

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СХЕМ ПОСТРОЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ УСТАНОВКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Обухов С.Г., Плотников И.А., кандидаты техн. наук

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Выполнен сравнительный анализ схем построения автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики. Предложена модульная схема построения электростанции, позволяющая производить суммирование, распределение потоков энергии от генерирующих источников и реализовывать эффективные алгоритмы управления этим процессом.

Ключевые слова: автономная система электроснабжения, возобновляемые источники энергии, электрическая схема

Основу малой энергетики России составляют дизель-генераторы (ДГ) и дизельные электростанции (ДЭС) на их основе. Как источники электроэнергии автономных систем электроснабжения они обладают очевидными достоинствами и значительными недостатками, к основным из которых относятся большой расход органического топлива на выработку одного кВт·ч электроэнергии и загрязнение окружающей среды. В то же время полноценной замены им нет.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения является использование в энергетическом балансе регионов возобновляемых источников энергии и оптимизация режимов работы основного энергетического оборудования. Так как для потребителей электроэнергии децентрализованных зон необходим гарантированный источник питания, наиболее перспективным вариантом построения автономных систем представляются ветро-дизельные и ветро-фото-дизельные энергетические установки.

Большинство, находящихся в эксплуатации и предлагаемых на рынке автономных энергетических систем, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ), являются технически законченными изделиями, адаптированными под строго определенный тип энергетического оборудования, не допускающие возможности расширения их функциональных возможностей и наращивания мощностей за счет подключения новых генерирующих источников. Такая ситуация обусловлена главным образом тем обстоятельством, что

параметры генерируемой электроэнергии установками возобновляемой энергетики существенно различаются по основным техническим показателям, таким как род тока, частота и величина выходного напряжения.

Отсутствие на рынке возобновляемой энергетики универсальных технических устройств, обеспечивающих возможность объединения в рамках единой энергетической системы разнотипных энергетических установок с возможностью эффективного управления режимами их работы, является негативным фактором развития малой энергетики России и в то же время актуальной научной и технической задачей для практического решения.

Возможны различные варианты сопряжения ДЭС, ветроэнергетических установок (ВЭУ) и фотоэлектрических установок (ФЭУ) при работе на общего потребителя, которые могут значительно различаться как по составу используемого электрооборудования, так и по технико-экономическим характеристикам.

На рис.1 представлен распространенный вариант построения схемы гибридной электростанции, использующей ВИЭ. Здесь источники электроэнергии подключаются непосредственно к распределительной сети объекта без промежуточного преобразования электроэнергии. Система управления станцией при этом должна обеспечивать не только стратегию управления по регулированию мощностей поступающих из ДГ, ФЭУ и ВЭУ, но и обеспечивать синхронизацию запуска агрегатов и их дальнейшую синхронную работу.

