

МОДУЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

*И.О. Прутчиков, д.т.н., профессор, В.И. Михайлов, к.т.н.
Научно-исследовательский институт (ВСИ МТО ВС РФ) Военной академии материально-
технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева
В.В. Камлюк, д.т.н.
ООО «НПО 122 УМР»*

Рассматриваются вопросы обеспечения энергетической безопасности автономных объектов при использовании мобильных модулей контейнерного исполнения на базе комбинированных энергоустановок с двигатель-генераторными установками и статическими преобразователями энергии. Разработан действующий автоматизированный образец модуля с ДГУ мощностью 16 кВт, оборудованный схемой дистанционного управления нетрадиционными комбинированными энергоисточниками, преобразователями и накопителями энергии. Основное технологическое оборудование разработанного модуля энергетической безопасности выполнено с использованием отечественной элементной базы.

Географическими, климатическими и социально-демографическими особенностями РФ обусловлено наличие в ней большого количества объектов инфраструктуры различного назначения (военной, социальной, транспортной, информационной, инженерной и т. д.), не имеющих постоянной надежной связи с внешними инженерными системами жизнеобеспечения, прежде всего энергоснабжения. Такие объекты с точки зрения функционирования их систем жизнеобеспечения можно отнести к разряду автономных. Так, по данным [1], автономные децентрализованные системы энергоснабжения (не присоединенные к основным сетям) в нашей стране обслуживают около 20 млн чел., охватывают около 70 % ее территории (в основном в районах Крайнего Севера и приравненных к ним). В децентрализованных системах энергоснабжения вырабатывается в год от 75 до 85 млрд кВт·ч., что составляет примерно 8 % от общей выработки электроэнергии в России. Причем общая доля и значение автономных объектов постоянно увеличиваются, в первую очередь в связи с повышением требований по качеству энергоснаб-

жения потребителей и освоением новых удаленных районов страны. При этом следует отметить, что большинство новых создаваемых, реконструируемых и модернизируемых автономных объектов инфраструктуры различного назначения находятся в отдаленных районах с неблагоприятными климатическими и иными условиями эксплуатации, где значительную роль играют вопросы обеспечения энергетической безопасности. В условиях, когда для этих объектов разработаны и повсеместно внедряются современные технологии информационной и транспортной доступности, вопросы обеспечения их энергетической безопасности становятся особенно актуальными, во многих случаях лимитирующими процессы освоения новых объектов и территорий, экономического и социального развития нашей страны, укрепления ее обороноспособности.

Выполненный анализ показал, что для большинства автономных объектов, в контексте обеспечения их энергетической безопасности, можно выделить общую тенденцию развития их как энергетических систем, связанную с необходимостью повышения надежности, устойчивости и качества их энергоснабжения до уровня, гарантированного (бесперебойного).

Понимая под энергетической безопасностью прежде всего состояние защищенности от внешних и внутренних угроз энергоснабжению преднамеренного, природного, техногенного, экономического и иного характера, можно определить основные принципы ее обеспечения. Среди общих для всех систем энергоснабжения принципов обеспечения энергетической безопасности, в первую очередь можно выделить следующие:

- гарантированность энергоснабжения в полном объеме в нормальных условиях и в необходимом объеме в аварийных ситуациях;
- мониторинг, контроль и противоаварийное управление энергоснабжением;
- пополнение и резервирование запасов топлива;

- диверсификацию используемых видов топлива и энергии;

- учет требований других видов безопасности (физической, экологической, экономической, пожарной и т. п.);

- рациональное использование энергоресурсов.

