

ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шутов Е.А., Хошнау З.П.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В статье представлены результаты анализа режимов работы ветро-дизельных электростанций с буферными системами накопления энергии, предложен и описан алгоритм управления рабочими режимами автономных систем электроснабжения, построенных на базе ветроэнергетических установок и дизельных электростанций.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки, дизельные электростанции, гибридные энергетические комплексы, буферные накопители энергии, автономные системы электроснабжения

Повышение надежности и энергетической эффективности автономных систем электроснабжения децентрализованных потребителей является важнейшей стратегической задачей развития энергетики России, без успешного решения которой невозможно социально-экономическое развитие многих регионов РФ.

По данным Минэнерго России, из 50000 электростанций, функционирующих на территории России, 49000 относятся к малым. Их суммарная установленная мощность составляет 17 тыс. МВт (около 8 % от общей установленной мощности всех электростанций), а годовая выработка электрической энергии достигает 50 млрд. кВт·ч при расходе топлива - 17 млн.т.у.т.

Основу малой энергетики России составляют дизельные электростанции (ДЭС), общее число которых превышает 47 тыс., что составляет около 96 % от общего числа малых энергетических установок.

Наряду с очевидными достоинствами, промышленным схемам построения ДЭС присущ ряд серьезных технических недостатков, основными из которых являются:

- значительная доля топливной составляющей (до 80-85 %) в себестоимости вырабатываемой электроэнергии;
- высокий удельный расход топлива в режиме малых нагрузок;
- тяжелые эксплуатационные режимы дизелей (приводят к снижению ресурса) при нагрузках менее 25 и более 80 % от их номинальной загрузки двигателя;
- невысокий уровень надежности электроснабжения потребителей, питающихся от ДЭС, построенных на базе 1-2 силовых агрегатов (характерно для ДЭС небольшой мощности).

Использование ветро-дизельных электростанций (ВДЭС) в системах электроснабжения децентрализованных потребителей позволяет успешно решить большую часть этих проблем.

Использование ветроэнергетических установок (ВЭУ) в составе ВДЭС позволяет снизить топливную составляющую в себестоимости электроэнергии за счет замещения части органического топлива, повысить уровень надежности электроснабжения потребителей за счет введения в систему дополнительного генерирующего источника, увеличить ресурс дизельных двигателей за счет обеспечения более щадящих эксплуатационных режимов.

Использование в составе ВДЭС буферных накопителей энергии (БНЭ) позволяет снизить топливную составляющую за счет замещения энергии, вырабатываемой ДЭС, энергией запасенной в накопителе от ВЭУ; значительно увеличить ресурс дизелей за счет

оптимизации их рабочих режимов; повысить уровень надежности электроснабжения потребителей за счет введения в систему по сути бесперебойного источника питания; улучшить показатели качества генерируемой электрической энергии в динамических режимах.

Обобщенная структурная схема ВДЭС приведена на рисунке 1. На рисунке силовые электрические соединения показаны сплошными линиями, управляющие каналы обозначены пунктирными линиями.

