

Современные автономные системы энергоснабжения на базе ДВС-электростанций

В СООТВЕТСТВИИ С ПРОГРАММОЙ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ РАО «ЕЭС РОССИИ» (ПЕРВЫЙ ЭТАП – 2003-2005 ГГ.), УТВЕРЖДЕННОЙ ПРИКАЗОМ РАО «ЕЭС РОССИИ» №419 ОТ 14.08.2003, БЫЛИ НАЧАТЫ РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (МЭК) НА БАЗЕ ВЭС И ДВС-ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ



А. П. Ливинский,
к.т.н., зам.
управляющего
директора –
начальник
Департамента
управления
НПиРСК
БЕ «Сервис»
ОАО РАО «ЕЭС
России»;



И. Я. Редько,
д.т.н., проф.,
директор НПЦ
малой
энергетики,
res50@bk.ru;
В. П. Юньев,
зам. генераль-
ного директора
ОАО «Инженер-
ный центр
энергетики
Урала»

Под многофункциональностью следует понимать возможность такого комплекса производить из местных топливно-энергетических ресурсов моторные топлива (или генераторный газ), а из них – электрическую и тепловую энергию. МЭК представляет собой систему, состоящую из отдельных модулей, конструктивно и функционально совместимых между собой (Рис.1). Комбинации различных функционально и конструктивно согласуемых модулей позволяют получать различные по составу и мощности МЭК. Основные технологические модули могут быть подключены к внешним сетям и работать независимо. Такая идеология позволяет вводить МЭК в эксплуатацию поэтапно и гибко изменять схему работы.

Работа по созданию МЭК должна быть выполнена в три этапа:

Этап 1: Разработка и испытания экспериментального образца высокоэкономичной ДВС-электростанции.

Этап 2: Разработка, изготовление и испытание опытных образцов основных компонентов МЭК. Создание и испытание в полевых условиях опытного образца МЭК (совместно с существующей ветроэлектростанцией) в Республике Коми – ВЭС «Заполярная».

Этап 3: Создание, испытание и ввод в опытную эксплуатацию опытно-промышленного образца МЭК на территории Республики Саха (Якутия). Освоение серийного производства МЭК.

Целями первого этапа были разработка принципов построения и основных технических требований к многофункциональному энергетическому комплексу (МЭК), а также выбор и обоснование основных технических решений ДВС-электростанции, используемой в качестве основы МЭК.

В процессе реализации первого этапа (2003 – 2005 гг.) были выполнены следующие работы:

– разработаны принципы построения и основные технические требования к МЭК. При этом был проведен комплексный анализ данных по составу, номенклатуре и установленной мощности дизель-генераторных электростанций, эксплуатирующихся в изолированных энергорайонах РФ. Проведен анализ тенденций и направлений развития автономных систем энергоснабжения на базе ДВС-электростанций с учетом отечественного и зарубежного опыта. Определены базовые величины единичной установленной мощности ДВС-электростанций и других компонентов МЭК. Рассмотрены основные принципы совместной работы ДВС-электростанций и ветроэлектростанций, а также схема выработки и комплексной утилизации тепла в МЭК. Осуществлен тематический патентный поиск и отбор документов, относящихся к объекту исследований, с формированием патентно-информационной базы технических решений, подготовленных к последующему анализу. Проведены экспериментальные исследования режимов работы дизельного двигателя мощностью 1100 кВт и 100 кВт производства ОАО «Пензадизельмаш» и ОАО «Ярославский моторный завод» соответственно при изменении оборотов и мощности на валу двигателя;

– подготовлены технико-экономические расчеты различных вариантов силовых электрических схем ДВС-электростанции с учетом максимальной экономичности по топливу и минимального срока окупаемости. На основе проведенных расчетов произведен выбор варианта силовой схемы и состава высокоэкономичной ДВС-электростанции с преобразователем частоты. Выбранный вариант обеспечивает максимальную экономию топлива ДВС-электростанции и максимальный коэффициент использования ветроэлектростанции при отсутствии ограничений в соотношении мощностей ВЭС и ДВС-электростанций и минимальном сроке окупаемости;

