

## КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

Канд. техн. наук, доц. ОЛЕШКЕВИЧ М. М.,  
инженеры МАКОСКО Ю. В., ОЛЕШКЕВИЧ В. М.

*Белорусский национальный технический университет;*

докт. техн. наук ФАЛЮШИН П. Л.

*Институт проблем использования природных ресурсов и экологии  
Национальной академии наук Беларуси;*

канд. техн. наук, проф. БОХАН Н. И.

*Белорусский аграрный технический университет*

Комбинированные энергетические установки (КЭУ) – это электрические станции или локальные энергетические системы малой энергетики, скомпонованные из энергоблоков на различных источниках энергии, доступных и экономически целесообразных в данной местности. Такими комбинированными установками могут быть системы, состоящие из ветроэнергетических и биоэнергетических, солнечных и гидроэнергетических или других комбинаций энергоустановок на возобновляемых и традиционных энергоресурсах. Для создания таких установок необходимо, чтобы комбинация возобновляемых ресурсов была доступна для использования в данной местности, а создание энергоустановок было экономически целесообразно.

Из возобновляемых источников энергии в Беларуси наибольшим реальным потенциалом располагают биомасса, энергия ветра и солнца. Потенциал биомассы, местного низкокачественного топлива и биологических отходов, который реально может быть использован, составляет около 4,2 млн т у. т. в год [1]. Энергия ветра на основной территории Республики Беларусь имеет низкую плотность при среднегодовой скорости ветра 2,8...4,4 м/с. Энергоустановки для ее использования при существующих ценах на оборудование и тарифах на электроэнергию получаются дорогими и некупаемыми. Использование энергии ветра экономически целесообразно в местах с повышенным ветровым потенциалом – на возвышенностях, над поверхностью крупных водоемов. На территории Беларуси отмечают 1500...2000 перспективных ветровых площадок, благоприятных для размещения и эксплуатации на них ветроэнергетических установок (ВЭУ) со средней годовой скоростью ветра в зависимости от физико-географических особенностей рельефа в пределах 4,8...6,1 м/с [2, 3]. Однако территория, пригодная под строительство ВЭУ, не ограничивается только этими площадками. Возможна установка ВЭУ и в местах с меньшим ветровым потенциалом, но установки должны иметь при этом более высокий коэффициент использования энергии ветра. В республике ведутся разработки таких ВЭУ. Натурные измерения и расчеты показывают, что ветроэнергетический потенциал Республики Беларусь значителен (табл. 1).

## Ветроэнергоресурсы Республики Беларусь

Площадь территории зоны под ветроэнергетику, тыс. км <sup>2</sup>	Площадь территории зоны под ветроэнергетику по отношению ко всей площади республики, %	Выработка электроэнергии на территории зоны, млн МВт·ч/год
77,3	37,3	223
5,4	2,6	15,7
0,77	0,4	3

Например, для получения 3 млрд кВт·ч/год потребуется до 8 тыс. ВЭУ установленной мощностью 100...500 кВт или до 1400 ВЭУ установленной мощностью 1 МВт каждая. В мировой практике для целей ветроэнергетики допускается использование до 7 % территории.

Применение энергии биомассы в современных энергетических установках возможно при предварительном повышении плотности энергии путем переработки ее в генераторный газ или биогаз в газогенераторах или биогазогенераторах с последующим использованием газа как высококачественного топлива в двигатель-генераторных установках (ДГУ) с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) и электрическими генераторами [4].

Капитальные затраты на создание установки, как и других установок на возобновляемых источниках энергии, составляют 1000...1500 дол. США на 1 кВт установленной мощности. Работа установки сопровождается расходами на топливо и эксплуатационными расходами. Полученная электроэнергия в связи с этим имеет высокую себестоимость, но ее выработка постоянна во времени. Коэффициент использования номинальной мощности  $K_i = 0,8...0,9$ .