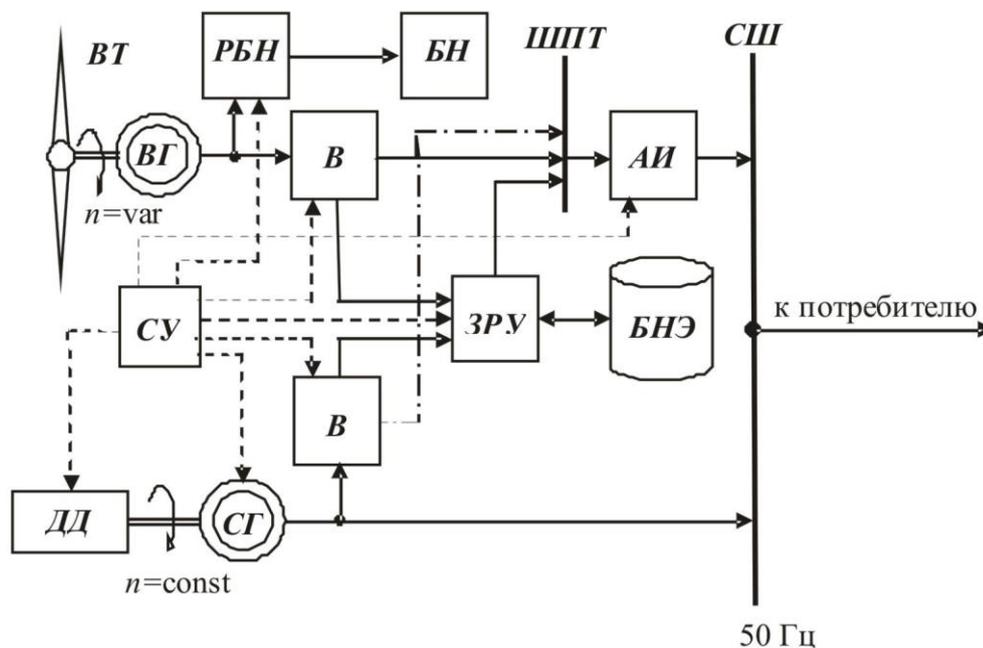


Рис. 1 Обобщенная структурная схема ВДЭС

В общем случае в состав ВДЭС входят два генерирующих источника: синхронный генератор (СГ) с приводом от дизельного двигателя (ДД) и ветрогенератор (ВГ) с приводом от ветротурбины (ВТ). При использовании стандартной общепромышленной системы управления (СУ) дизельной электростанцией частота вращения ДД жестко стабилизирована, СГ выдает переменное напряжение, частотой 50 Гц, на сборные шины (СШ) потребителя. В качестве ВГ могут применяться различные типы электрических машин: синхронные с обмоткой возбуждения или магнитоэлектрические, а также асинхронные с возбуждением от СГ или от конденсаторных батарей. Однако, в большинстве промышленных схем построения ВЭУ малой мощности, частота вращения ВТ не стабилизируется и ВГ вырабатывает электроэнергию в виде переменного тока с изменяющейся в широких пределах частотой. Для приведения параметров выходного напряжения ВГ к стандартным, в состав ВЭУ обязательно входят выпрямитель (В) и автономный инвертор (АИ).

Для сброса излишков энергии, вырабатываемой ВГ при сильных ветрах и малой нагрузке, в состав ВЭУ, как правило, входят балластная нагрузка (БН), обычно представляющая собой теплонегательные элементы, и регулятор балластной нагрузки (РБН), обеспечивающий изменение потребляемой мощности БН.

При введении в состав ВДЭС буферного накопителя энергии (БНЭ) необходимым элементом электростанции является специализированное зарядно-разрядное устройство (ЗРУ), обеспечивающее заряд накопителя от СГ и ВГ через управляемые выпрямители (В) и его разряд на сборные шины через шину постоянного тока (ШПТ) и АИ.

Серьезной технической проблемой автономных систем электроснабжения является соизмеримость мощностей основного генерирующего оборудования и потребителя, которая требует согласования режимов производства и потребления энергии в изолированной энергетической системе. В случае ВДЭС проблема осложняется стохастическим характером

электрической нагрузки потребителя и энергии воздушного потока, которая определяет выходную мощность ВЭУ. При этом неизбежны эксплуатационные режимы электростанции, в которых текущие значения потребляемой мощности нагрузки будут значительно отличаться от выдаваемой на данном временном интервале мощности ВЭУ. Наличие в составе электростанции БНЭ позволяет покрывать пики электрических нагрузок во время их максимума, обеспечивать запас энергии от ВЭУ в периоды сильных ветров, кроме того появляется техническая возможность реализовать более экономичный режим работы дизельного двигателя ДЭС.

Чтобы ВДЭС обладала хорошими энергетическими и технико-экономическими характеристиками необходимо произвести грамотный выбор состава и номенклатуры основного энергетического оборудования с учетом характеристик ветрового режима в месте ее размещения и характера нагрузки потребителя, а также обеспечить рациональное управление ее рабочими режимами.

Многообразие и сложность рабочих режимов ВДЭС требует разработки для них специализированных устройств управления, обеспечивающих реализацию ряда важных функций, при этом логика их функционирования может быть довольно сложной.