Структурная схема МЭК

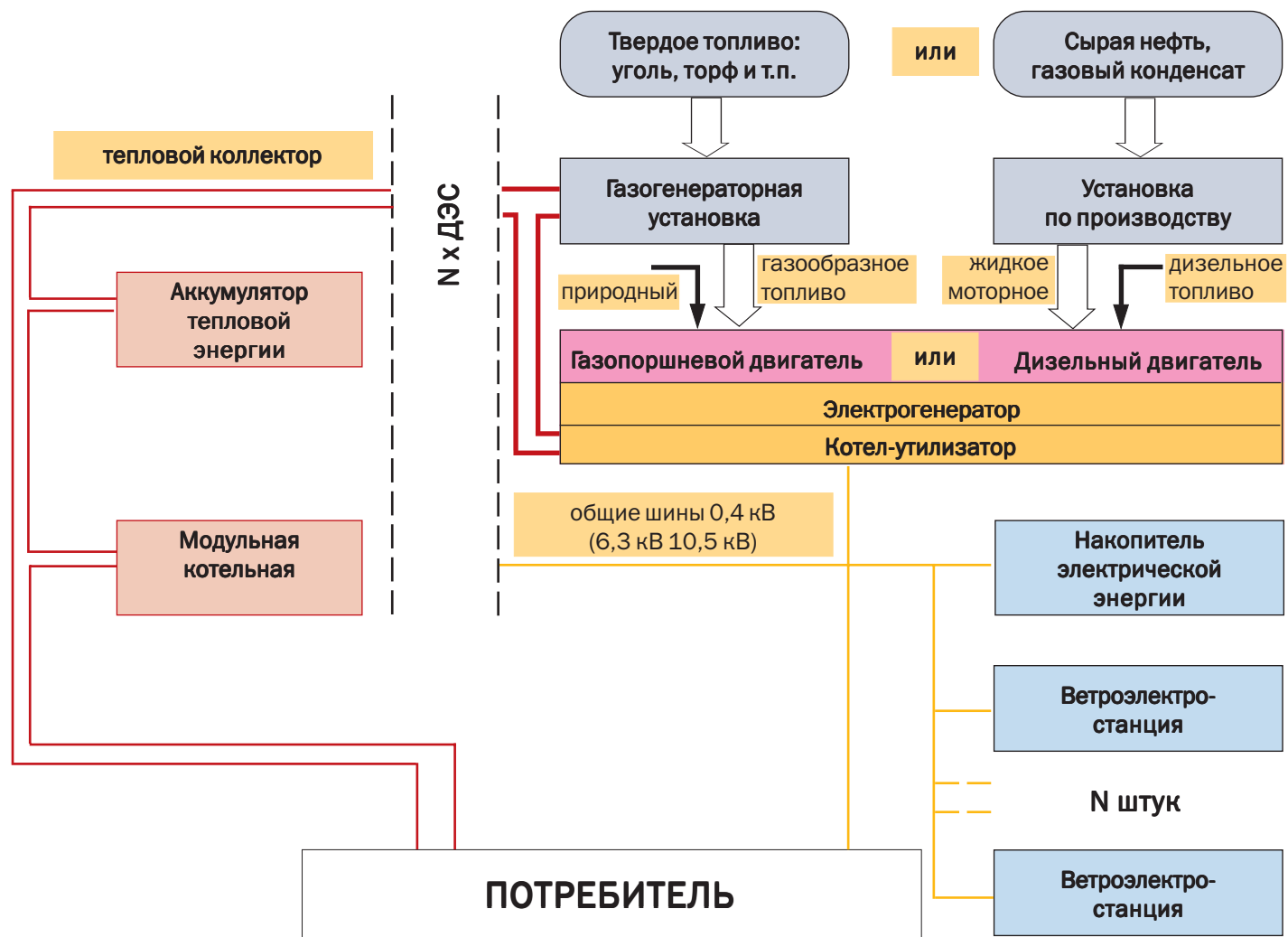


Рис.1

– проведено математическое моделирование режимов работы и процессов в высокоэкономичной ДВС-электростанции. Для этого были разработаны соответствующие математические модели ДВС-электростанции, проделаны расчеты и анализ энергетических процессов высокоэкономичной ДВС-электростанции в различных режимах работы. Расчеты и анализ показали работоспособность и эффективность выбранного варианта силовой схемы ДВС-электростанции и, в то же время, необходимость экспериментальной проверки ряда расчетов и положений;

– разработано техническое задание на электротехническую часть экспериментального образца высокоэкономичной

ДВС-электростанции мощностью 200 кВА с преобразователем частоты и на основные компоненты, входящие в ее состав. Разработана конструкторская документация, произведен выбор оборудования и компонентов, произведена комплектация и монтаж экспериментального образца, выполнены пусконаладочные работы;

– проведены стендовые испытания экспериментального образца электротехнической части высокоэкономичной ДВС-электростанции мощностью 200 кВА с преобразователем частоты. Результаты испытаний полностью подтвердили правильность концепции, заложенной при разработке и проектировании экспериментального образца, теоретичес-

кие положения и данные, полученные при математическом моделировании. Они доказали работоспособность и эффективность всех принятых технических решений, а также целесообразность продолжения работ и перехода к испытаниям в комплексе с ветроэлектростанцией и ДВС – электростанцией, т.е. перехода по второму этапу «Создание и испытание в полевых условиях опытного образца МЭК».

Комплекс должен управляться единой системой автоматического управления и регулирования. Ввиду того, что МЭК предназначен для использования в регионах, не имеющих централизованного энергообеспечения, т.е. в удаленных и труднодо-