Ветроэнергетические установки используют бесплатную энергию ветра. При их работе отсутствуют затраты на топливо, эксплуатационные затраты – незначительны. Вырабатываемая электроэнергия имеет сравнительно низкую себестоимость, но выработка не постоянна во времени, зависит от среднегодовой скорости ветра и вероятностного распределения скоростей ветра в течение года. Годовой коэффициент использования номинальной мощности ветроэнергетической установки, т. е. отношение действительно вырабатываемой за год электроэнергии к электроэнергии, которая могла бы быть выработана за 8760 ч при постоянной номинальной нагрузке [5]:

$$K_i = \sum_{V_i=3}^{V_i < V_p} \left( \frac{V_i}{V_p} \right)^3 \Delta T_i^* + \sum_{V_i=V_p}^{25} \Delta T_i^*, \quad (1)$$

где  $\Delta T_i^*$  – временной интервал в относительных единицах;  $V_i$ ,  $V_p$  – скорость ветра в пределах временного интервала и расчетная скорость соответственно, м/с,  $V_{i\min} = 3$  м/с,  $V_{i\max} = 25$  м/с – минимальная и максимальная рабочие скорости ветра,  $V_p = 12$  м/с.

На основании проведенных расчетов имеем значения коэффициентов использования номинальной мощности ВЭУ в зависимости от среднегодовой скорости ветра на рассматриваемой ветровой площадке:  $K_i = 0,253$  при  $V_{cp} = 6$  м/с;  $K_i = 0,173$  при  $V_{cp} = 5$  м/с;  $K_i = 0,156$  при  $V_{cp} = 4,8$  м/с.

Комбинированная энергетическая установка состоит из группы ветроэнергетических и двигатель-генераторных установок, объединенных электрически и территориально, соединенных с энергосистемой и потребителями. Создание такой установки позволяет снизить себестоимость электроэнергии и срок окупаемости оборудования, повысить надежность электроснабжения местных потребителей, обеспечить отдачу излишков электроэнергии в энергосистему и выработку только качественной энергии, экономию высококачественного импортного топлива.

В комбинированной электроэнергетической установке составляющие энергоблоки могут быть выполнены: с собственными электрическими генераторами, соединенными электрически, или с общим генератором и механической связью через общий вал и с комбинированными связями.

Аналогичные связи между энергоблоками могут быть и в комбинированной теплоэнергетической установке. Они способны работать на отдельные тепло- или парогенераторы, питающие общий тепловой контур, или на общий тепло- и парогенератор.

Схема комбинированной энергетической установки, содержащей ветроэнергетическую и двигатель-генераторную установки, с электрической связью энергоблоков, представлена на рис. 1.

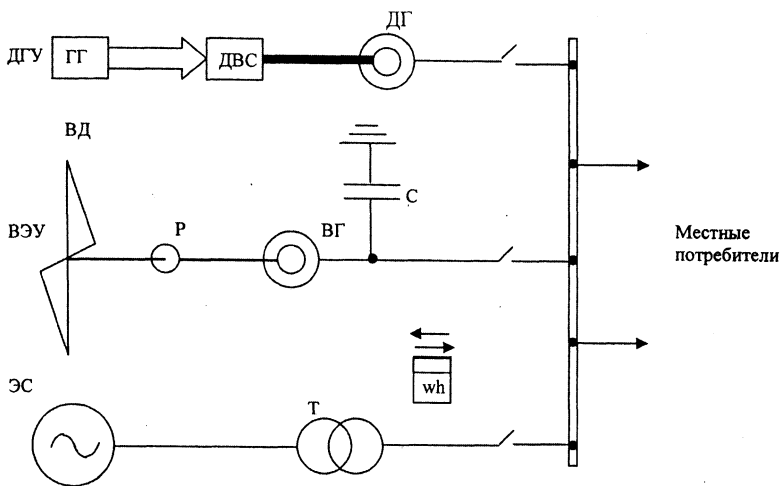


Рис. 1. Схема комбинированной энергетической установки с электрической связью энергоблоков: ДГУ – двигатель-генераторная установка; ГГ – газогенератор; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ВЭУ – ветроэнергетическая установка; ВД – ветродвигатель; ВГ – ветрогенератор; Р – редуктор; С – конденсаторы; ЭС – энергосистема; Т – трансформатор

