

УДК 621.22

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В статье представлены основные положения концепции создания многофункционального энерготехнологического комплекса (МЭК) с применением возобновляемого топлива в условиях ограниченного количества углеводородного топлива и проблем его доставки. Обоснована актуальность и предложен алгоритм разработки высокотехнологичного эффективного типового МЭК с использованием возобновляемого топлива. Предлагаемое решение расширит возможности развития распределенной энергетики, комплексных интегрированных систем энергоснабжения (КИСЭ) для различных объектов промышленного и гражданского назначения, прежде всего расположенных в труднодоступных и удаленных районах Крайнего Севера и Арктической зоны России, будет способствовать росту объемов производства, созданию новых высокотехнологичных рабочих мест, позволит хеджировать риски возникновения локальных экологических проблем.

АВТОРЫ:

Редько И.Я., д. т. н.,
Национальный союз
энергосбережения

Разуваев А.В., д. т. н.,
БИТИ НИЯУ МИФИ

Ключевые слова:

#комплексные интегрированные системы энергоснабжения;
#автономные системы энергоснабжения;
#многофункциональный энерготехнологический комплекс;
#возобновляемое топливо; #концепция создания МЭК;
#основы концепции МЭК; #паропоршневые машины; #биотопливо; #ВИЭ.



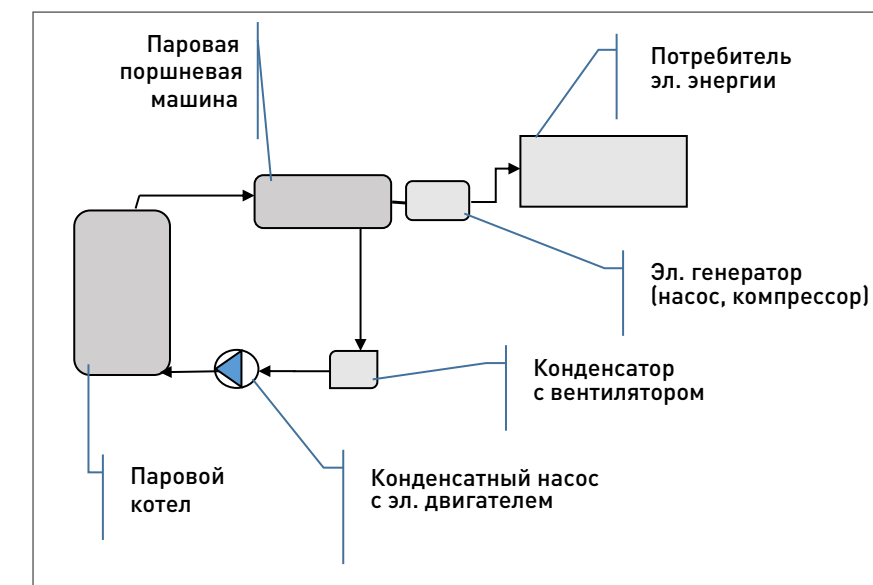
Мировая энергетика претерпевает коренные изменения, в результате которых создается новая архитектура энергетических систем. В выступлении на заседании Генеральной Ассамблеи ООН 22 сентября 2020 года Президент России В.В. Путин представил идею нового качественного роста, заложенную в российскую инициативу по формированию Большого Евразийского партнерства с участием всех без исключения стран Азии и Европы. Важной составляющей реализации российской инициативы является интеграция комплексных интегрированных систем энергоснабжения («интеграция интеграций»), происходящая в условиях идущей в мире трансформации энергетических систем [1].

Первым шагом в этом направлении, обеспечивающим мощный импульс развитию электроэнергетического комплекса Российской Федерации и повышение конкурентоспособности ее экономики, станет формирование объединения действующих в области энергетики специализированных организаций, нацеленных на разработку и построение КИСЭ, внедрение инновационных технологий и повышение эффективности реализуемых проектов.