тупных районах, где отсутствуют местные квалифицированные специалисты, степень автоматизации должна быть очень высокой и обеспечивать возможность обслуживания комплекса малообученным низкоквалифицированным персоналом. В связи с этим, требования к автоматизации и надежности работы МЭК весьма высоки.

Структурно система управления МЭК состоит из систем автоматического управления (САУ) отдельных модулей:

- модулей по производству моторного топлива (газа);
- системы подготовки топлива;
- дизель-генераторных или газопоршневых установок;
- преобразователя частоты;
- системы утилизации тепла МЭК;
- системы аккумулирования энергии;
- ветроэнергетических установок (ВЭУ);
- модульной котельной и т.д.,

являющихся системами управления нижнего уровня и системы управления верхнего уровня АСУ ТП МЭК.

Результаты первого этапа были рассмотрены и одобрены НТС РАО «ЕЭС России» в октябре 2005 г.

Таким образом, появилась возможность и необходимость перехода ко второму этапу создания МЭК «Создание и испытание в полевых условиях опытного образца МЭК (совместно с существующей ветроэлектростанцией). Разработка, изготовление опытных образцов основных компонентов МЭК». В рамках выполнения второго этапа в настоящее время развернуты подготовительные работы.

В соответствии с поручением Председателя Правления РАО «ЕЭС России»

А. Б. Чубайса от 13.03.06 г. № 20-2305 и решениями НТС РАО «ЕЭС России» от 31.04.06 г. были разработаны предложения по реализации второго этапа Проекта МЭК.

Схематично разработанные предложения можно представить в виде трех крупных блоков:

- 1) разработка организационной схемы управления Проектом;
- 2) разработка первоочередных мероприятий по реализации Проекта;
- 3) разработка схемы финансирования Проекта.