Генераторы энергоблоков присоединены к шинам низкого напряжения подстанции, от которых питаются местные потребители. Генераторы – низковольтные (220/380 В), поскольку установки на возобновляемых источниках энергии имеют небольшую номинальную мощность. Связь с энергосистемой обеспечивает: необходимый баланс мощностей, повышает надежность электроснабжения местных потребителей, выработку генераторами качественной электроэнергии со стабильными напряжением и частотой, возможность передачи излишков выработанной энергии в энергосистему. Для измерения электроэнергии, потребляемой и отдаваемой

в энергосистему, на линии связи с энергосистемой установлены счетчики коммерческого учета.

В такой комбинированной энергетической установке энергоблоки могут быть оптимально размещены на местности, хотя расстояния между ними и потребителями, ними и подстанцией энергосистемы ограничены низким напряжением установки. Ветроэнергетическая установка должна быть установлена на площадке с высокой среднегодовой скоростью ветра (5...6 м/с). Двигатель-генератор следует разместить вблизи места разгрузки местного топлива и биомассы.

В качестве ветроэнергетической установки может быть использован наиболее эффективный горизонтально-осевой пропеллерный агрегат с редукторным или прямым приводным асинхронным или синхронным генератором. При этом важно правильно выбрать тип и параметры генератора, соотношение генерирующих мощностей для обеспечения качественного электроснабжения, поддержания стабильных параметров электроэнергии на низковольтном участке установки, возможность пуска ветроагрегата и т. п. Необходимо отметить, что выбор параметров генераторов в зависимости от типа ветроэнергетической установки можно произвести на основе исследования динамических и квазиустановившихся режимов работы ветроэлектростанций.

Схема комбинированной энергетической установки с общим генератором и механической связью энергоблоков через общий вал представлена на рис. 2.

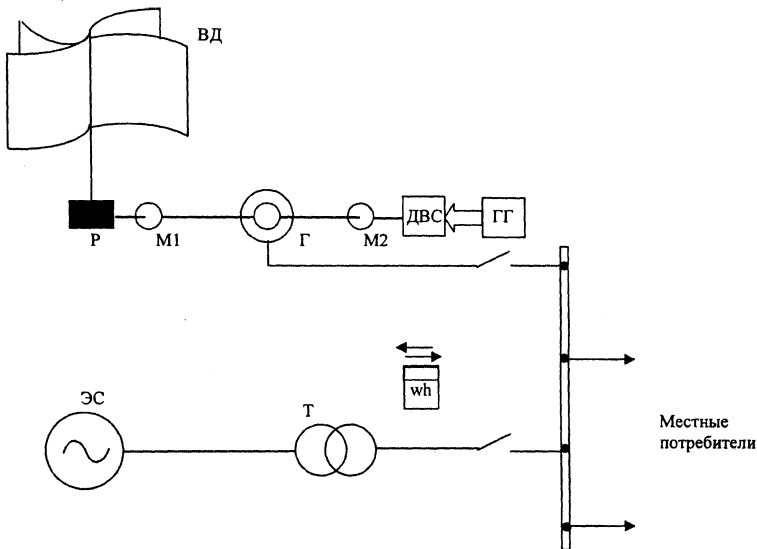


Рис. 2. Схема комбинированной энергетической установки с механической связью энергоблоков: М1, М2 – муфты сцепления; Г – электрогенератор

В этой схеме энергоблоки располагаются совместно. Общий генератор установки связан общим валом через муфты сцепления с ветродвигателем и двигателем внутреннего сгорания с газогенератором. В установке может быть применен ветродвигатель с вертикальной осью вращения с расположением генератора на нулевом уровне и передачей вращения генератору

через вертикальный вал, редуктор и муфту. Располагать установку на местности следует по условиям использования максимально возможной среднегодовой скорости ветра. При этом расположение двигатель-генераторного блока не всегда будет оптимальным. Однако газогенератор может быть расположен на расстоянии от двигателя внутреннего сгорания, что позволяет оптимизировать расположение энергоблока. В этом случае снижаются затраты на электрическую сеть, упрощается организация параллельной работы и т. д. Однако особенности совместной работы ветродвигателя и двигателя внутреннего сгорания на общий вал не исследованы и требуют разработки.