Принимая в качестве генерального направления обеспечения энергетической безопасности автономных объектов повышение качества энергоснабжения до гарантированного (бесперебойного) уровня, можно с этих позиций выделить следующие основные направления роста эффективности их гарантированного энергоснабжения [2–4]:

- комплексную реализацию и внедрение технологий когенерации, аккумулирования, частотного регулирования и преобразования энергии;

- улучшение технико-экономических характеристик автономных источников электроэнергии путем совместного применения статических и электромашинных преобразователей энергии;

- внедрение бесперебойных технологий гарантированного энергоснабжения за счет совершенствования средств и систем аккумулирования энергии;

- диверсификацию систем гарантированного энергоснабжения автономных объектов по автономным источникам энергии и видам топлива;

- использование в системах гарантированного энергоснабжения альтернативных и нетрадиционных источников энергии;

- применение в системах гарантированного энергоснабжения современных информационных технологий управления.

Таким образом, энергетическая безопасность автономных объектов инфраструктуры различного назначения в первую очередь должна быть обеспечена путем реализации принципов и направлений повышения эффективности гарантированного энергоснабжения.

В соответствии с данными, приведенными в [5, 6] реализация направлений повышения энергетической безопасности и доведение характеристик энергообеспечения объектов до уровня, гарантированного предполагает следующее.

Во-первых, перевод объектов в разряд автономных, способных функционировать без связи с внешними системами жизнеобеспечения.

Во-вторых, комплексное рассмотрение автономных объектов инфраструктуры различного назначения как объектов и субъектов энергоснабжения в виде единой энергетической системы.

В-третьих, интегрирование и комплексирование систем энергоснабжения автономных объектов с другими системами жизнеобеспечения и безопасности.

В-четвертых, комбинированное применение в целях гарантированного (бесперебойного)

энергоснабжения различных типов автономных источников и преобразователей энергии, в первую очередь двигатель-генераторных установок (ДГУ), статических преобразователей электроэнергии (СПЭ) и нетрадиционных источников энергии (НИЭ).

В-пятых, разработку и создание систем гарантированного энергоснабжения автономных объектов в виде роботизированных необслуживаемых (ограниченно обслуживаемых) комплексов посредством реализации в них инновационных энергоэффективных технологий.

На основании выполненных исследований по рассматриваемому направлению была сформулирована концепция комплексного применения интеллектуальных технологий когенерации, аккумулирования, частотного регулирования и преобразования энергии в целях обеспечения энергетической безопасности [7].

Основу разработанной концепции составляют следующие положения и мероприятия.

1. При создании новых и модернизации существующих автономных объектов их энергетическая система (система энергообеспечения) комплексно строится по принципу автономности, допускающему функционирование без связи с внешними системами и источниками энергоснабжения.

2. Система энергоснабжения автономного объекта по своему функциональному назначению реализуется как система гарантированного энергоснабжения (СГЭС), по своим характеристикам адаптированная к параметрам конкретных энергопотребителей и диверсифицированная по отношению к типам применяемых энергоисточников, условиями внешней (окружающей) среды, видам и характеристикам применяемого топлива.

3. Для реализации функций гарантированного энергоснабжения автономные объекты (до оснащаются) энергоблоками на базе гибридных комбинированных энергоустановок (КЭУ), используемых в качестве основных первичных и вторичных источников энергии двигатель-генераторные установки (ДГУ), статистические преобразователи электроэнергии (СПЭ) и нетрадиционные источники энергии (НИЭ).

4. Для эффективного совместного применения ДГУ, СПЭ и НИЭ в составе системы энергоснабжения автономных объектов предусматривается организация их совместной (параллельной) работы на основе принципов и технологий когенерации, аккумулирования, частотного регулирования и преобразования энергии (ЧРПЭ).

5. С целью обеспечения требуемых уровней автономности, обитаемости, необслуживаемой работы, надежности и экономичности СГЭС

с ДГУ, СПЭ и НИЭ оборудуются системами удаленного, дистанционного интеллектуального управления (ИСДУ).