Организационной схемой управления Проектом является консорциум. Предполагается, что ядро консорциума составят заинтересованные организации, государственные органы и структуры. С целью повышения эффективности и ускорения работ по реализации Проекта на первом этапе становления консорциума предлагается ввести в его состав организации, которые готовы в настоящее время финансировать Проект. Такими организациями являются Правительство Республики Саха (Якутия); ОАО «Якутск-энерго» или «Сахаэнерго»; «Комиэнерго»; ОАО «Электроагрегат» г. Курск; НПЦ малой энергетики.

В настоящее время совместно с Немецким энергетическим агентством выполнен предпроектный этап работ строительства ВЭС мощностью 3 МВт в п. Тикси. Выбрана площадка для размещения ВЭС на основе анализа картографического материала, метеорологических и климатических данных, сравнения альтернативных площадок, анализа инфраструктуры, условий строительства и графиков нагрузок.

По предложению ОАО АК «Якутскэнерго» в Инвестиционную программу Холдинга на 2006-2010 гг. включен «пилотный» проект МЭК.

В соответствии с графиком выполнения работ по созданию МЭК в ближайшие два года планируется реализовать следующий объем работ:

1. Анализ результатов и разработку предложений по реализации второго этапа создания МЭК:

- анализ основных результатов первого этапа Проекта МЭК и формирование предложений по использованию разработанного ОАО «Инженерный центр энергетики Урала» электрооборудования с учетом разработок ОАО «Электроагрегат» г. Курск при реализации второго Проекта;
- анализ результатов экспериментальных исследований режимов работы семейства двигателей производства ОАО «Ярославский моторный завод»;
- расчет массогабаритных показателей и КПД генераторов мощностью 200 кВт для различных диапазонов изменения частоты вращения.

2. Разработка организационной схемы управления Проектом:

- создание консорциума;
- выбор лидера консорциума для управления проектом МЭК на основе многостороннего Соглашения между участниками Консорциума;

3. Разработка схемы финансирования Проекта.

4. Предпроектное обследование и разработка технических заданий (ТЗ) на разработку технической документации.

5. Разработка технической документации.

6. Приобретение оборудования, комплектация МЭК и испытательного комплекса.

7. Изготовление и сборка модулей опытного образца МЭК.

8. Заводские испытания оборудования опытного образца МЭК.

9. Подготовка и транспортировка оборудования, имущества и материалов для полевых испытаний опытного образца МЭК на площадку ВЭС «Заполярная».

10. Подготовка к испытаниям МЭК на территории ВЭС «Заполярная».

11. Испытания опытного образца МЭК на территории ВЭС «Заполярная».

ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

А. П. Ливинский, к.т.н., зам. управляющего директора, начальник Департамента управления НПЦСК (БЕ «Сервис»);

И. Я. Редько, д.т.н., профессор, директор НПЦ малой энергетики

Анализ существующих конструктивно-компоновочных схем автономных систем энергоснабжения (АСЭС) показал, что они практически исчерпали свои возможности дальнейшего существенного повышения технико-экономических показателей. И повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов АСЭС в рамках традиционной компоновочной схемы путем улучшения использования структуры и совершенствования производственного оборудования становится все более затруднительным.

На основе анализа проблем, стоящих перед малой и нетрадиционной энергетикой, нами были сформулированы основные технические требования к автономным системам энергоснабжения: многофункциональность; комбинирование состава источников энергии (гибридные энергоустановки); модульная компоновка на основе типизации и конструктивной унификации; многотопливность; утилизация сбросного тепла; автономная работа энергетических модулей; согласованность характеристик энергетических модулей, в т. ч. ДВС, генератора и потребителя нагрузок; возможность совместной работы ДВС-электростанции с нетрадиционными источниками энергии (гибридная электростанция), а также с энергосистемой; обеспечение высокого качества электрической и тепловой энергии независимо от колебаний нагрузки и потенциала возобновляемых видов энергии; надежность, ресурс и эффективность функционирования АСЭС; конструктивная и технологическая преемственность с изделиями завода и отрасли; унификация агрегатов, узлов и деталей в пределах завода и отрасли; обеспечение безопасности и удобства работы оператора ДВС-электростанции; типизация и унификация парка ДВС – электростанций, энергетического оборудования и комплектующих, топлив и моторных масел; топливная экономичность; приспособленность к климатическим (зональным) условиям; защита окружающей среды при использовании энергетического оборудования; ремонтно-пригодность; транспортабельность; высокий уровень автоматизации и диспетчеризации; демпфирование колебаний нагрузки со стороны потребителя на коленвал ДВС.