Основным производителем электроэнергии в рассматриваемой комбинированной энергоустановке является двигатель-генератор с газогенератором.

Возможны и другие варианты в зависимости от соотношения номинальных мощностей энергоблоков, энергетических потенциалов возобновляемых энергоисточников в данной местности. Двигатель-генераторная установка может работать длительно с номинальной мощностью при коэффициенте использования номинальной мощности  $K_i = 0,8 \dots 0,9$ . Однако местное топливо и горючие отходы, используемые в газогенераторе, не являются бесплатными, что обуславливает наличие значительных эксплуатационных затрат. Годовая выработка электроэнергии дизель-генераторной и ветроэнергетической установками [5]

$$A = P_n \cdot 8760 K_i, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (2)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность энергоустановки, кВт.

Стоимость выработанной электроэнергии при тарифе 0,083 дол./(кВт·ч), установленном для объектов малой и нетрадиционной энергетики в Беларуси [6]:

$$S = 0,083 A, \text{ дол./год}. \quad (3)$$

Расход местного топлива и отходов, а также их стоимость при цене 30 дол./т у. т.:

$$A_t = \frac{A \cdot 10^{-3} \cdot 0,28}{\eta_t}, \text{ т у. т./год} \quad (4)$$

$$S_t = A_t \cdot 30, \text{ дол./год}, \quad (5)$$

где  $\eta_t$  – КПД преобразования энергии топлива в электроэнергию,  $0,28 \cdot 10^{-3}$  т у. т./(кВт·ч) – переводной коэффициент.

Эксплуатационные затраты с учетом оплаты труда и амортизационных отчислений

$$S_3 = 3_m NM, \text{ дол./год}, \quad (6)$$

где  $3_m$  – месячная зарплата, дол.;  $N$  – количество обслуживающего персонала при круглосуточной работе;  $M$  – число месяцев работы в году.

Срок окупаемости

$$T = \frac{K}{S - (S_3 + S_T)}, \text{ год,} \quad (7)$$

где  $K$  – капитальные затраты.

Используя выражения (2)...(6), получаем себестоимость выработанной электроэнергии при сроке службы 20 лет

$$S_c = \frac{C_k}{20 \cdot 8760 K_i} + C_T + C_3, \text{ дол./}(кВт \cdot ч), \quad (8)$$

где  $C_3$  – эксплуатационные затраты, дол./}(кВт \cdot ч);

$$C_T = 10^{-3} \cdot 0,28 / \eta_T C'_T, \text{ дол./}(кВт \cdot ч). \quad (9)$$

Здесь  $C'_T$  – цена местного топлива и биомассы, дол./т у. т.

Рассчитанные технико-экономические показатели комбинированной энергетической установки приведены в табл. 2.

Таблица 2

	ДГУ	ВЭУ	КЭУ
Номинальная мощность, кВт	30	55	85
Капитальные затраты, дол.	30000	55000	85000
Годовая выработка электроэнергии, кВт \cdot ч/год	236520	102623	339143
Экономический эффект, дол./год	19631	8518	28149
Затраты топлива (биомассы), т у. т./год	221	–	221
Суммарные эксплуатационные затраты, дол./год	10230	550	10230
Срок окупаемости, лет	3,2	6,9	4,7
Себестоимость выработанной электроэнергии, дол./}(кВт \cdot ч)	0,05	0,027	0,043
Экономия высококачественного топлива, т у. т./год	–	–	298
Удельные капитальные затраты, дол./кВт	1000	1000	1000
Тариф на электроэнергию, дол./}(кВт \cdot ч)	0,083	0,083	0,083

