

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АКТИВА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

## AUTOMATED CONSTRUCTION OF AN ENERGY ASSET DEVELOPMENT STRATEGY BASED ON MODELING

A. Tyukov  
A. Vishnevetsky

*Summary.* Description of the general purpose and functionality of the system for the automated construction of an energy asset development strategy (a set of generation and consumption components) based on modeling. Description of its structure and architecture. Description of the results of the implementation of the system and its effect on the energy industry. Prospects for using the system, impact on the energy industry. Development and presentation of an automated method for building a strategy for the development of an energy asset based on modeling. This study is based on the desire to optimize and improve the efficiency of planning and management of energy assets.

The study covers several areas of application of automated construction of an energy asset development strategy based on simulation and is aimed at developing a new automated method for constructing an energy asset development strategy based on simulation. This contributes to the development and improvement of the methodological approach to the planning and management of energy assets, enriches scientific practice and offers new tools for decision-making. The proposed automated method is of practical importance for energy market participants such as energy companies, regulators, investors and other stakeholders. It facilitates the process of developing strategies for the development of energy assets, allowing you to make more informed and informed decisions based on modeling and taking into account various factors.

*Keywords:* digitalization; digital transformation; energy transition; renewable energy sources; investments; energy asset; digital twin; big data; asset Management.

**Тюков Антон Павлович**

Канд. тех. наук, доцент, Волгоградский  
государственный технический университет  
Anton.tyukov@gmail.com

**Вишневецкий Андрей Романович**

Волгоградский государственный технический  
университет  
avishand@yandex.ru

*Аннотация.* Описание общего назначения и функциональности системы автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива (совокупности компонент генерации и потребления) на основе моделирования. Описание ее структуры и архитектуры. Описание результатов внедрения системы и ее эффекта на отрасль энергетики. Перспективы использования системы, влияние на отрасль энергетики.

Разработка и представление автоматизированного метода построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования. В основе данного исследования лежит стремление к оптимизации и повышению эффективности процессов планирования и управления энергетическими активами.

Исследование охватывает несколько сфер применения автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования и направлено на разработку нового автоматизированного метода построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования. Это способствует развитию и совершенствованию методологического подхода к планированию и управлению энергетическими активами, обогащает научную практику и предлагает новые инструменты для принятия решений. Предложенный автоматизированный метод имеет практическую значимость для участников рынка энергетики, таких как энергетические компании, регуляторы, инвесторы и другие заинтересованные стороны. Он облегчает процесс разработки стратегий развития энергетических активов, позволяя принимать более обоснованные и информированные решения, основанные на моделировании и учете различных факторов.

*Ключевые слова:* цифровизация; цифровая трансформация; энергетический переход; возобновляемые источники энергии; инвестиции; энергетический актив; цифровой двойник; большие данные; управление активами.

### Введение

В последнее время регулярно обсуждаются нарастающие проблемы энергетики и экологии, решение которых в мировом масштабе в будущем не представляется возможным без широкого использования экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В России и мире наблюдается интенсивный рост вводов ветровых (ВЭС) и солнечных (СЭС) электростанций. По результатам проведения конкурентных отборов проектов ВИЭ до конца 2025 г. в России должны быть введены в эксплуатацию ВЭС и СЭС суммарной установленной мощностью 5,28 ГВт [2]. Что касается

энергетического перехода в Европейском союзе, климатические цели должны быть достигнуты в соответствии с рамочной программой по климату и энергетике до 2030 г., которая будет осуществляться Директивой по возобновляемым источникам энергии (RED II) [7].

Энергосистемы, включающие ВИЭ, представляют собой сложные структуры, состоящие из различных компонентов, включая энергетические источники, передающие и распределительные сети, устройства управления и мониторинга. Каждый компонент играет важную роль в обеспечении надежной и эффективной работы системы в целом [3, 4]. В связи с этим возникает необходи-

мость проведения предварительных детальных испытаний планируемых к внедрению технологий и устройств, таких как солнечные панели и батарейные элементы для запаса электроэнергии, особенно в условиях, максимально приближенных к условиям их будущей эксплуатации.

Внедрение системы автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива позволит повысить эффективность процесса моделирования, сопровождая его, начиная от постановки задачи и получения входных параметров, и до конечного результата в виде отчета в формате PDF или Excel. Система имеет преимущество в том, что она может принимать запросы на моделирование через интерфейс приложения или API, то есть требует от заказчика только предоставление данных и необходимую конфигурацию оборудования.