Для полной реализации указанных требований нами предлагается АСЭС, в составе которого находится многофункциональный энерготехнологический комплекс на базе гибридных энергоустановок модульного типа (МЭК). Он может и должен явиться основой автономного энергоснабжения потребителей, прежде всего, районов Севера, Сибири и Дальнего Востока.

В качестве базы МЭК на первом этапе предлагается многотопливный дизель-генераторный агрегат, работающий совместно с ВЭС.

Первичный двигатель является основным энергетическим модулем ДВС-электростанции. От его свойств и характеристик зависят надежность и долговечность, качество электрической энергии и стабильность ее параметров в статическом и динамическом режимах и т. д.

В настоящее время работа ДВС-электростанций протекает в условиях несогласованного изменения мощности потребителя с частотой вращения двигателя. Нагрузка на генераторе вообще может отсутствовать или изменяться от любого частичного до максимального значения. При этом показатели работы двигателя (мощность, частота вращения, часовой и удельный расход топлива, крутящий момент или среднее эффективное давление), как правило, не являются оптимальными. Это обусловлено несовершенством общих конструктивно-компоновочных решений ДВС-электростанций.

Диапазон изменений каждого параметра двигателя ограничивается его прочностными, тепловыми и газодинамическими возможностями. Например, частота вращения двигателя может изменяться в

ограниченных пределах. Ряд факторов не позволяет превышать заданной максимальной угловой скорости коленчатого вала, так как это влечет за собой превышение допустимых значений сил инерции в деталях двигателя с точки их прочности, приводит к ухудшению качества протекания рабочих процессов в цилиндре двигателей, увеличивает термическое перенапряжение деталей двигателя и т. п.

В некоторых случаях двигателю приходится работать при самой малой частоте вращения вала (например, при отсутствии или минимальной нагрузке). При этом скоростной режим должен быть таким, чтобы дизель работал устойчиво (без пропусков и перебоев) в режиме минимума удельного расхода топлива.

Следует отметить, что скоростные режимы ДВС-электростанций ограничены не только верхними и нижними пределами по частоте вращения вала дизеля, но и соответственно пределами по частоте вращения генератора.

Использование разработанных БЕ «Сервис», НПЦ малой энергетики, ОАО «Электроагрегат» г. Курск, ОАО ВНИИЭ и ОАО «Инженерный центр энергетики Урала» всережимного генератора, преобразователя частоты и САУ в составе ДВС-электростанции, позволит наделить ее новыми положительными свойствами: снятие требования на соответствие частоты вращения двигателя синхронной частоте вращения генератора; простота и надежность обеспечения параллельной работы ДВС-электростанции с энергосистемой и нетрадиционными источниками энергии; энергетическая эффективность и топливная экономичность ДВС-электростанции за счет перехода двигателя на частичные скоростные характеристики при нагрузках потребителя отличных от номинальной; повышение ресурса двигателя за счет снижения его оборотов; обеспечение автономности энергетических модулей при работе их в составе АСЭС или МЭК.