6. Для обеспечения энергетической и других видов безопасности СГЭС с ДГУ, СПЭ и НИЭ комплексированы и интегрируются с другими технологическими, техническими и специальными системами автономных объектов, такими как инженерные (ИС), безопасности (СБ), автоматического управления (АСУ) и т. д. С этой целью на базе АСУ СГЭС разрабатываются системы активного мониторинга (мониторинга, контроля и управления) — (СМБЖ).

7. С целью оптимизации характеристик энергообеспечения, реализации интеллектуальных адаптивных алгоритмов управления и функционирования, разработка СГЭС с ДГУ, СПЭ и НИЭ сопровождается необходимым аппаратным, программным, алгоритмическим, технологическим, имитационным и расчетно-методическим обеспечением.

8. Функционально за счет комплексного применения рассматриваемых технологий функционирования на уровне СГЭС с ДГУ, СПЭ и НИЭ (ЧРПЭ) и управления на уровне СМБЖ с КОЭС система энергообеспечения автономного объекта военной инфраструктуры согласно данной концепции разрабатывается в виде автономного автоматизированного робототехнического комплекса-модуля энергетической безопасности (МЭБ).

9. Конструктивно МЭБ для многих автономных объектов может быть разработан в контейнерном исполнении.

Подробные сведения по разработанной концепции обеспечения энергетической безопасности автономных объектов представлены в работе [7]. В целях практической реализации основных положений рассматриваемой концепции энергетической безопасности автономных объектов в настоящее время ООО «НПО 122 УМР» на базе контейнерной ДГУ мощностью 16 кВт разработан модуль энергетической безопасности (МЭБ-16). Технологическая схема МЭБ-16 представлена на рис. 1. Основными элементами МЭБ-16 являются первичные автономные энергоисточники, вторичные источники, преобразователи и аккумуляторы энергии, а также необходимая коммутационная, запорно-регулирующая и предохранительная аппаратура и арматура. В качестве основных источников тепловой и электрической энергии в МЭБ-16 использованы: двигатель-генераторная установка (ДГУ) в составе двигателя (Д), работающего на органическом топливе и силового электрогенератора (СГ), функционирующего в режиме электромашинного преобразователя энергии, автономный теплоэлектро-

генератор (АТЭГ), который может быть выполнен на базе комбинированного многотопливного котла, оборудованного встроенным термоэлектрическим нагревателем (ТЭН) и термоэлектрическим генератором (ТЭГ). С целью когенерации и аккумулирования энергии жидкостные и газовые тракты ДГУ и АТЭГ соединены и оборудованы дополнительными устройствами утилизации тепла отработавших (дымовых) газов и теплоносителя.

Аккумулирование вырабатываемого элементами технологической схемы тепла проводится в тепловом аккумуляторе (ТА). Тепло в тепловом аккумуляторе ТА, согласно рис. 2, может запасаться в виде горячего жидкого теплоносителя (воды), водяного пара, горячего воздуха и т. п. Вспомогательным нетрадиционным источником электроэнергии в МЭБ-16 является солнечная батарея (СБ).

В качестве вторичных источников и преобразователей энергии в МЭБ-16 используются статические преобразователи электроэнергии (СПЭ), например специальные реверсивные преобразователи электроэнергии (РПЭ), способные работать в параллель с силовым генератором (СГ) ДГУ, статические агрегаты бесперебойного