### Литературный обзор

Литературный обзор, основанный на представленных источниках, охватывает тему внедрения распределенной генерации, проблемы, возникающие при этом, и технические моделирования работы распределительных сетей.

Исследование Илюшина, П.В. «Внедрение распределенной генерации. Анализ существующего опыта, возникающие проблемы, комплексное решение технических вопросов интеграции в распределительные сети» представляет анализ опыта внедрения распределенной генерации и выявляет возникающие проблемы. Работа сфокусирована на технических аспектах интеграции и предлагает комплексные решения для эффективной интеграции распределенной генерации в распределительные сети. Это исследование является ценным источником для понимания вызовов и решений в области распределенной генерации.

Доклад Европейского Союза «2030 Climate and Energy Policy Framework» представляет стратегию Европейского Союза в области климата и энергетики до 2030 года. Он описывает цели и меры, предпринятые ЕС для сокращения выбросов парниковых газов и стимулирования развития возобновляемых источников энергии. Этот документ важен для контекста политических и экономических аспектов внедрения распределенной генерации в Европе.

Исследование Ustun, T., Ozansoy, C. и Zayegh, A. «Modeling of a centralized microgrid protection system and distributed energy resources according to IEC 61850-7-420» представляет моделирование централизованной системы защиты микросети и распределенных энергетических ресурсов. Работа основана на стандарте IEC 61850-7-420 и рассматривает технические аспекты интеграции распределенной генерации в систему защиты.

В целом, представленные источники охватывают различные аспекты внедрения распределенной генерации. Они представляют ценную информацию для понимания текущего состояния и вызовов, связанных с распределенной генерацией, а также предлагают решения и рекомендации для успешной интеграции в электрические сети.

### Описание принципиального решения

Система автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования представляет из себя систему поддержки принятия решений, позволяющая оценить целесообразность внедрения технологий и устройств, проводя предварительные детальные испытания, основанные на моделировании работы объекта, которые максимально приближены к условиям их будущей эксплуатации. Она позволяет предоставить прогнозы эффективности различных стратегий развития и выявить потенциальные проблемы и риски, связанные с развитием энергетического актива [5], помогает оценить затраты на внедрение новых технологий и устройств. Это позволяет принимающим решениям выбрать наиболее экономически выгодные варианты развития энергетического актива. На рисунке 1 представлен отчет о периоде окупаемости инвестиции в энергетический актив. Срок окупаемости — это время, необходимое для возмещения инвестиций за счет сбережений. Инвестиция — красная полоса на графике. Синие столбцы — годовая экономия. На изображении ниже показан период окупаемости рекомендуемой конфигурации оборудования.

Ожидаемые результаты включают оптимизацию решений, улучшение процесса принятия решений, снижение рисков и достижение экономических преимуществ. Внедрение такой системы может значительно повысить эффективность и устойчивость развития энергетического актива, а также способствовать общественному благополучию и устойчивому развитию.

### Описание принципиального решения

Структура модуля автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования обычно включает три основных этапа: обработку данных, моделирование и составление отчета. Каждый из этих этапов выполняет свою функцию и является важной частью процесса принятия решений.

Система автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования использует микросервисную архитектуру, благодаря чему каждую задачу решает специализированный модуль [1]. Всего систему составляют 4 модуля: Metadata Framework, Data quality, Calculation Framework, Reporting