Таким образом, при существующих ценах на оборудование энергетических установок на возобновляемых источниках энергии 1000 дол. за 1 кВт установленной мощности и тарифе на покупаемую у них электроэнергию 0,083 дол./}(кВт \cdot ч) экономически целесообразно создание комбинированных энергетических установок, использующих энергию ветра и биомассы, работающих совместно с единой энергосистемой. Они имеют для производителя энергии приемлемый срок окупаемости и себестоимость электроэнергии, обеспечивают надежное электроснабжение местных потребителей качественной электроэнергией и отдачу излишков качественной электроэнергии в энергосистему, обеспечивают экономию высококачественного импортного топлива. Для создания таких установок необходимо наличие комбинации таких ресурсов в данной местности.

При тарифе 0,042 дол./кВт·ч ДГУ не окупается, а в составе КЭУ за счет доходности ВЭУ она окупается более чем за 10 лет. Заниженные тарифы на электроэнергию, покупаемую от электроустановок на возобновляемых источниках энергии, могут сделать их внедрение маловыгодным и даже убыточным.

Однако в Республике Беларусь при использовании местных топливно-энергетических ресурсов, древесных и твердых бытовых отходов тариф устанавливается на уровне среднего тарифа по Минтопэнерго, что составляет 0,042 дол./кВт·ч [6, 7]. Такой тариф делает экономически нецелесообразным использование этих источников биомассы, возобновляемого источника энергии, имеющего значительный энергетический потенциал в Беларуси. Для стимулирования развития этого направления нетрадиционной энергетики древесные и твердые бытовые отходы должны быть отнесены к возобновляемым источникам энергии, каковыми они являются в действительности, без оговорок и снижения тарифов на электроэнергию, получаемую при их использовании.

## ВЫВОДЫ

Применение комбинированных энергетических установок на возобновляемых источниках энергии позволяет оптимизировать их сроки окупаемости и себестоимость выработанной электроэнергии.

Связь комбинированных энергетических установок с энергосистемой повышает надежность электроснабжения местных потребителей и обеспечивает возможность передачи в энергосистему излишков качественной электроэнергии.

Для стимулирования развития энергетических установок на возобновляемых источниках энергии древесные и твердые горючие отходы должны быть отнесены к возобновляемым источникам энергии без снижения тарифов на электроэнергию, вырабатываемую этими энергетическими установками.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О л е ш к е в и ч М. М., Л о с ю к Ю. А. Нетрадиционные источники энергии. – Мн.: БГПА, 2001. – 128 с.
2. М е т о д и к а оценки ветроэнергетического потенциала в конкретных условиях местности Республики Беларусь: Формирование банка данных. – НПГП «Ветромаш», ГП «Белэнергосетьпроект», 1998.
3. Л а в р е н т ь е в Н. А., Г н о е в о й А. И. Ветроэнергоресурсы Республики Беларусь // Энергетические проблемы и пути их решения в интересах населения Беларуси и стран мира: Материалы 1-го междунар. науч.-практ. конгресса «Демографические проблемы Беларуси» / Междунар. акад. экологии. – Мн., 2001.
4. Б о х а н Н. И., Ф а л ю ш и н П. Л., Л о в к и с В. Б. Нетрадиционная экологически безопасная энергетика // Аграрная энергетика в XXI веке: Материалы междунар. науч.-технич. конф. – Мн., 2001.
5. О л е ш к е в и ч М. М. Перспективы ветроэнергетики в Беларуси // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ) – 1999. – № 1. – С. 12–18.
6. П о с т а н о в л е н и е Министерства экономики Республики Беларусь № 45 от 22.05.1997 г. «О порядке формирования тарифов на электроэнергию, покупаемую от объектов малой и нетрадиционной энергетики».
7. П о с т а н о в л е н и е комитета цен Министерства экономики Республики Беларусь № 104-Ц, 22.05.1997.

Представлена кафедрой  
электроснабжения

Поступила 12.12.2002