Снятие требования на соответствие частоты вращения двигателя синхронной частоте вращения генератора позволит считать, что проблемы разработки и организации производства специальных двигателей, предназначенных для комплектации ДВС-электростанций, в настоящее время не являются актуальными. Способность всережимного генератора работать в широком диапазоне изменения частоты вращения открывает перспективы в широкомасштабном использовании автотракторных двигателей в ДВС-электростанциях. Действительно, до настоящего времени поршневые двигатели приспособлялись к особенностям работы ДВС-электростанций. Следует сказать, это получалось не самым лучшим образом. Суть этих приспособлений в основном сводилась к следующим мероприятиям:

- дефорсирование двигателя до синхронных оборотов генератора в случае, когда ДВС является высокооборотным;
- согласование частоты вращения двигателя и генератора путем установки редуктора;
- стабилизация скоростного режима ДВС для поддержания промышленной частоты на выходе генератора с помощью регулятора оборотов двигателя.

Для выявления зависимости основных показателей от частоты вращения двигателя необходимо снять и проанализировать его скоростные характеристики. Результаты этого анализа являются основой не только для согласования характеристик ДВС, генератора и потребителя, но и для обоснования диапазона регулирования частоты вращения дизеля.

Согласование и параллельная работа ДВС-электростанции с энергосистемой или нетрадиционными источниками энергии, регулирование величины и частоты напряжения на нагрузке и обеспечение

заданного режима осуществляется за счет использования всережимного генератора и преобразователей частоты.

Работа ветроэлектростанции (ВЭС) в составе АСЭС оказывает влияние на:

- качество электроэнергии в автономной системе, регламентируемое соответствующими нормами и директивами;
- загрузку сетей, ограниченную техническими пределами;
- нагрузку при коротком замыкании (КЗ);
- баланс мощности и энергии в АСЭС.

Как известно, ветроустановки – это резкопеременные неуравновешенные источники электроэнергии, поэтому необходимо оценить влияние ВЭС на устойчивость и надежность работы АСЭС. Для решения поставленной задачи необходимо разработать математическую модель АСЭС, в составе которой находится ВЭС.

Расчеты на математической модели позволят оценить устойчивость АСЭС, колебания напряжения, фликер в сети, определить перетоки мощности в сети, прилегающей к ВЭС, определить оптимальную совместную работу ВЭС с АСЭС, потери электроэнергии и уровень напряжений.

Одна из составляющих энергетической эффективности и топливной экономичности ДВС-электростанции является переход двигателя на частичные скоростные характеристики при нагрузках потребителя, отличных от номинальной. Определены три основных источника эффективности ДВС-электростанции:

– Снижение коэффициента запаса мощности ДВС до минимума (еще на стадии проектирования и изготовления ДВС-электростанции при выборе параметров ДВС заложен коэффициент запаса мощности по отношению к мощности генератора на 20% и более в зависимости от завода-изготовителя и мощности электростанции).

– Согласование характеристик двигателя и генератора с текущим графиком нагрузки. Энергетическая эффективность и топливная экономичность ДВС-электростанции тем выше, чем больше коэффициент неравномерности графика нагрузки. Этот коэффициент, прежде всего, зависит от времени суток и месяца года. В целом резервы энергетической эффективности можно оценить с помощью коэффициента годовой нагрузки. Действительно, при уменьшении нагрузки двигателя его механический КПД ухудшается, так как абсолютная величина большинства механических потерь не зависит от нагрузки. При отсутствии нагрузки механический КПД равен нулю, так как вся индикаторная мощность двигателя расходуется на преодоление его потерь. Механический КПД отражает соотношение между индикаторной и эффективной мощностью двигателя. И это соотношение будет значительно улучшаться при снижении частоты вращения двигателя, так как механические потери уменьшаются пропорционально квадрату частоты вращения.

– Повышение коэффициента загрузки ДВС-электростанции. Оптимальное значение загрузки двигателя электростанции в эксплуатационных условиях, обеспечивающее наибольшую топливную экономичность, зависит от коэффициента неравномерности нагрузки потребителя и запаса крутящего момента двигателя.

Повышение ресурса двигателя за счет снижения его оборотов. Уменьшение средней эксплуатационной частоты вращения ДВС, например, на 10 - 15 % приведет к уменьшению износа и увеличению ресурса на 25 – 30 %.

