

УДК:621.311.243

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА¹

Д.А. Харитонов (KharitonovDAn@mpei.ru)

А.Г. Васьков (VaskovAG@mpei.ru)
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва

Распределённые энергосистемы с возобновляемыми источниками энергии требуют применения новых подходов к управлению их режимами работы. Апробацию имеющихся алгоритмических решений целесообразно проводить в условиях максимально приближенным к реальным условиям эксплуатации. Необходимые условия созданы на имитационной модели солнечно-дизельного комплекса, включающей в свой состав реальное электротехническое оборудование. В работе дано техническое описание разработанного комплекса.

Ключевые слова: СДК, энергоэффективность, оптимизация, имитационная модель, техническое описание, режимы работы, управление, ДТМЕР1'2023

Введение

В нашей стране вопрос использования автономных источников генерации (солнечно-дизельных комплексов) актуален прежде всего в изолированных энергорайонах, где по каким-либо причинам не доступна связь с Единой Энергетической Системой (ЕЭС), например[1]: Камчатский край, Сахалинская область, Магаданская область, Чукотский АО и т.д.

Поскольку в наше время генерация на основе ВИЭ в целом, а также использование фотоэлектрических станций (ФЭС) в частности становится всё более экономически доступным, использование данных источников энергии в купе с существующими в изолированных энергорайонах дизельными электростанциями (ДЭС) позволяет существенно снизить расход топлива последних, в следствие чего сокращаются затраты на доставку дизельного топлива в данные районы.

¹ Исследование проводилось в рамках проекта “Системы управления солнечно-дизельными комплексами” при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FSWF-2022-0006.

Солнечно-дизельные комплексы (СДК) могут иметь различные конфигурации, наиболее полной из которых является система с использованием нескольких дизель-генераторных установок (ДГУ) и системы накопления электроэнергии (СНЭ).

Энергоэффективность солнечно-дизельных комплексов в основном зависит от установленного оборудования и режимов работы объекта генерации, и определяется таким параметром, как удельный расход топлива [граммов/кВт*ч], который отражает зависимость количества потреблённого дизельного топлива от количества выработанной электроэнергии.

Существует несколько способов повышения энергоэффективности СДК, а именно:

- Замена дизельного оборудования на новое
- Применение ДГУ с переменной скоростью вращения
- Применение систем накопления энергии
- Оптимизация управления режимами работы СДК

Для оценки изменения энергоэффективности, связанного, в первую очередь, с оптимизацией управления режимов работы СДК, необходимо протестировать различные способы управления на реальном оборудовании, при этом использовать для данных целей эксплуатирующиеся объекты распределённой генерации не является возможным, поскольку, в связи с изменениями режимов управления СДК, будут возникать неминуемые отключения электроснабжения потребителя. В связи с этим, предлагается тестировать новые методы управления СДК на имитационной модели СДК, установленной на базе НИУ «МЭИ».

В данной работе дано техническое описание данной имитационной модели.

1. Классификация СДК

СДК могут быть классифицированы исходя из их конфигурации и подразделяются на[2]:

- Последовательные гибридные энергосистемы
- Коммутируемые гибридные энергосистемы
- Параллельные гибридные энергосистемы

1.1. Последовательные гибридные энергосистемы

Вся энергия проходит через аккумуляторную батарею, а переменный ток, подаваемый на нагрузку, преобразуется из постоянного в регулируемый переменный с помощью инвертора или мотор-генератора.

Система может работать в ручном или автоматическом режиме, с добавлением соответствующего датчика напряжения батареи и управления запуском/остановкой приводимого в действие двигателем генератора.

1.2. Коммутируемые гибридные энергосистемы

Коммутируемая конфигурация остается одной из наиболее распространенных установок на сегодняшний день [?]. Она позволяет работать либо с генератором, приводимым в действие двигателем, либо с инвертором в качестве источника переменного тока, однако параллельная работа основных источников генерации невозможна. Аккумуляторная батарея может заряжаться от дизель-генератора и от возобновляемого источника энергии. Нагрузка может питаться непосредственно от генератора, приводимого в действие двигателем, что приводит к снижению цикличности работы аккумуляторной батареи.

Система может работать в ручном режиме, хотя повышенная сложность системы делает весьма желательным включение в нее автоматического контроллера, который может быть реализован с добавлением соответствующих датчиков напряжения батареи и контроля управления запуском/остановкой генератора переменного тока, приводимого в действие двигателем.