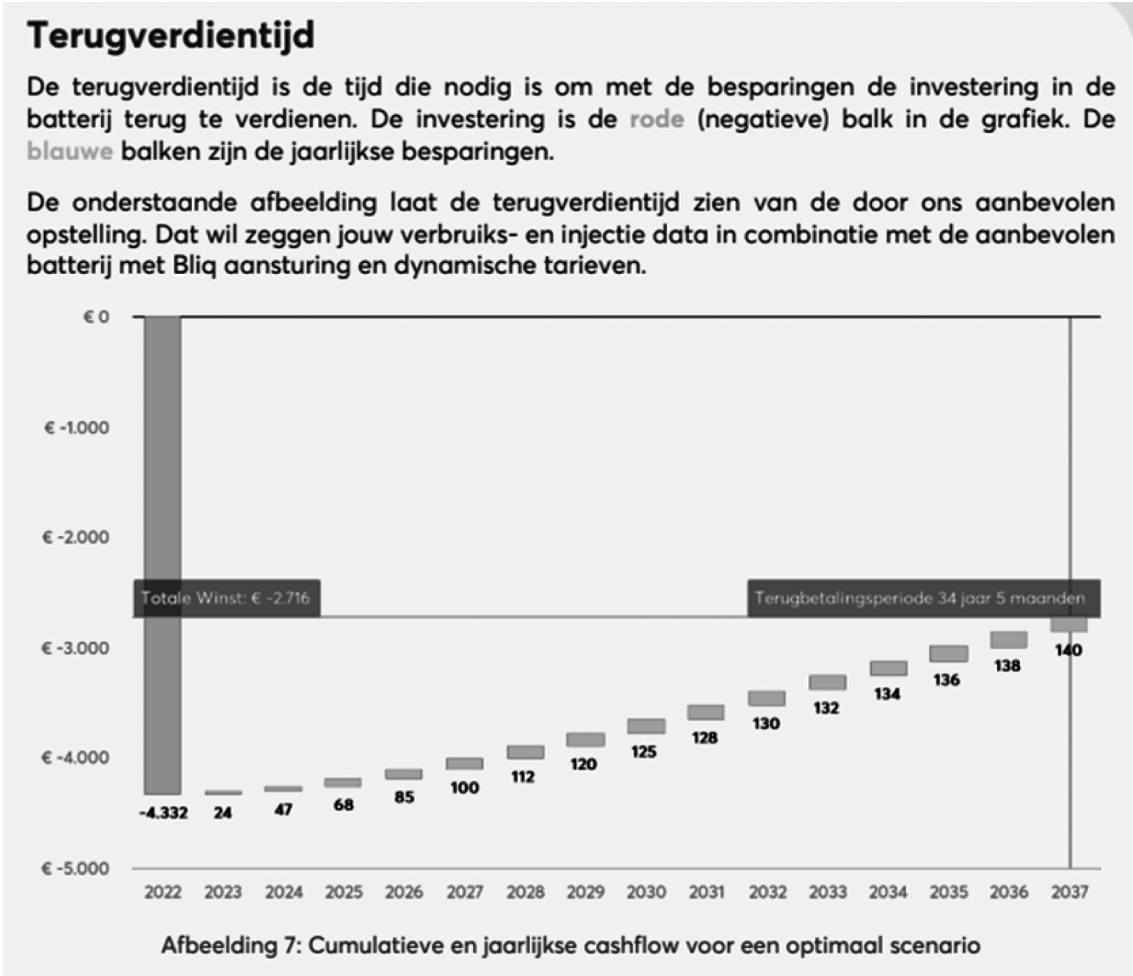


Рис. 1. Отчет с описанием периода окупаемости инвестиции

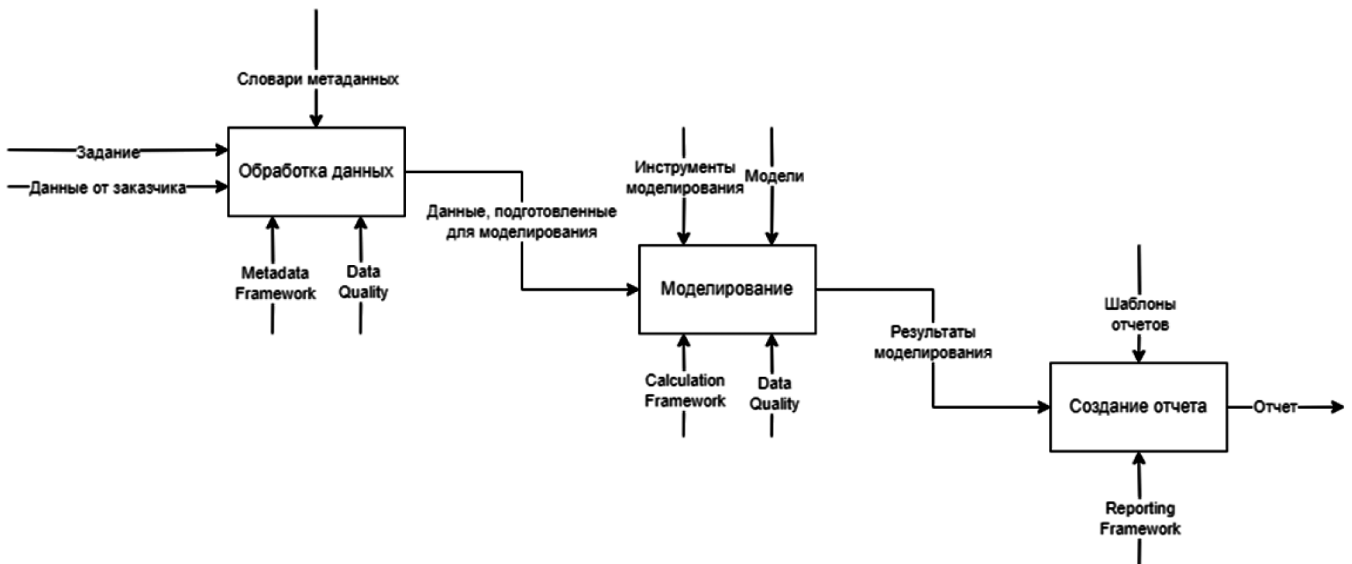


Рис. 2. Процесс автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива

Framework. Преимущество такой архитектуры приложения — это то, что каждый из модулей может использоваться отдельно вне системы, продолжая выполнять свои задачи.

Таблица 1.

Микросервисы составляющие систему автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования

Наименование микросервиса	Функция	Ключевой результат
Metadata Framework	Хранение и упрощение доступа к информации о спецификациях оборудования, тарифах на электроэнергию, погодных данных, параметрах симуляции.	Созданы словари метаданных, связанных с энергетической областью. В этих словарях хранится информация об оборудовании и сопутствующих параметрах, которые необходимы для моделирования работы энергетического актива.
Data quality	Улучшение качества данных. Автоматическая проверка, очистка, стандартизация и обогащение данных.	Повышено качество данных. Они очищены, преобразованы и подготовлены для дальнейшего использования.
Calculation Framework	Включает инструменты для моделирования и управления энергетическими технологиями в различных средах и на энергетических рынках. Создание моделей, запуск моделирования.	Построена модель работы энергетического актива. Проведена симуляция его работы.
Reporting Framework	Автоматическое создание и распространение отчетов.	Создан отчет на основе данных, полученных после моделирования.

### Описание процесса обработки данных

Процесс обработки данных включает в себя несколько этапов. Первым этапом является предоставление клиентом данных о текущем состоянии актива, а также при наличии данных, собранных во время работы актива о производстве и потреблении электроэнергии. Все эти действия клиент может выполнить через API, предоставляемый сервисом.

Вторым этапом является добавление этих данных в Metadata Framework, который помогает создавать желаемую конфигурацию энергосистемы с использованием визуального интерфейса, а также генерировать JSON-файлы для моделирования продукта с помощью URL-запроса к конфигуратору [6,9].