Обеспечение автономности энергетических модулей при работе их в составе АСЭС или МЭК. Использование всережимного генератора и преобразователя частоты в составе АСЭС или МЭК дает возможность решить не только проблему нарушения синхронной работы ВЭС с ДВС-электростанцией, но проблему соотношения мощностей ВЭС и АСЭС (для сетевых ВЭС в случае применения асинхронных генераторов это соотношение не должно быть меньше 1:10). Другими словами, работа такой гибридной системы возможна при любом соотношении этих мощностей, в том

числе тогда, когда одна из электростанций не функционирует. Если уровень ветропотенциала низкий, то ВЭС не работает, функционирует ДЭС. И наоборот: ВЭС осуществляет выработку электрической энергии в номинальном режиме, а ДВС-электростанция стоит.

Исходя из того, что технические решения, заложенные в конструкцию ДВС-электростанции, практически исчерпали возможности дальнейшего повышения ее энергетической эффективности, решение проблем в области малой энергетики необходимо перенести с традиционной компоновки АСЭС (основа: дизель-генератор) на **модульную гибридную** (комбинированную) **многофункциональную и многотопливную концепцию развития автономных систем энергоснабжения с широкомасштабным использованием автотракторных двигателей**.

Суть этой Концепции:

1. Широкомасштабное использование современных автотракторных двигателей без дополнительных конструктивных изменений для комплектации АСЭС и ДВС-электростанций.
2. Модульный принцип построения.
3. Многофункциональность, многотопливность, утилизация сбросного тепла, автономность работы энергетических модулей и аккумулирование энергии.
4. Комбинирование состава различных видов источников возобновляемой энергии. (Гибридные энергоустановки: ДЭС, ВЭС, малые ГЭС, ПЭС и т. п.).
5. Согласование характеристик (мощностных, скоростных и др.) модулей АСЭС, в т. ч. ДВС-электростанции и ВЭС за счет использования всережимного генератора и преобразователей частоты.

Теоретические и экспериментальные исследования энергетических процессов модулей убедительно показали, что совокупность разработанных нами технических средств (всережимный генератор, преобразователь частоты и система автоматического управления МЭК) в составе МЭК позволит создать условия для широкого и повсеместного применения серийно выпускаемых и конструктивно отработанных отечественных автотракторных двигателей в составе АСЭС, в т. ч. МЭК без дополнительных изменений и перерегулировок оборудования. А это значит, что многолетние научно-технические дискуссии о создании специального двигателя для условий работы ДВС-электростанции на сегодняшний день потеряли актуальность и значимость. С учетом этих результатов нами в настоящее время осуществляется оценка масштабов и эффективности внедрения МЭК в удаленных регионах России.

Следует отметить, что привлекательность новой Концепции заключается не только в повсеместном внедрении АСЭС или МЭК с новыми конструктивно-компоновочными решениями, но и в дооборудовании уже действующих ДВС-электростанций всережимными генераторами, ПЧ и САУ с целью повышения технико-экономической эффективности путем согласования энергетических характеристик двигателей, генераторов и нагрузок потребителей на различных скоростных и силовых режимах модулей.

Необходимо обратить внимание на то, что для решения проблем в соответствии с новой Концепцией развития АСЭС потребуются серьезные научные исследования с привлечением ЭВМ. На первом этапе следует разработать единую методологическую основу для комплексной оценки энергетической эффективности АСЭС. Имеющиеся научные разработки в данной области в основном посвящены решению частных задач повышения энергоэффективности применительно к отдельным ДВС-электростанциям и частным режимам их работы.

Научной базой применения концептуальных, технологических и конструктивно-компоновочных решений для всех этапов создания АСЭС может явиться разрабатываемая нами теория общих конструктивно-компоновочных решений автономных систем энергоснабжения.