Такое объединение научных, интеллектуальных, технологических, производственных, управленческих и финансовых ресурсов топливно-энергетического комплекса (ТЭК), оборонно-промышленного комплекса (ОПК), машиностроительного комплекса, космических технологий [2], отраслей транспорта и агропромышленного комплекса (АПК) Российской Федерации и заинтересованных дружественных стран сформирует предпосылки и условия для разработки и внедрения КИСЭ, позволит на основе применения методов анализа и синтеза энергетических подсистем электротехнических комплексов повысить эффективность, надежность

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА МЭК

Рис. 1



и безопасность функционирования отечественных систем энергоснабжения, создать условия для обоснованного выбора архитектуры и принципов управления будущей интегрированной системой энергоснабжения, прежде всего для труднодоступных и удаленных районов Крайнего Севера и Арктической зоны России.

Совместная деятельность потенциальных участников предложенного объединения, нацеленная на производственно-технологические потребности российского рынка и электросетевого комплекса ПАО «Россети» в частности, рынков дружественных стран, будет строиться в следующих основных направлениях:

1. Разработка комплексных инфраструктурных проектов.
2. Разработка и внедрение КИСЭ с учетом возможностей 3Д распределенной энергетики, использующей:

– МЭК гибридной генерации на базе многотопливных, в том числе паропоршневых электростанций;

– мобильный многотопливный МЭК [3], прежде всего на зеленом моторном топливе (водород, биоэтанол и др.).

Предлагаемый к внедрению и масштабированию МЭК на базе паропоршневой машины (ППМ) представляет собой комплементарный комплекс оборудования для выработки электрической энергии в составе: работающий от ППМ генератор (рабочее тело для ППМ — вырабатываемый паровым котлом пар), конденсатор для отработанного пара после ППМ либо теплообменник для отбора теплоты от того же пара (для отопления или горячего водоснабжения), система управления и защиты, трубопроводы и арматура, система подачи (хранения) топлива.

Принципиальная схема МЭК представлена на рисунке 1.

Оценочные расчеты параметров функционирования предлагаемой ППМ, вырабатывающей эффективную электрическую мощность 150 кВт, показывают следующее:

- наиболее целесообразной представляется горизонтальная компоновка машины, двухцилиндровая — компанд с двойным расширением. Диаметр цилиндра высокого давления — 310 мм, диаметр цилиндра низкого давления — 460 мм, давление пара, необходимое для ее работы, — 1,2 МПа (12 кг/см²) с температурой 573 К (300 °С), его расход — 1887 кг/час. Число оборотов — 2,66 с⁻¹ (160 об/мин);
 - ППМ через механическую трансмиссию вращает генератор для выработки электрического тока. По каталогу подобран генератор БГ-160 М-4 Баранчинского электромеханического завода с техническими характеристиками: номинальная мощность — 160 кВт; номинальная частота вращения ротора — 25 с⁻¹ (1500 об/мин); ток статора — 289 А; КПД — 91,6%. Передаточное число трансмиссии — 9,4;
 - согласно предварительной конструкторской проработке ППМ, ее габариты — 4500 × 4200 × 1000 мм. Дополнительное необходимое энергетическое оборудование и комплектующие подбираются из серийно выпускаемых промышленности;
 - эксперты машиностроительного завода в области конструирования и технологии производства составили перечень узлов и деталей ППМ с генератором и сопоставили его с комплектацией ДГ.
- На основании этого перечня оценили сложность конструкции и трудоемкость изготовления узлов и деталей, сравнили параметры работы этих установок. Сопоставимый анализ определенной экспертным путем стоимости ППМ и стоимости типового дизель-генератора (ДГ) такой же мощности выявил следующее:
- стоимость ППМ с генератором составляет ~ 50% стоимости такой же мощности ДГ с генератором;
 - конструктивное исполнение ППМ значительно проще ДГ, что удешевляет ее производство и позволяет вести эксплуатацию без привлечения высококвалифицированного обслуживающего персонала.
- Известно, что более 70% территории России — удаленные и труднодоступные регионы, для которых распределенная энергетика по значимости не уступает большой. В этих зонах действуют ключевые объекты добывающих и сырьевых отраслей, проживает около 20 млн граждан. По мере дальнейшего освоения этих территорий роль автономного энергообеспечения и распределенной энергетика там будет возрастать.
- Цели и задачи, на достижение которых направлена концепция создания МЭК:
- обоснование актуальности и эффективности, перспектив масштабного применения многофункциональных автономных систем энергоснабжения (АСЭС) модульного построения на базе многотопливности. Для создания МЭК предлагается использовать локальные установки электрогенерации и теплогенерации на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), энергии солнца, ветра, водорода, местных энергоресурсов, сбросового тепла и т.д.;
 - формирование контуров типового проекта МЭК, отвечающего современным техническим требованиям, предъявляемым к АСЭС;
 - унификация технических параметров и характеристик энергетических модулей, входящих в состав МЭК, в том числе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и паропоршневых машин, силовых генераторов, ВИЭ, других модулей и оборудования потребителя на грузок;
 - разработка автоматизированных систем управления (АСУ), обеспе-