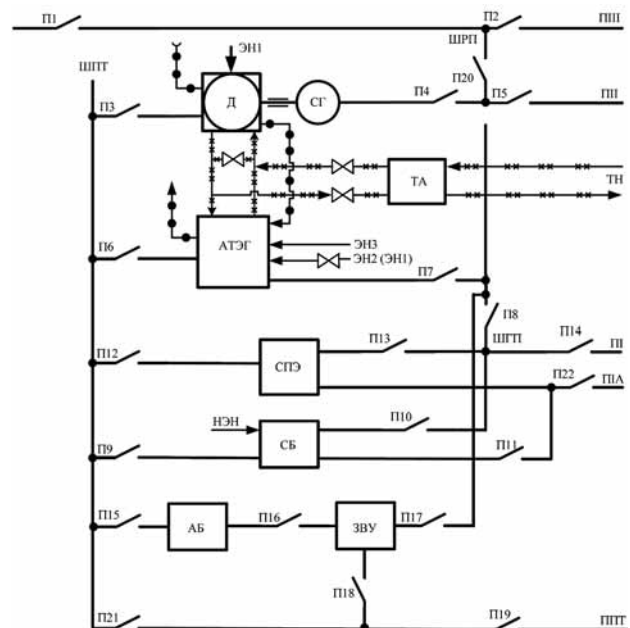


Рис. 1. Технологическая схема МЭБ-16:

Д — первичный двигатель; СГ — силовой электрогенератор; АТЭГ — автономный теплоэлектрогенератор; ТА — тепловой аккумулятор (теплообменник); СПЭ — статический преобразователь электроэнергии; СБ — солнечная батарея; АБ — аккумуляторная батарея; ЗВУ — зарядно-выпрямительное устройство; ШПТ — шины постоянного тока; ШРП — шины резервного электропитания; ШГП — шины гарантированного электропитания; ЭН1 — основной энергоноситель; ЭН2, ЭН3 — резервные энергоносители; НЭН — нетрадиционный энергоноситель; П1, П11, ПШ, П1А, ППТ — электропотребители; ТН — теплоноситель

питания (АБП), автономные инверторы с модифицированной синусоидой выходного тока для бытовых потребителей и с чистой синусоидой выходного тока для ответственных потребителей.

В качестве накопителей электрической энергии в МЭБ-16 использованы аккумуляторные батареи (АБ) емкостью 60–190 А·ч на напряжение 12–24 В.

Батарея аккумуляторов АБ состоит из секций (групп) стартерных батарей, накопительных батарей поддержки СПЭ и СБ, а также резервных (расходных заменяемых), используемых при необходимости для увеличения времени автономной работы (батарейной поддержки) СПЭ и СБ. Все аккумуляторные батареи после соответствующего секционирования подключены на общие шины постоянного тока (ШПТ). Для заряда АБ и питания постоянным током потребителей в схеме МЭБ-16 используется зарядно-выпрямительное устройство (ЗВУ). Шины переменного тока секционированы на шины автономного электропитания (ШАП), к которым присоединена внешняя сеть электроснабжения (при наличии) и от которой запитываются электропотребители ПЗ, шины резервного электропитания (ШРП) к которым присоединены основные источники электрической и тепловой энергии: ДГУ и АТЭГ и от которых запитываются электропотребители П2,

шины гарантированного питания (ШГП) к которым присоединены СПЭ и СБ и от которых запитываются электропотребители П1. Шины бесперебойного электропитания (ШБП) не секционируются с другими шинами переменного тока, запитываются от СПЭ и СБ (в аварийных режимах возможно подключение от АТЭГ) и подают электропитание потребителям П1А.

Секционирование ШРП и ШГП позволяет за счет параллельного включения ДГУ и СПЭ обеспечить в необходимых случаях эффективное гарантированное электропитание ответственных потребителей П1 на уровне АБП on-line.

Изменение режимов работы МЭБ-16, а также включение основного оборудования производится переключателями П1-П21 по специальным алгоритмам. Компоновка основного оборудования МЭБ-16 представлена на рис. 3.

Согласно рис. 3 основное силовое энергооборудование компоуется в закрытом контейнере заводского изготовления.