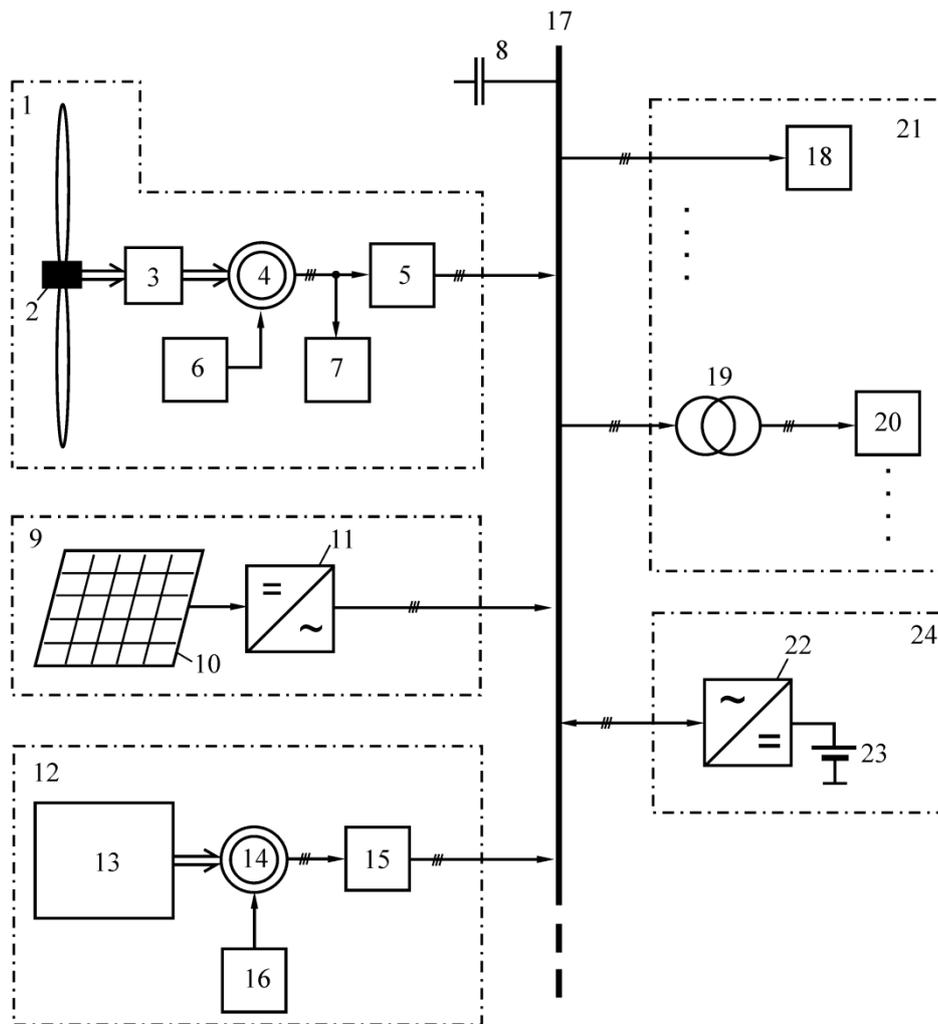


Рис.1. Схема гибридной электростанции с непосредственным подключением генерирующих установок к распределительной сети объекта электроснабжения

1 – ветроэнергетическая установка; 2 – ветротурбина; 3 – редуктор-мультипликатор; 4, 14 – синхронный электромашинный генератор; 5, 15 – устройство плавного пуска; 5, 15 – регулятор тока возбуждения синхронного генератора; 7 – блок балластных нагрузок; 8 – компенсатор реактивной мощности; 9 – фотоэнергетическая установка; 10 – солнечная панель; 11 – импульсный преобразователь постоянного напряжения в переменное напряжение (инвертор); 12 – дизель-генератор; 13 – дизельный двигатель; 17 – шина переменного тока 220/380В 50 Гц; 18 – потребители электроэнергии; 19 – силовой повышающий трансформатор; 20 – потребители электроэнергии напряжением 6 или 10 кВ; 21 – объект децентрализованного электроснабжения; 22 – двунаправленный преобразователь переменного напряжения в постоянное напряжение; 23 – блок аккумуляторных батарей; 24 – буферный накопитель электроэнергии

Приведенный на рис.1 способ построения системы автономного электроснабжения прост для реализации, что позволяет легко масштабировать систему, устанавливая например, несколько ВЭУ. Отсутствие дополнительных преобразований электроэнергии определяет высокий КПД энергетической системы в целом. Однако, данный способ требует наличия на выходах электрических генераторов заданных, одинаковых и постоянных значений напряжений и частот сети, что подразумевает применение ВЭУ со сложными системами аэродинамической стабилизации частоты вращения ветроколеса и

мультипликатором, или с использованием асинхронной машины с фазным ротором, при соответствующем ее управлении от сетевого инвертора.