чивающих высокую надежность работы АСЭС энергоснабжения потребителей, как правило, находящихся в экстремальных природно-климатических и сложных ландшафтных условиях;

- разработка нормативно-технической базы для интеграции АСЭС с МЭК в распределительные сети, в том числе ПАО «Россети».

Широко применяемые в настоящее время технико-технологические решения, заложенные в конструкцию ДВС-электростанций, являющихся основой современной распределенной энергетика, несмотря на их постоянную модернизацию, исчерпали возможности для значительного повышения энергетической и экономической эффективности. Альтернативой технологическим решениям предыдущего поколения могут стать АСЭС на базе МЭК, позволяющие перейти на новую конструктивно-компоновочную схему с многоканальным распределением энергетических потоков различной физической природы.

МЭК в составе АСЭС может стать основой для включения в нее широкого спектра энергетических установок, предназначенных для производства электрической и тепловой энергии, что обеспечит оптимизацию режимов ее работы, устойчивость и надежность электроснабжения. Такая интеграция с МЭК должна выполняться в соответствии с мощностным рядом серийно выпускаемых энергоустановок, согласованными (унифицированными) техническими характеристиками и предварительно разработанным технико-экономическим обоснованием. Комплекс должен управляться единой системой автоматического управления, регулирования и диспетчеризации (АСУ ТП), обеспечивающей бесперебойность энергоснабжения потребителей.

Ввиду того, что МЭК на базе ППМ планируется к использованию прежде всего в регионах, не имеющих центра-

лизованного энергоснабжения, т.е. в удаленных и труднодоступных районах, где отсутствуют местные квалифицированные специалисты, степень автоматизации должна быть высокой, чтобы обеспечивать возможность обслуживания комплекса без длительной специальной подготовки персонала. Специфика объекта управления требует повышенного уровня нормативных требований к АСУ ТП для обеспечения безотказного выполнения требуемых функций в заданных режимах и условиях эксплуатации, долговечности конструкции или повышенной его ремонтпригодности на принципах блочно-модульного построения.

Комбинации различных функционально и конструктивно согласуемых модулей позволяют получать различные по составу и мощности МЭК. Основные энерготехнологические модули могут быть подключены к внешним сетям и работать независимо. Такая идеология позволяет вводить МЭК в эксплуатацию поэтапно и гибко изменять схему работы.

Энергетические и технологические схемы всех видов МЭК гибридной генерации, специализирующихся на производстве электроэнергии и тепла, могут быть описаны на основе таких общих зависимостей, которые позволят разработать математическую модель типового МЭК. Эта модель в зависимости от внешних условий будет определять тип МЭК, использующего все многообразие местных энергетических ресурсов.

Одним из важнейших секторов современной экономики является энергетика. Анализ мировых тенденций показывает, что глобальное освоение природных ресурсов имеет следствием не менее глобальные проблемы отрицательного техногенного воздействия на природу планеты. Экологические проблемы требуют перехода на более экологически чистые виды топлива, к щадящему использованию

биологических ресурсов, применению комплексных безотходных технологий, минимизирующих или вообще исключающих экологический вред. Нарастание данной тенденции значительно повышает актуальность разработки концепции создания МЭК на базе ППМ, нацеленной в том числе на использование экологической эффективности инновационных технологий глубокой переработки возобновляемых биоресурсов без образования отходов или с минимальными их величинами [4]. Данный подход позволяет решить широкий круг задач — от энергообеспеченности самих МЭК до получения с их использованием значительного народно-хозяйственного экономического и экологического эффектов.