Ниже представлен алгоритм управления режимами работы ВДЭС, разработанный авторами настоящей статьи. Разработка алгоритма управления ВДЭС проводилась с учетом следующих ограничений:

1. Установленная номинальная мощность рабочих дизель-генераторов электростанции $P_{\text{ДЭС_ном}}$ должна обеспечивать покрытие максимальной нагрузки потребителя $P_{\text{н_max}}$:

$$P_{\text{ДЭС_ном}} \geq P_{\text{н_max}} \quad (1)$$

2. Запас энергии в буферном накопителе $W_{\text{БНЭ}}$ должен обеспечивать покрытие максимальной электрической нагрузки на время переключения $t_{\text{пер}}$:

$$W_{\text{БНЭ}} \geq P_{\text{н_max}} \cdot t_{\text{пер}} \quad (2)$$

Минимальная величина времени переключения определяется временем пуска и вывода на номинальный режим дизельного двигателя и составляет в зависимости от его типоразмера от нескольких секунд до минут. Рациональная величина $t_{\text{пер}}$ зависит от характера изменения суточного графика нагрузки, распределения скоростей ветра, установленных мощностей ВЭУ и ДГ, может составлять до нескольких часов и определяется на основании технико-экономических расчетов.

Выполнение условий 1, 2 необходимо для обеспечения гарантированного электроснабжения потребителей.

Если БНЭ построен на основе аккумуляторных батарей (АБ), необходимо учитывать следующие ограничения:

3. Максимальная глубина разряда аккумуляторных батарей не должна превышать 70 % от их номинальной емкости:

$$C_{\text{АБ}} \geq 0.3 \cdot U_{\text{АБ}} \cdot C_{\text{АБ_ном}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{АБ}}$ – остаточная емкость аккумуляторных батарей, Вт·ч; $U_{\text{АБ}}$ – номинальное напряжение аккумуляторных батарей, В; $C_{\text{АБ_ном}}$ – номинальная емкость аккумуляторных батарей, А·ч.

4. Зарядный ток (зарядная мощность) АБ не должен превышать 10% от их номинальной емкости:

$$I_{\text{з_АБ}} \leq 0.1 \cdot C_{\text{АБ_ном}}, \text{ А}; \quad P_{\text{з_АБ}} \leq 0.1 \cdot U_{\text{АБ}} \cdot C_{\text{АБ_ном}}, \text{ Вт.} \quad (4)$$

где $I_{\text{з_АБ}}$, $P_{\text{з_АБ}}$ - зарядный ток и зарядная мощность АБ, соответственно.

5. Разрядный ток (разрядная мощность) АБ не должен превышать 15% от их номинальной емкости:

$$I_{p_AB} \leq 0.15 \cdot C_{AB_ном}, \text{ А}; \quad P_{p_AB} \leq 0.15 \cdot U_{AB} \cdot C_{AB_ном}, \text{ Вт.} \quad (5)$$

где I_{p_AB} , P_{p_AB} - разрядный ток и разрядная мощность АБ, соответственно.

Выполнение условий 3-5 необходимо для продления эксплуатационного ресурса аккумуляторов.

Выполнение ограничений 1-5 является обязательным. Однако, для достижения максимальной энергетической эффективности ВДЭС алгоритм управления режимами комплекса должен реализовывать следующие дополнительные функции:

6. Максимальное полезное использование энергии, вырабатываемой ВЭУ.

7. Обеспечивать загрузку дизельного двигателя в продолжительных режимах на уровне 70-80 % от его номинальной мощности.

8. Не допускать частых включений (отключений) дизеля и его режимов работы на малых нагрузках.

Выполнение условия 6 обеспечит максимальное замещение энергии, вырабатываемой ДЭС, энергией ВЭУ, а следовательно, и максимальную экономию дорогостоящего дизельного топлива. Выполнение условия 6 достигается рациональным выбором установленных мощностей ВЭУ и БНЭ с учетом имеющегося ветрового режима и характера нагрузки.

Выполнение условий 7-8 обеспечивает увеличение эксплуатационного ресурса дизельного двигателя, а соответственно, и надежности электроснабжения потребителей.