Охранные, экологические и противопожарные системы размещаются комплексно в отдельных блоках (нишах) и при установке МЭБ-16 разворачиваются в рабочее положение. Также при установке модуля разворачивается в рабочее положение расположенная на крыше контейнера солнечная батарея. Блок автоматизированного управления МЭБ-16 включает в себя штатные силовые щиты и щиты управления оборудованием (ДГУ, АТЭГ, СПЭ, СБ и т. д.), щит управления МЭБ-16 с МПСУ МЭБ-16, контроллер супервизорного управления на базе ПК, блок ДУ, выносной планшетный пульт дистанционного управления МЭБ-16. Размещенная в щите управления МПСУ МЭБ-16 контролирует работу основного оборудования по сигналам внешнего

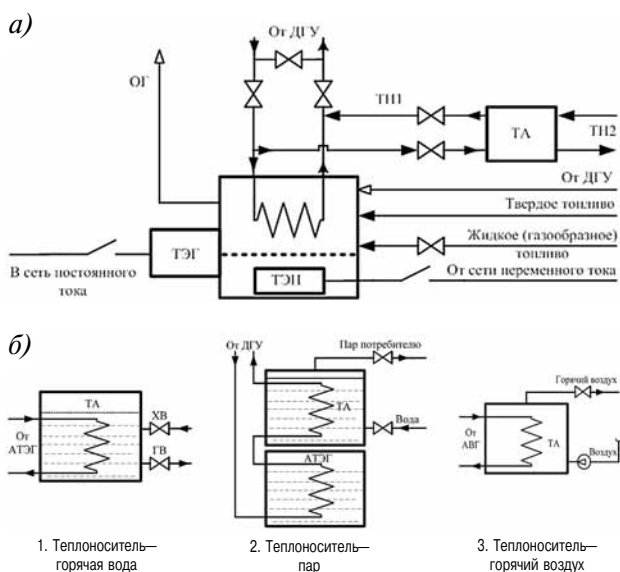


Рис. 2. Варианты исполнения АТЭГ и ТА из состава МЭБ-16:

a — вариант исполнения АТЭГ на базе многотопливного комбинированного отопительно-варочного котла:

ТН1 — теплоноситель 1-го контура (охлаждающая жидкость ДГУ); ТН2 — теплоноситель 2-го контура (вода, пар, воздух); ОГ — отработавшие газы; ТЭГ — термоэлектрогенератор; ТЭН — термоэлектрический нагревательный элемент;

б — варианты исполнения ТА и включения его в состав МЭБ-16:

ХВ — холодная вода; ГВ — горячая вода

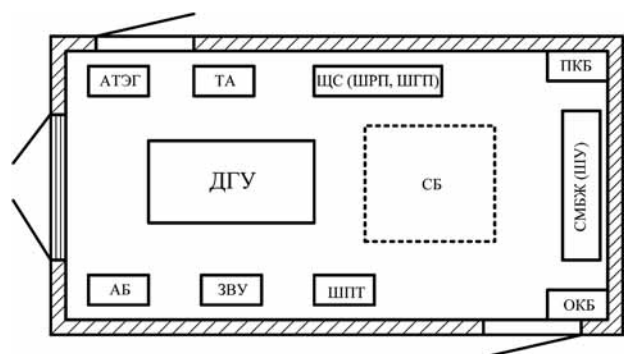


Рис. 3. Компоновка основного оборудования МЭБ-16

ДГУ — двигатель-генераторная установка; АТЭГ — автономный тепло-электрогенератор; СБ — солнечная батарея; ШЩ — щит силовой со статическими преобразователями электроэнергии; ШПТ — шины постоянного тока; ПКБ — противопожарный комплекс безопасности; ОКБ — охранный комплекс безопасности; СМБЖ(ШУ) — щит управления с системой активного мониторинга (мониторинга, контроля и управления) МЭБ-16; ЗВУ — зарядно-выпрямительное устройство; АБ — аккумуляторная батарея; ТА — тепловой аккумулятор