Подобный тип ВЭУ характерен для «большой» ветроэнергетики и находит крайне ограниченное применение при построении малых энергетических систем ввиду большой стоимости энергоустановок. В настоящее время в малой ветроэнергетике преимущественное распространение получили безредукторные конструкции ВЭУ с многополюсными электрическими генераторами на постоянных магнитах, работающими на переменной частоте вращения ветроколеса, что обеспечивает высокую эффективность использования первичной энергии воздушного потока при относительно невысокой стоимости ветроэнергетической установки. Для включения такого типа ВЭУ в состав рассматриваемой электростанции, для каждой ветроэнергетической установки необходим индивидуальный преобразователь, построенный по схеме выпрямитель-инвертор.

Также необходим индивидуальный инвертор для каждой ФЭУ, включаемой в состав автономной энергосистемы, и двунаправленный преобразователь постоянного напряжения в переменное напряжение для буферного накопителя электроэнергии, который в большинстве практических случаев выполняется на базе аккумуляторных батарей.

Исключить отмеченные недостатки позволяет вариант сопряжения, показанный на рис. 2. Несмотря на более сложную структуру энергетического комплекса, учитывая, что стоимость силовой электроники с каждым годом снижается, а ее удельная мощность растет [1], приведенный способ имеет большие преимущества по сравнению с рассмотренным выше. Здесь не требуется согласовывать режимы работы ВЭУ, ФЭУ и ДГ между собой, что позволяет управлять этими агрегатами исходя из требуемых критериев оптимальности. Система легко масштабируется. Достаточно просто решаются задачи электромагнитной совместимости. В данной схеме построения электростанции потребители запитаны от общего автономного инвертора, чем обеспечивается высокое качество отпускаемой электрической энергии. Значительно упрощаются схемы преобразователей для подключения ФЭУ и накопителя энергии, в состав

системы через управляемый выпрямитель могут быть подключены ВЭУ с переменной частотой вращения.

