей; фоновые (4,4–4,8 м/с) – на возвышенностях. Такие площадки перспектив-

ны для внедрения ветроэнергетических установок. Представление о перспективности площадок для размещения ВЭУ можно получить по данным: <http://teenergy.by/>

Следует заметить, что регистрируемые так называемые фоновые скорости ветра характеризуют его значение на высоте 10 м над земной поверхностью. Между тем оси ветроколес ВЭУ соответствуют высоте от 50 до 100 м.

Известно, что скорость на высоте 100 м почти в два раза выше фоновой скорости ветра. Поэтому выбор мощности ВЭУ следует осуществлять исходя из реальной скорости ветра, существенно превышающей фоновую скорость. Поэтому для каждой возможной площадки размещения ВЭУ должны быть предварительно выполнены замеры реальных скоростей ветра. На сегодняшний день рынок ВЭУ имеет большой ассортимент. Производством занимаются такие страны, как Германия, Россия, Дания, Испания, США, Шотландия и др. Ниже приведены основные установки, подходящие для энергетического обслуживания придорожного сервиса и имеющиеся на рынке продаж ВЭУ:

1. Ветрогенератор T100-10 кВт (производство – Украина). Трехлопастная установка мощностью 10 кВт.

2. Ветроэлектрическая установка – 3/7 (производство – Россия). Однолопастная ветроэлектрическая установка с изменяемым углом установки лопасти максимальной мощностью 3 кВт с диаметром лопасти 7 м. Для районов со слабыми ветрами.

3. Ветроэлектрическая установка – 3/8.

Однолопастная ветроэлектрическая установка максимальной мощностью 3 кВт с диаметром винта 8 м. Для районов с небольшими ветрами.

4. FD6.4-5000-16-5 кВт (производство – Китай). Трехлопастная установка мощностью 5 кВт.

5. Ветрогенератор T50-5 кВт (производство – Украина). Трехлопастная установка мощностью 5 кВт.

6. Ветродизельный комплекс «Бриз-Дизель+» (производство – Украина). Предназначен для электроснабжения объектов, расположенных в зонах с любыми и низкими ветрами – от 3 м/с. Может работать и как дополнение к уже

имеющейся электрической сети. Мощность – 5 кВт.

В настоящее время в Беларуси (Дзержинский район Минской области) начинается строительство ветропарка мощностью 160 МВт, которое осуществляет немецкая компания Enertrag. Инвестиции в проект составят более 350 млн евро. По расчетам мощности будущего ветропарка хватит, чтобы обеспечить энергией три района Минской области (Дзержинский, Столбцовский и Узденский). На данный момент Минская область получает 17 % энергии с помощью местных видов топлива и посредством нетрадиционных источников. Ожидается, что с действием ветропарка этот показатель увеличится до 20 %.

ВЫВОДЫ

Государственное обеспечение строительства объектов придорожного сервиса на сегодняшний день незначительно. Правительство Беларуси пытается привлечь частных инвесторов путем снижения налогообложения, предоставления льготных кредитов, повышения тарифов на отпускаемую от ВЭУ энергии.

Важным достоинством ВЭУ является очень короткий инвестиционный цикл, что позволяет сразу же получать от них отдачу. Поскольку цены накупаемый Беларусью природный газ стремятся к европейскому уровню, показатели экономической эффективности сооружения ВЭУ улучшаются. Это делает развитие ветроэнергетики в Беларуси еще более привлекательным.

Рассмотренная экономико-математическая модель выбора оптимальной величины установленной мощности ВЭУ позволяет определить в первом приближении приемлемые технические характеристики ВЭУ для объектов придорожного сервиса.

Проведенные исследования подтвердили экономическую эффективность и техническую целесообразность использования ветроэнергетических установок на объектах сервисного обслуживания автомобильных дорог.

Поступила 06.05.2011