1.3. Параллельные гибридные энергосистемы

Параллельная конфигурация позволяет всем источникам энергии снабжать нагрузку отдельно при низком или среднем спросе на нагрузку, а также обеспечивать пиковую нагрузку от объединенных источников путем синхронизации инвертора с формой выходной волны генератора. Двухнаправленный инвертор может заряжать аккумуляторную батарею (выпрямитель) при наличии избыточной энергии от генератора, а также работать как преобразователь постоянного тока в переменный (инвертор) при нормальной работе.

2. Техническое описание имитационной модели солнечно-дизельного комплекса

2.1. Описание имитационной модели СДК

Имитационная модель СДК (далее — макет СДК) реализована в типовом 40-футовом контейнере, разделённом на два отсека.

Существующий макет СДК установлен во внутреннем дворе НИУ «МЭИ» для возможности обеспечения питанием макета СДК от распределительного устройства внутренней сети НИУ «МЭИ».

Основным генерирующим оборудованием макета СДК являются дизельные генераторные установки, а также солнечная электростанция, подключенная к сети через сетевой трёхфазный инвертор SMA Sunny Tripower. Имитация выработки СЭС производится при помощи двух источников питания постоянного тока Delta Elektronika BV SM 660-AR-11.

Для увеличения эффективности работы СЭС и сохранения устойчивой работы автономной системы электроснабжения установлена также система накопления электрической энергии, необходимая для компенсации резких изменений мощности в сети и максимизации выработки ВИЭ. СНЭ построена на батарейных инверторах Victron Energy Quattro и свинцово-кислотных необслуживаемых аккумуляторах Yellow GB 12-200, объединённых в кластер на 48 В.

Гарантированное энергоснабжение потребителей, в случае отсутствия солнечного излучения, обеспечивается за счет работы ДГУ при любых возможных мощностях потребителей электроэнергии, которая в зависимости от сезона и времени суток может иметь значительные колебания. График потребления энергии должен быть смоделирован оборудованием отдельного контейнера, предусматривающим возможность включения активной и двигательной нагрузки.

При работе солнечных панелей, для обеспечения поддержания частоты в заданных пределах, используется принцип поддержания баланса вырабатываемой и потребляемой электроэнергии. Задатчиком номинального значения частоты является как минимум одна работающая ДГУ при минимально допустимой вырабатываемой мощности в длительном режиме ДГУ, что ориентировочно составляет около 10–30% номинальной мощности, или батарейный инвертор.

Структурная схема макета СДК представлена на рисунке 1[3].

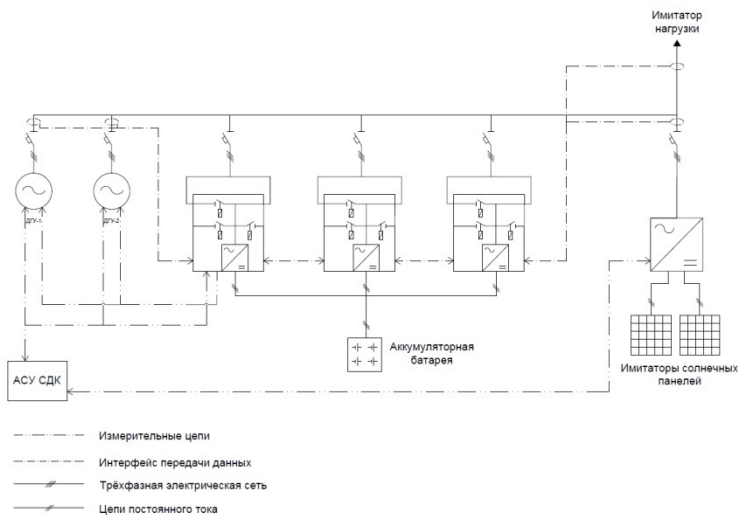


Рис.1. Структурная схема макета СДК

2.2. Номинальные технические характеристики

В таблице 1 представлены номинальные технические характеристики основного электротехнического оборудования в составе макета СДК.[3]

Табл. 1.

Наименование	Оборудование в составе	Модель	Основные технические характеристики
ДГУ 1	Дизельный двигатель	АД-12	Частота вращения вала двигателя – 1500 об/мин
	Силовой генератор	Marelli Motori MJB 160 SA4	Номинальное напряжение – 400 В Номинальная частота – 50 Гц Номинальная мощность кВт – 12 кВт
	Шкаф управления ДГУ	DEIF Multi-line AGC 200	АРВ, АРЧ, автоматическая синхронизация, поддержка Modbus RTU