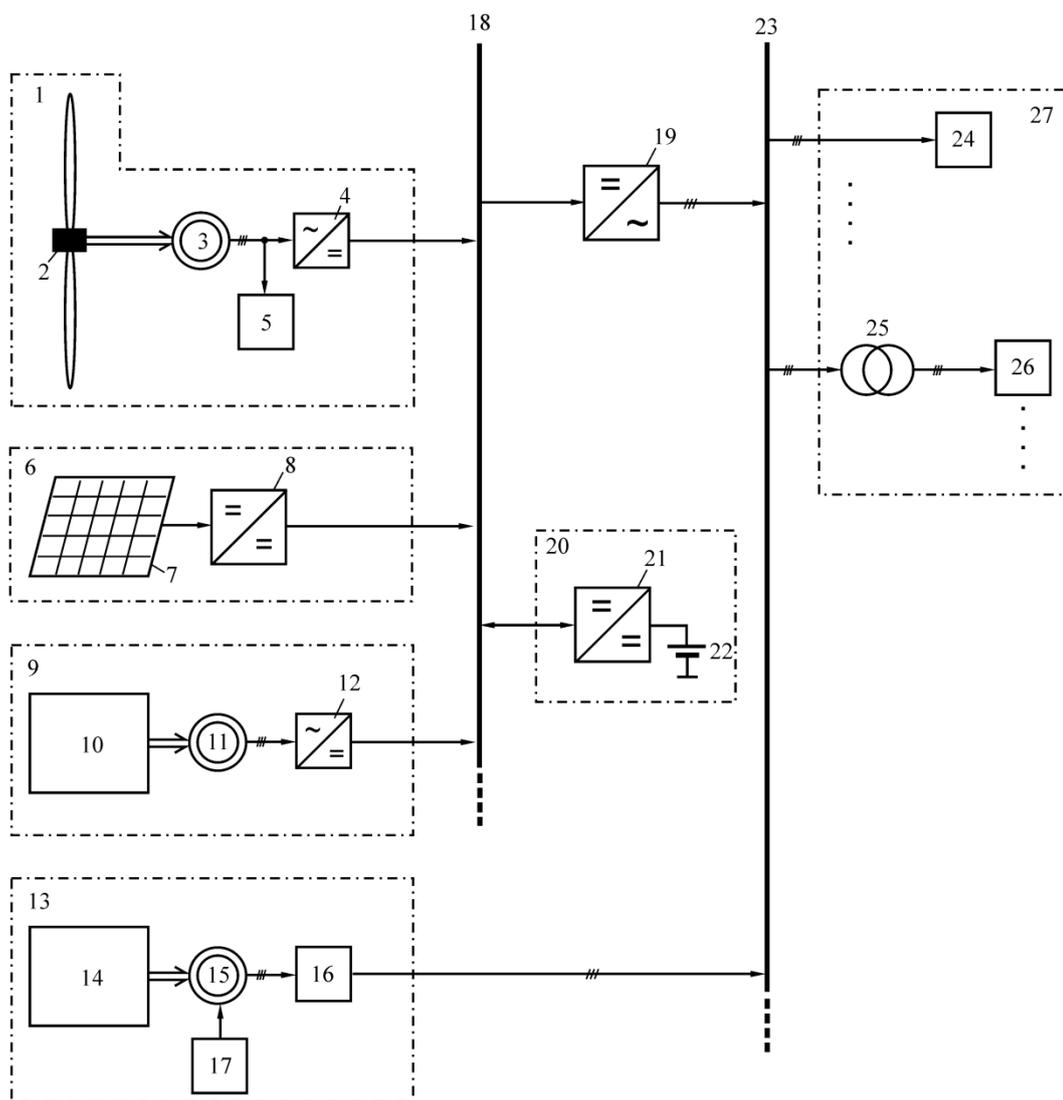


Рис. 2. Схема гибридной электростанции с подключением генерирующих установок к промежуточной шине постоянного тока (и при смешанном подключении)

1 – ветроэнергетическая установка; 2 – ветротурбина; 3, 11, 15 – синхронный электромашинный генератор; 4, 12 – управляемый выпрямитель; 5 – блок балластных нагрузок; 6 – фотоэнергетическая установка; 7 – солнечная панель; 8 – конвертор напряжения; 9, 13 – дизель-генератор; 10, 14 – дизельный двигатель; 16 – устройство плавного пуска; 17 – регулятор тока возбуждения; 18 – шина постоянного тока; 19 – инвертор напряжения; 20 – буферный накопитель электроэнергии; 21 – двунаправленный импульсный преобразователь; 22 – блок аккумуляторных батарей; 23 – шина переменного тока 220/380В 50 Гц; 24 – потребители электроэнергии; 25 – силовой повышающий трансформатор; 26 – потребители электроэнергии напряжением 6 или 10 кВ; 27 – объект децентрализованного электроснабжения

Кроме того схема станции со вставкой на постоянном токе позволяет использовать в своем составе перспективные ДЭС инверторного типа [2,3], обеспечивающие значительную экономию дорогостоящего дизельного топлива. В то же время, потери мощности связанные с двойным преобразованием электроэнергии силовыми конверторами и инверторами, учитывая высокий КПД

силовой электроники, будут незначительны. Данный вариант построения гибридных энергетических комплексов нашел большое распространение (особенно за рубежом) при малых и средних мощностях 1 - 100 кВт.

В последнее время появился ряд работ, где указывается возможность построения энергетического комплекса посредством вспомогательной шины, работающей на высокой частоте (единицы кГц) [4]. Следует отметить, что данный способ широко используется при создании сетей электроснабжения воздушных и космических летательных аппаратов. Он позволяет минимизировать количество реактивных элементов в системе и уменьшить их массогабаритные показатели и соответственно снизить стоимость. Вариант построения гибридной электростанции, основанный на данном способе сопряжения энергетических установок, показан на рис. 3.