Спецификация основного оборудования МЭБ-16

№ п/п	Обозначение	Наименование	Количество
1	ДГУ (Д)	Двигатель Д-242	1 компл.
2	(Г)	Генератор ГС-30-М1	
3*	ЩС	Щит управления и защиты ДЭУ ЩУ-16.3	1 компл.
4	АТЭГ	Автономный тепло-энергогенератор ЭКО-122	1 шт.
5	ТА	Тепловой аккумулятор (теплообменник) ТА 45/18	1 шт.
6	СБ	Солнечные батареи FSM-160, Nevel-250	6 шт.
7	АБ	Аккумуляторная батарея (Н.Б.) ММ 100-12-AGM	10 шт.
		Аккумуляторная батарея (С.Т) 6СТ-90	2 шт.
8	ЗВУ	Инвертор «Прогресс-12-5000 HYBRID»	1 шт.
9	ШПТ	Устройство защиты импульсных перенапряжений FSP-D40-2P	1 компл.
10	ОКБ	КСТО «Изумруд»	1 компл.
11	СМБЖ	Комплекс «Гефест»	1 компл.
12	ПКБ	Прибор «Кварц»	1 шт.
		Прибор «УОТС-1-1А»	1 шт.

* ООО НПФ «Спецавтоматика».

управления, а также от соответствующих блоков контроля параметров внешней среды, внутреннего оборудования, щита постоянного тока, щита гарантированного питания, ДГУ, АТЭГ, СПЭ, ЗВУ, СБ, АБ, а также угроз физической, экологической и пожарной безопасности. Спецификация основного установленного оборудования МЭБ-16 представлена в таблице.

Разработанный и изготовленный в ООО «НПО 122 УМР» модуль энергетической безопасности МЭБ-16 прошел успешные испытания на различных эксплуатационных режимах. В настоящее время продолжают его натурные испытания и доработка в направлении обеспечения комплексной безопасности автономных объектов. Также в стадии проработки в сотрудничестве ООО «НПО 122 УМР» с ВА МТО и другими организациями в настоящее время разрабатываются

вопросы создания и практического внедрения МЭБ другой конфигурации и мощностного диапазона.

Литература

1. Суржикова О.А. Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России // Вестник науки Сибири. — 2012. — № 3 (4).
2. Прутчиков И.О., Камлюк В.В. Комбинированные энергоустановки автономных объектов с частотным регулированием и преобразованием энергии. — СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2007. — 448 с.
3. Прутчиков И.О., Камлюк В.В., Михайлов В.И., Маккаеве А.В. Системы гарантированного энергоснабжения автономных объектов на базе комбинированных энергоустановок с частотным регулированием и преобразованием энергии. СПб. : ВАМТО, 2016, 228 с.
4. Прутчиков И.О., Камлюк В.В. и др. Оценка и обоснование возможностей реализации на базе комбинированных энергоустановок с ДГУ систем гарантированного энергоснабжения // Морской вестник. — 2009. — № 1 (29). — С. 60–63.
5. Прутчиков И.О., Камлюк В.В. и др. Технологическое, техническое и алгоритмическое обеспечение функционирования интеллектуальных систем гарантированного энергоснабжения автономных объектов МО РФ на базе совместного применения ДГУ и СПЭ // Сборник трудов всероссийской конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Т. 3, — СПб., 2016.
6. Прутчиков И.О., Михайлов В.И., Федяев Л.С., Сумской С.Н. Анализ основных направлений повышения эффективности функционирования систем жизнеобеспечения автономных объектов МО РФ в нормальных и аварийных режимах функционирования // Сборник трудов всероссийской конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Т. 3, — СПб., 2018.
7. Прутчиков И.О., Федяев Л.С., Мкртычян А.В. Концепция комплексного применения интеллектуальных технологий когенерации, аккумулирования, частотного регулирования и преобразования энергии в целях обеспечения энергетической безопасности при эксплуатации автономных объектов МО РФ // Сборник докладов научно-практической конференции «Инновационные материалы и технологии» 18.04.2017 г., — Моск. обл., Кубинка, ГУНИД МО РФ. — 136 с.