В этом контексте возобновляемые источники энергии и биотопливо в частности становятся дополнительными факторами развития сельского хозяйства и экономического роста в целом. В структуре ВИЭ биотопливо имеет особое кросс-отраслевое значение, поскольку связано не только с энергетическим и сельскохозяйственным секторами, но и с машиностроением и химической промышленностью. В последние годы отмечается динамичный рост рынка биотехнологической продукции. В США, Бразилии, Аргентине и группе стран ЕС уже приняты меры по регулированию различных видов жидкого биотоплива. 64 страны имеют собственные биотопливные программы (или они находятся в разработке), либо производители имеют мандаты на долю биотоплива в конечной топливной смеси. В продуктовой линейке биотоплива особое место занимают жидкие виды, ключевым из которых является этанол. Основные его производители — США, Бразилия, Евросоюз (Германия, Франция), Китай, Индия. С учетом собственных потребностей в энергообеспечении промышленных и гражданских анклавов, расположенных в труднодоступных и удаленных районах, места Российской Федерации

в БРИКС и мировом разделении труда, особую актуальность приобретает вопрос о расширении производства биотоплива и выработки энергии из него в нашей стране, о наращивании присутствия России на мировом рынке этого продукта.

Разработка и принятие национальной стратегии и нормативной правовой базы по регулированию оборота биотоплива в стране создадут предпосылки для ускоренного развития новой отрасли и, как следствие, дополнительного роста ВВП.

Основная идея, положенная в основу разрабатываемой концепции создания МЭК, базируется на создании нового экологически чистого энергетического сектора экономики, функционирующего за счет использования возобновляемых источников энергии, что в сочетании с разрабатываемыми и доступными инновационными технологиями преобразования энергии открывает широкие возможности для создания новых и модернизации действующих высокоэффективных машин и агрегатов для народного хозяйства.

Модель реализации концепции создания МЭК предусматривает системный кросс-отраслевой подход, заключающийся в формировании производственных кластеров современного типа на базе высокотехнологичных предприятий с использованием новейших технологий в секторах экономики:

- энергетика — создание «экологически чистых», стационарных и мобильных энергокомплексов, работающих на ВИЭ;
- биотехнологии — разработка и производство ВИЭ из возобновляемого растительного и животного сырья;
- машиностроение — производство энергогенерирующих комплексов и электрических машин для комплектации МЭК;

- сельское хозяйство — переход на новый уровень энергоснабжения инфраструктуры эксплуатации вновь вводимых в сельхозоборот земель, энергооснащение сельхоз-техники и объектов обслуживающей ее инфраструктуры;
- лесное хозяйство, добывающие отрасли — переход на новый уровень энергоснабжения с использованием МЭК удаленных автономных промышленных объектов;
- экология и природоохрана — обеспечение электро- и тепло-энергией удаленных от освоенной части материка территорий и арктической зоны с минимальными показателями техногенного загрязнения. Создание «карбоновых ферм» («карбоновых полигонов»), активно противодействующих техногенным выбросам (улавливание и консервация углекислого газа).

Важную роль в процессе перехода к широкому использованию МЭК приобретают разработки, направленные на создание конкретных механизмов эффективного преобразования различных типов ВИЭ в электрическую и тепловую энергию. Одной из таких инновационных, высокоэффективных отечественных разработок может стать линейка ППМ, способных работать с использованием возобновляемого топлива в виде дров и биотоплива, получаемого от быстрорастущих возобновляемых растений многоцелевого использования. К наиболее перспективным среди них, по оценке специалистов многих стран, относятся малораспространенная пока в нашей стране культура топинамбура, или земляная груша (*Helianthus tuberosus* L.). Эффективность производства этанола с использованием цельной растительной биомассы топинамбура составляет 80–95%. Себестоимость 1 л биоэтанола из топинамбура в 1,5÷3,0 раза ниже, чем из картофеля или зерна. [5]. Энергоустановку с возможностью производства электроэнергии от МЭК предполагается разместить в отдельно-

стоящем специальном здании на месте эксплуатации оборудования.