Не смотря на отмеченные достоинства способа, учитывая геометрическую разобщенность отдельных агрегатов (ВЭУ, ФЭУ, ДГ и др.) применение такого подхода сталкивается с рядом проблем, связанных с потерями мощности во вспомогательной сети, электромагнитной совместимостью и др.

Проведенный сравнительный анализ схем построения автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики показал, что наиболее перспективным вариантом сопряжения разнотипных энергетических установок в одной энергетической системе является использование промежуточной вставки постоянного тока. Применение такого подхода имеет большие перспективы: гибридный энергетический комплекс строится по агрегатному принципу, легко масштабируется и при необходимости перестраивается. Данный подход позволяет унифицировать структуру и конструкцию электронных силовых преобразователей. Используя модульный принцип их построения, проще разработать линейку преобразователей на модельный ряд мощностей. Применение вставки постоянного тока позволяет более просто производить суммирование и распределение потоков энергии от генерирующих источников и реализовывать эффективные алгоритмы управления этим процессом.

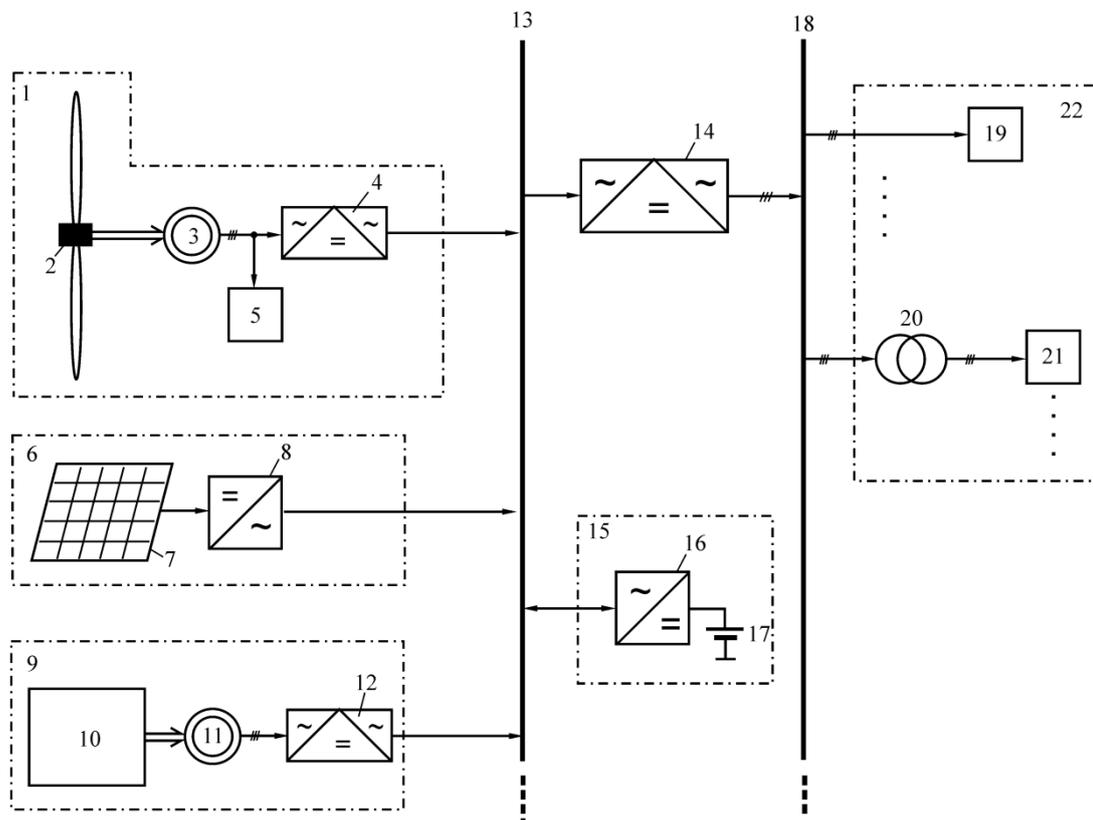


Рис.3. Схема гибридной электростанции с подключением генерирующих установок через высокочастотную шину переменного тока