Наименование	Оборудование в составе	Модель	Основные технические характеристики
ДГУ 2	Дизельный двигатель	АД-30	Номинальная мощность (кВт/кВА) – 30/38 Номинальное напряжение – 400 В Номинальная частота – 50 Гц Частота вращения вала двигателя – 1500 об/мин
	Силовой генератор	Marelli Motori MJB 200 SA4	Мощность – 17 кВА Напряжение АС – 380/400 В Частота – 50 Гц Частота вращения – 1500 об/мин
	Шкаф управления ДГУ	DEIF Multi-line AGC 200	АРВ, АРЧ, автоматическая синхронизация, поддержка Modbus RTU
СНЭ 1	Подсистема преобразования – кластер двунаправленных инверторов	Victron Energy Quattro 48/10000/140	Напряжение DC – 48 В Мощность преобразователя – 10 кВА Напряжение АС – 230 В Частота – 50 Гц
	Подсистема накопления энергии – кластер свинцово-кислотных аккумуляторов	Yellow GB 12-200	Напряжение – 12 В Технология GEL Максимальный разрядный ток – 1500 А Саморазряд – 3% в месяц Номинальная ёмкость: 10-часовой разряд – 200 Ач 5-часовой разряд – 166 Ач 1-часовой разряд – 120 Ач
СЭС 1	Имитатор солнечных панелей	Delta Elektronika BV SM 660-AR-11	Напряжение DC – 0–660 В Ток DC – 0–11 А (до 330 В); 0–5.5 (от 330 В) Напряжение АС – 200–480 В Частота – 50/60 Гц

Наименование	Оборудование в составе	Модель	Основные технические характеристики
	Подсистема преобразования СЭС	SMA Sunny Tripower STP 12000TL-20	Напряжение DC – 440–800 В Мощность инвертора – 12 кВА Напряжение AC – 400 В (линейное) Частота – 50 Гц Интерфейс/протокол передачи данных – Ethernet/Modbus TCP
АСУ СДК	Программируемый логический контроллер	Mitsubishi Electric MELSEC FX3u	Напряжение питания – AC 220 В Количество аналоговых входов/выходов – 64/64 Интерфейс передачи данных – Ethernet, RS-485

3. Функциональные возможности

Модель СДК позволяет тестировать алгоритмы управления различными элементами СДК, например:

- ДГУ
Управление ДГУ позволяет изменять режим работы СДК, посредством отключения ДГУ или же изменения их загруженности (либо загружая их по равенству удельных расходов, либо по критерию минимума удельного расхода) в соответствии с изменяющимся характером нагрузки, что позволит оптимизировать потребление дизельного топлива
- СНЭ
Управление системой накопления энергии позволяет имитировать различные режимы работы СДК, например, задавая различные значения зарядного/разрядного тока на батарейных инверторах, возможно имитировать СНЭ с различной мощностью
- ФЭС
При помощи имитаторов солнечных панелей возможно исследовать влияние степени замещения дизельной мощности СДК мощностью ФЭС на удельный расход ДГУ, изменяя программные настройки имитаторов с компьютера. При этом предел степени замещения мощности составляет 15,7% (ограничение по мощности имитаторов)

Заключение

На базе ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» установлен макет СДК который позволяет имитировать различные режимы работы как СДК в целом, так и его отдельных составляющих. На основе данной имитационной модели можно испытывать различные методы управления элементами СДК с целью оптимизации существующих комплексов, что позволит снизить потребление дизельного топлива на реальных объектах, тем самым повышая как энергетическую, так и экономическую эффективность солнечно-дизельных комплексов.

Список литературы

- [1] Соотношение территорий федеральных округов, регионов и энергосистем // Системный Оператор Единой Энергетической Системы URL: <https://www.sops.ru/index.php?id=fops> (дата обращения: 25.02.2023).
- [2] V.Wichert PV-DIESEL HYBRID ENERGY SYSTEMS FOR REMOTE AREA POWER GENERATION-A REVIEW OF CURRENT PRACTICE AND FUTURE DEVELOPMENTS // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 1997. - №3. - С. 209-228.
- [3] Васьков А.Г. Разработка математической и имитационной модели солнечно-дизельного комплекса. // Регистрационный номер ЕГИСУ: 223020800165-3. - Дата регистрации: 17.02.2023: С. 63-64, 67.

IMMITATIONAL MODEL OF PV-HYBRID SYSTEM

D.A. Kharitonov (KharitonovDAn@mpei.ru)

A.G. Vaskov (VaskovAG@mpei.ru)
National Research University "MPEI", Moscow

Distributed power systems with renewable energy sources require new approaches to the management of their modes of operation. Approbation of existing algorithmic solutions is advisable to be carried out in conditions as close as possible to real operating conditions. The necessary conditions are created on a simulation model of the solar-diesel complex, which includes real electrical equipment. This paper represents the technical description of the developed complex.

Keywords: SDC, energy efficiency, optimization, simulation model, technical description, modes of operation, control, DTMEPI'2023