Создание и масштабирование МЭК позволит достичь мультипликативного и синергетического эффектов в названных выше отраслях, что в свою очередь придаст импульс развитию смежных секторов и экономики в целом, обеспечит создание новых высокотехнологичных рабочих мест, новых учебных программ для организаций высшего и среднего образования.

Решение задачи создания МЭК требует объединения значительного количества независимых специализированных юридических лиц и высокого уровня координации управления соответствующими их кластерами. Основным принципом формирования такого объединения может стать консорциальное соглашение, в рамках которого: научно-технический кластер обеспечивает выполнение НИОКР, разработку новой техники, оборудования, комплектующих; технологический — интеграцию новых технологий и техники в действующие и новые технологические цепочки; производственный — поставку комплектующих; учебно-образовательный — подготовку кадров; профильные научно-исследовательские и образовательные организации, производственные предприятия реального сектора — разработку конкретных планов работы консорциума и комплексную научно-техническую программу его развития; организационный совет консорциума из представителей входящих в объединение предприятий и организаций — общее управление совместной деятельностью.

Дальнейшую декомпозицию целей и задач концепции создания МЭК вкратце можно представить через описание некоторых операционных функций консорциума:

- сбор информации и анализ мирового опыта создания гибридных энергоустановок в агропромыш-

ленном комплексе. Разработка схемных и компоновочных решений создания стационарных и мобильных МЭК для АПК и других отраслей экономики;

- проведение технологического маркетинга и оценка основных технически прогнозируемых показателей МЭК для организации производства стационарных и мобильных МЭК на базе ППМ (мощность, энергетические показатели, выполняемые функции и др. Создание алгоритма расчета параметров МЭК для различных условий/вариантов его применения под заказчика/потребности рынка. За основу принимаются технические предложения, изложенные в работах [4, 6, 7, 8], и оценка экономической эффективности комплекса [9]);
- проработка основных технических решений (ТЗ) типового МЭК с последующей подготовкой вариантов ТЗ на разработку МЭК;
- обоснование параметров и подготовка эскизной конструкторской документации (КД) на создание опытных образцов энергоустановки с комплектацией ее моторколесами для мобильных МЭК мощностью порядка 80–150 кВт на электроприводе;
- анализ полученных данных, разработка КД и технологической документации (ТД) на опытные образцы МЭК;
- разработка методик расчета, математических моделей, элементов цифрового двойника МЭК и системы МЭК в целом;
- разработка документации МЭК и программы, необходимой для проведения его стендовых испытаний;
- проведение стендовых или натуральных испытаний опытного образца и составляющего его оборудования (опытного образца силового агрегата и другого оборудования);
- разработка проекта технических условий (ТУ) на изделие МЭК;
- подбор отечественного оборудова-

ния для комплектации МЭК и проработка кооперационных цепочек для организации производства МЭК, основного и вспомогательного оборудования (с заключением соответствующих договоров);

- закупка комплектующих, изготовление опытного образца мобильного МЭК мощностью 80–150 кВт с энергоустановкой, работающей на биотопливе;
- подтверждение соответствия проектных, технологических и расчетных данных ТУ на МЭК, проведение стендовых (технологических и эксплуатационных) испытаний опытного образца МЭК для предприятий АПК и ПАО «Россети» и подготовка к последующей аттестации МЭК для указанных заказчиков;
- обработка, анализ, систематизация результатов испытаний, разработка рекомендаций по совершенствованию конструкций мобильных и стационарных МЭК, составление комплексного отчета по испытаниям с выявлением достоинств и недостатков при эксплуатации МЭК;
- разработка рекламной информации на базе имеющихся объективных данных по МЭК. С целью информирования потенциальных потребителей и возможных партнеров по производству МЭК подготовка научно-технических публикаций по результатам проводимых работ и патентование принятых технических решений и других результатов интеллектуальной деятельности;
- организация системы подготовки кадров и дополнительного профессионального образования для топливно-энергетической отрасли, обслуживания средств распределенной энергетики и КИСЭ, а также для смежных отраслей, связанных с эксплуатацией МЭК и использованием генерируемой им тепловой и электрической энергии;
- создание условий для серийного производства биоэтанола как важ-

ной подотрасли агропромышленного комплекса.