1 – ветроэнергетическая установка; 2 – ветротурбина; 3, 11 – синхронный электромашинный генератор; 4, 12, 14 – статические преобразователи частоты; 5 – блок балластных нагрузок; 6 – фотоэнергетическая установка; 7 – солнечная панель; 8 – инвертор напряжения; 9 – дизель-генератор; 10 – дизельный двигатель; 13– шина переменного тока высокой частоты; 15 – буферный накопитель электроэнергии; 16– двунаправленный импульсный преобразователь; 17 – блок аккумуляторных батарей; 18– шина переменного тока 220/380 В 50 Гц; 19– потребители электроэнергии; 20 – силовой повышающий трансформатор; 21– потребители электроэнергии напряжением 6 или 10 кВ; 22 – объект децентрализованного электроснабжения

Структурная схема системы автономного электроснабжения со вставкой постоянного тока приведена на рис.4.

Система автономного электроснабжения состоит из отдельных генерирующих силовых агрегатов ($CA_1 \dots CA_n$). Количество силовых агрегатов в общем случае может быть произвольным. Каждый агрегат включает в себя энергетическую установку ($ЭУ_1 \dots ЭУ_n$), построенную на том или ином физическом принципе, и управляемый статический преобразователь ($Пр_1 \dots Пр_n$). В качестве энергетических установок могут использоваться: ВЭУ, солнечные модули, ДГ работающие как на постоянной частоте вращения вала дизельного двигателя, так и на переменной скорости. Управляемый преобразователь для каждого типа энергетической установки свой, например, для ВЭУ и ДГ – это

управляемый повышающий выпрямитель, а для фотоэлектрических модулей – управляемый конвертор.

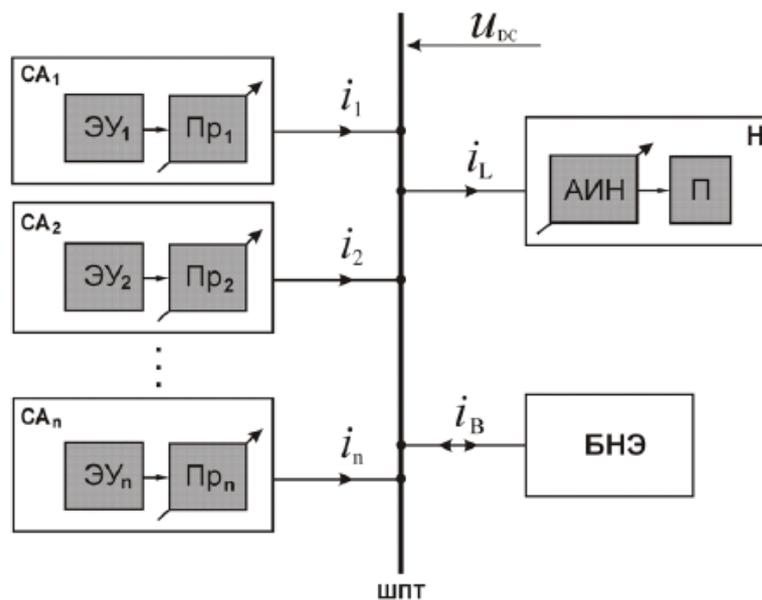


Рис.4. Структурная схема системы автономного электроснабжения со вставкой постоянного тока

Будем считать, что система управления каждого силового агрегата обеспечивает его подключение к общей шине постоянного тока (ШПТ), а также сочетает в себе функцию максимума отбора мощности. Нагрузка (Н) в данной системе представлена в виде потребителя (П), получающего электроэнергию с требуемыми параметрами через трехфазный управляемый автономный инвертор напряжения (АИН). Система управления инвертора должна обеспечивать необходимое качество электроэнергии, а также содержать элементы защиты от аварийных режимов работы. В общем случае количество блоков (Н) в системе может быть произвольным. Также могут быть потребители, непосредственно подключенные к вставке постоянного тока.