Разработанный алгоритм управления режимами ВДЭС представлен на рисунке 2. Здесь приняты следующие обозначения:

- C_{AB} , \underline{C}_{AB} – текущая и номинальная (полная) емкость аккумуляторных батарей, соответственно, Вт·ч;
- $P_{ВЭУ}$, $P_{ДЭС}$ – текущие значения мощности, генерируемые ветроэнергетической установкой и дизельной электростанцией, соответственно, Вт;
- P_n – текущие значения мощности, потребляемой нагрузкой, Вт;
- \underline{P}_{AB} , $P_{з_AB}$, P_{p_AB} – номинальная, зарядная и разрядная мощности аккумуляторных батарей, соответственно, Вт;
- $P_{из}$ – избыточная мощность, генерируемая ВЭУ на текущем интервале времени, Вт;
- $P_{БН}$ – текущие значения мощности, рассеиваемой на балластных сопротивлениях, Вт;
- Δt – интервал времени, соответствующий текущему рабочему режиму ВДЭС, час;
- $S_{ДЭС}$ – логическая переменная, характеризующая состояние дизельного двигателя: $S_{ДЭС} = 1$ – дизель в работе; $S_{ДЭС} = 0$ – дизель остановлен.

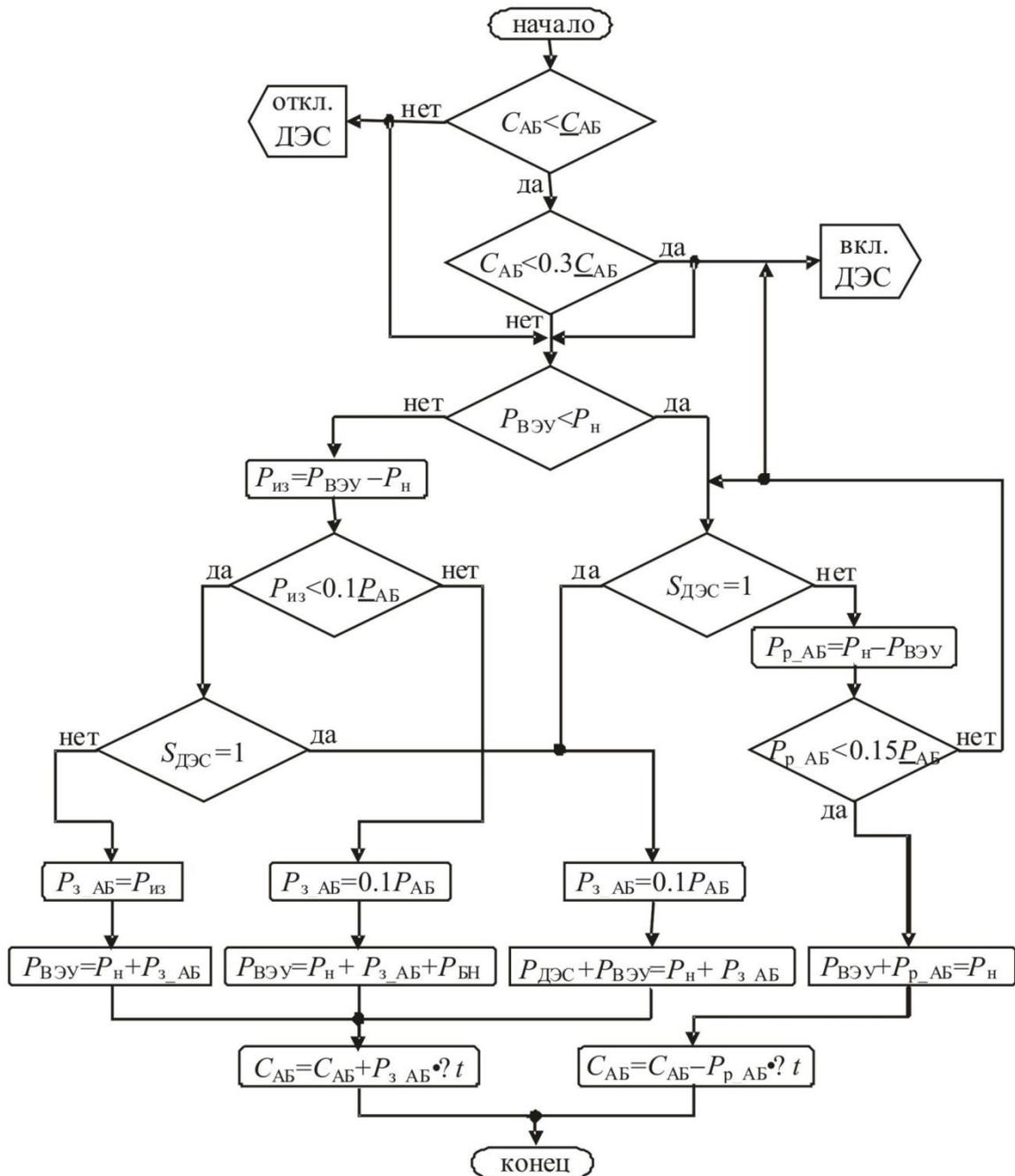


Рис. 2 Алгоритм управления режимами ВДЭС

В логику работы предлагаемого алгоритма управления режимами ВДЭС положены два основных принципа: максимальное полезное использование энергии, генерируемой ВЭУ и минимизации числа часов работы ДЭС. Для практической реализации алгоритма управления необходим постоянный контроль за запасом энергии в буферном накопителе и текущими значениями генерируемой, потребляемой и аккумулируемой мощностями. Кроме того, ДЭС должна быть выполнена по первой степени автоматизации, обеспечивающей дистанционный автоматический запуск и останов дизельного двигателя.

Интеллектуальная система управления ВДЭС обеспечивает постоянное распределение потоков энергии в замкнутой энергетической системе в зависимости от ее текущего состояния. С точки зрения управления режим работы станции определяется соотношением текущих значений мощности, генерируемой ВЭУ и потребляемой нагрузкой. Возможны два основных режима:

1. Выходная мощность ВЭУ больше потребляемой активной мощности нагрузки. В этом режиме потребитель полностью обеспечивается энергией от ВЭУ. Излишки вырабатываемой ВЭУ мощности направляются на заряд аккумуляторных батарей, а в случаях, когда они превышают максимальную зарядную мощность АБ, избыток энергии рассеивается на балластных сопротивлениях.

2. Выходная мощность ВЭУ меньше потребляемой активной мощности нагрузки. В этом режиме СУ определяет недостаток мощности, необходимой потребителю, и производит оценку возможности ее получения из БНЭ. Если необходимая в текущем режиме разрядная мощность накопителя не превышает предельно допустимых значений, по покрытие электрической нагрузки ВДЭС производится за счет мощности ВЭУ и разрядной мощности АБ. В противном случае СУ формирует управляющий сигнал на запуск дизельного двигателя, и покрытие электрической нагрузки производится совместными усилиями ВЭУ и ДЭС, которые кроме этого обеспечивают заряд АБ.

Во всех рабочих режимах производится контроль за остаточной емкостью АБ. Если остаточная емкость АБ достигает номинального значения, подается сигнал на останов ДД, если остаточная емкость АБ составляет менее 30% от ее номинальной (полной) емкости подается сигнал на запуск ДД.

С целью минимизации тяжелых, с точки зрения эксплуатационного ресурса, режимов пуска дизелей логика управления ВДЭС организована таким образом, что после запуска ДЭС она остается в работе до полного заряда аккумуляторных батарей, обеспечивая ее постоянную подзарядку оптимальным зарядным током.

В качестве примера на рисунке 3 представлен суточный режим работы ВДЭС, построенной на базе дизель-генератора номинальной мощностью 12 кВт, ВЭУ мощностью 30 кВт и буферного накопителя из 40 аккумуляторов с суммарной емкостью 90 кВт·ч.

Представленный график получен по результатам имитационного математического моделирования автономной системы электроснабжения, расположенной в поселке Усть-Оленёк, Булунский улус, республика Саха (Якутия). При моделировании использовались вероятностно-статистические модели нагрузок автономного потребителя и энергии воздушного потока, а также энергетические модели ВЭУ и ДЭС [1,2].