Исходя из вышеизложенного, а также по результатам анализа тенденций мирового и отечественного опыта развития распределенной энергетики и комплексных интегрированных систем энергоснабжения, можно сделать вывод, что подготовка концепции по созданию МЭК на базе ППМ с использованием ВИЭ в Российской Федерации является своевременной, а ее реализация позволит в ближайшее время:

- определить приоритетные темы фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ для дальнейшего развития научного, технического, технологического и производственного базиса в области распределенной энергетики и комплексных интегрированных систем энергоснабжения;
- построить устойчивую сетевую структуру научно-образовательных и промышленных организаций, действующих в ТЭК, АПК, других смежных секторах и отраслях, которая обеспечит внедрение разработанных базовых технологий и дальнейшее их совершенствование, создаст научно-технологический, производственно-технический и инфраструктурный заделы, обеспечивающие создание и функционирование полного цикла серийного производства, эксплуатации отечественных мобильных и стационарных МЭК;
- организовать инновационные производственные и новые высокотехнологичные рабочие места;
- укрепить технологический суверенитет российской экономики и увеличить доходы бюджетов разного уровня.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Андреев В.М. Создание комплексных интегрированных систем энергоснабжения на базе инновационных технологий в условиях про-

исходящих в мире процессов / В.М. Андреев, В.А. Баринов, А.Н. Варфоломеев и др. // Электричество. 2020. № 3. С. 56–59.

2. Сигов А.С. Аэрокосмическая энергетика России (цели создания, концептуальные подходы, перспективы) / А.С. Сигов, В.Ф. Матюхин, И.Я. Редько и др. // Радиоэлектронные технологии. 2019. № 1. С. 25–31.
3. Лачуга Ю.Ф. Создание и применение мобильных многофункциональных энерготехнологических комплексов / Ю.Ф. Лачуга, З.А. Годжаев, И.Я. Редько // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. Том 23. 2022. № 1. С. 153–160.
4. Разуваев А.В. Актуальность создания МФЭТК на базе паропоршневой машины / А.В. Разуваев, И.Я. Редько // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2022. № 2. С. 60–63.
5. Ахмедов Х.М., Партоев К.А., Ташбаев Г.А. Химический состав, биологическая и хозяйственная продуктивность топинамбура. Известия Академии наук республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2015. № 3 (160), С. 124–130.
6. Разуваев А.В. Анализ эффективности паропоршневой энергетической установки // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. Том 16. 2016. № 9. С. 56–59.
7. Редько И.Я. Актуальность применения паровых машин / И.Я. Редько, А.В. Разуваев // Энергетик. 2019. № 1. С. 27–30.
8. Multifunctional energy-technological complex on the basis of a steam-piston power plant for autonomous facilities of various purposes / A.V. Razuvaev, R.A. Kobzev, I. Ya. Redko // Published under licence by IOP Publishing Ltd. Journal of Physics: Conf. Series. 2018. Vol. 1111. DOI: 10.1088/1742-6596/1111/1/0120501.
9. Economic efficiency evaluation of applying the general-purpose heat and power plant based on the reciprocating steam engine / A.V. Razuvaev, R.A. Kobzev and I. Ya. Redko // Published under licence by IOP Publishing Ltd. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1652. 15th International Scientific and Technical Conference (PESPC). 2020.

Для цитирования: Редько И.Я., Разуваев А.В. К вопросу создания многофункциональных энерготехнологических комплексов // Энергия единой сети. 2023. № 5–6 (71). С.80–85.