Все основные функции по распределению и управлению потоками энергии в рассматриваемой энергетической системе обеспечивает система буферного накопителя электроэнергии (БНЭ).

Система управления БНЭ должна обеспечивать отбор мощности в накопитель в моменты ее избытка и отдачу мощности при ее нехватке в системе, обеспечивая оптимальные режимы заряда/разряда первичных накопителей энергии (целесообразный тип первичных накопителей в данной статье не

рассматривается) и контроль их текущей емкости. Здесь система БНЭ выполняет не только роль накопителя как такового, но и обеспечивает управление потоками мощности в системе.

Важным достоинством предлагаемой схемы построения гибридной электростанции является то, что функциональные возможности системы буферного накопления энергии могут быть существенно расширены: при введении в систему управления входных сигналов о текущих скоростях ветра с ВЭУ и величине солнечной радиации с ФЭУ. Система управления БНЭ в этом случае обеспечивает выдачу выходных управляющих сигналов на преобразователи силовых агрегатов, обеспечивающие режим отбора максимальной мощности с установок возобновляемой энергетики. При использовании в составе энергетического комплекса ДЭС «инверторного» типа, система управления БНЭ обеспечивает выдачу управляющего сигнала на исполнительный механизм управления положением рейки топливного насоса, обеспечивая оптимизацию режимов работы ДГ по критерию минимума расхода топлива.

Данный набор функций может быть реализован путем установки в систему БНЭ соответствующих дополнительных модулей расширения (при наличии технической возможности управления выходной мощностью генерирующих силовых агрегатов).

За счет наличия дополнительных модулей система получает и обрабатывает информацию об условиях окружающей среды с метеорологического комплекса, рассчитывает в режиме реального времени оптимальные значения текущих нагрузок для каждого генерирующего силового агрегата исходя из принципа максимума отбора мощности, и вырабатывает управляющие воздействия для каждого преобразователя генерирующего источника.

Построенная по изложенным выше принципам схема автономной электростанции обладает следующими конкурентными преимуществами:

- возможность включения в состав системы любой автономной энергетической установки в независимости от установленного силового оборудования;

– возможность программной конфигурации системы накопления энергии под конкретный энергетический комплекс путем подключения к системе управления БНЭ персонального компьютера на момент выполнения данной операции;

– возможность управления перетоками энергии не только между «система–БНЭ», но и всеми энергетическими установками и нагрузкой (если позволяет установленное оборудование);

– эффективное использование потенциала установок возобновляемой энергетики путем установки дополнительных модулей для сбора информации об условиях окружающей среды и выработки управляющих воздействий для управления энергетическими установками комплекса.

Настоящие исследования проведены в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по направлению «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области создания эффективных накопителей электрической энергии для нужд централизованной и автономной энергетики».

Список литературы

1. Kazmierkowski M.P., Krishnan R., Blaabjerg F. Control in Power Electronics. Selected Problems. – Elsevier Science (USA), 2002. -518p.
2. Б.В.Лукутин, Г.Н.Климова, С.Г.Обухов, Е.А.Шутов, Н.М.Парников. Формирование энергоэффективных режимов дизельной электростанции инверторного типа // Известия вузов. Электромеханика, 2009, - № 6. - с. 80-82
3. Tolbert L.M., Peterson W.A., Scudiere M.B., White C.P., Theiss T.J., Andriulli J.B., Ayers C.W., Farquharson G., Ott G.W., Seiber L.E. Electronic Power Conversion System for an Advanced Mobile Generator Set // IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Chicago, Illinois, September 30 - October 4, 2001, pp. 1763-1768.
4. Ruiz A.G., Molinas M. Electrical Conversion System for Offshore Wind Turbines Based on High Frequency AC Link // Ecologic Vehicles and Renewable Energies International Conference EVER, Monaco, 26-29 March, 2009.