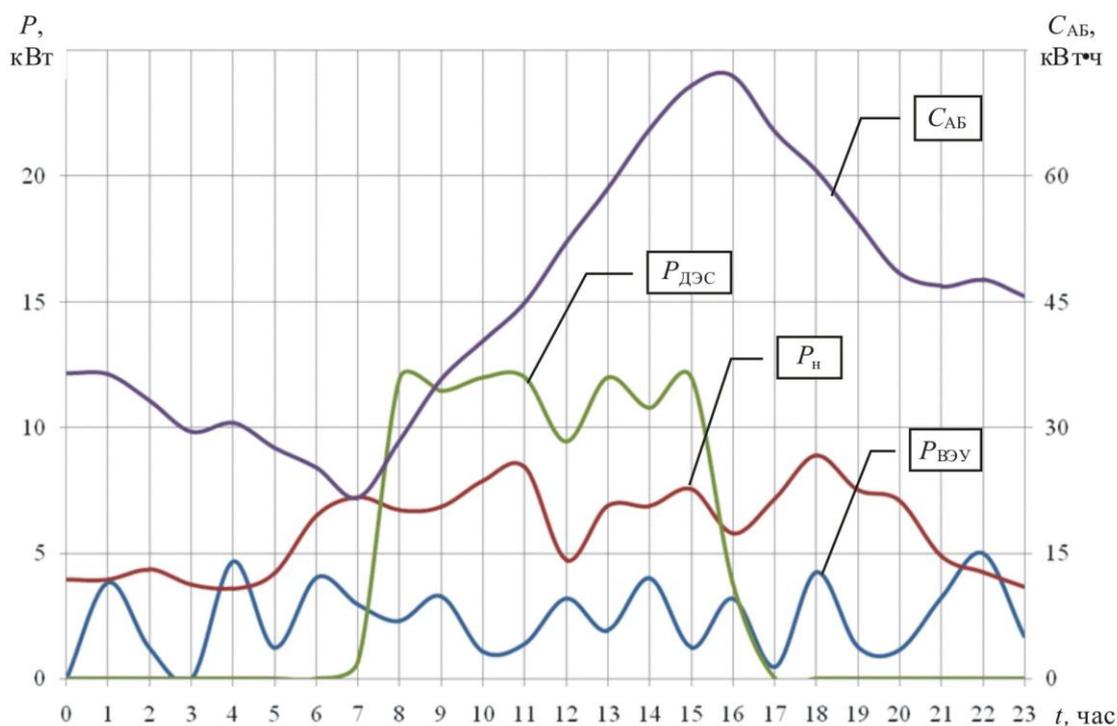


Рис. 3 Суточный рабочий режим ВДЭС с буферным накопителем энергии

Проведенные исследования доказывают, что использование в составе ВДЭС буферных накопителей энергии позволяет повысить коэффициент полезного использования ВЭУ за счет запаса энергии в накопителе в режимах превышения выходной мощности ВЭУ над потребляемой нагрузкой, а также значительно улучшить эксплуатационные режимы дизельных двигателей. Ключевым вопросом при проектировании ВДЭС с буферной системой накопления энергии является решение вопроса об оптимальной емкости накопителя.

Методика выбора оптимального варианта построения ВДЭС основана на расчете и сравнительном анализе энергетических характеристик автономной электростанции, предназначенной для электроснабжения конкретного потребителя с географической привязкой к месту ее размещения. Применение такого подхода обосновано тем, что энергетическая эффективность ВДЭС зависит от множества технических (распределение скоростей ветра в месте установки электростанции, характер электрической нагрузки, типоразмера ДГ и ВЭУ) и экономических (стоимость дизельного топлива, ДГ, ВЭУ, аккумуляторных батарей) факторов.

Улучшение энергетических характеристик ВДЭС достигается за счет рационального выбора установленных мощностей генерирующих и аккумулирующих источников, определяемых параметрами ветрового режима в месте размещения электростанции и характером электрической нагрузки потребителя, а также оптимального управления потоками энергии в замкнутой энергетической системе, которое обеспечивает единая система управления рабочими режимами. Так как рациональное соотношение установленных мощностей ДЭС, ВЭУ и БНЭ не является типовым, а определяется индивидуально для каждой ВДЭС с учетом конкретных условий ее размещения и эксплуатации, в качестве критерия выбора основного силового оборудования целесообразно использовать технико-экономические показатели.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» по направлению «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области создания эффективных накопителей электрической энергии для нужд централизованной и автономной энергетики».

Литература:

1. Обухов С. Г. Метод моделирования механических характеристик ветротурбин малой мощности // Альтернативная энергетика и экология. - 2011 - №. 1 - С. 10-15
2. Обухов С. Г. , Сурков М. А. , Хошнау З. П. Методика выбора ветроэнергетических установок малой мощности // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. - 2011 - №. 2 - С. 25-30