Третьим этапом является прохождение данных через микросервис DataQuality. Этот микросервис предназна-

чен для идентификации, мониторинга и очистки данных, делая их пригодными для использования по назначению.

Результатом процесса является получение данных, которые соответствуют задачам моделирования.

### Описание процесса моделирования

Процесс моделирования включает использование микросервиса Calculation Framework для имитации и моделирования различных комбинаций энергетических технологий. Этот процесс позволяет оценить эффективность и целесообразность внедрения определенных технологий и устройств в рамках стратегии развития энергетического актива [9].

Основной стратегией управления в модуле Calculation является модельный прогностический контроль (MPC). Она используется для принятия решений и определения оптимальных стратегий управления энергетическим активом. Модельный прогностический контроль основан на предварительной конфигурации оборудования, которая может быть взята из внешней базы данных.

В процессе моделирования производятся исторические оптимизации или симуляции на основе исторических временных рядов [6]. Это позволяет проводить анализ и оценку прошлых событий и результатов без учета неопределенности прогнозирования или оптимизации.

Однако для лучшей оценки результатов оптимизации и учета возможной неопределенности прогнозирования, в структуру моделирования включается неопределенность прогноза. Исторический контроль позволяет включить эту неопределенность и проводить более реалистичную оценку результатов оптимизации.

Процесс моделирования включает следующие шаги:

- загрузку данных о конфигурации оборудования;
- определение комбинаций энергетических технологий;
- проведение исторических оптимизаций или симуляций на основе исторических временных рядов;
- принятие решений на основе модельного прогностического контроля и оценка результатов оптимизации с учетом неопределенности прогноза.

В результате процесса моделирования получают оценки эффективности и потенциала различных комбинаций энергетических технологий, а также оптимальные стратегии управления энергетическим активом. Эти результаты помогают принимать информированные решения о внедрении технологий и устройств для дальнейшего развития энергетического актива [2].



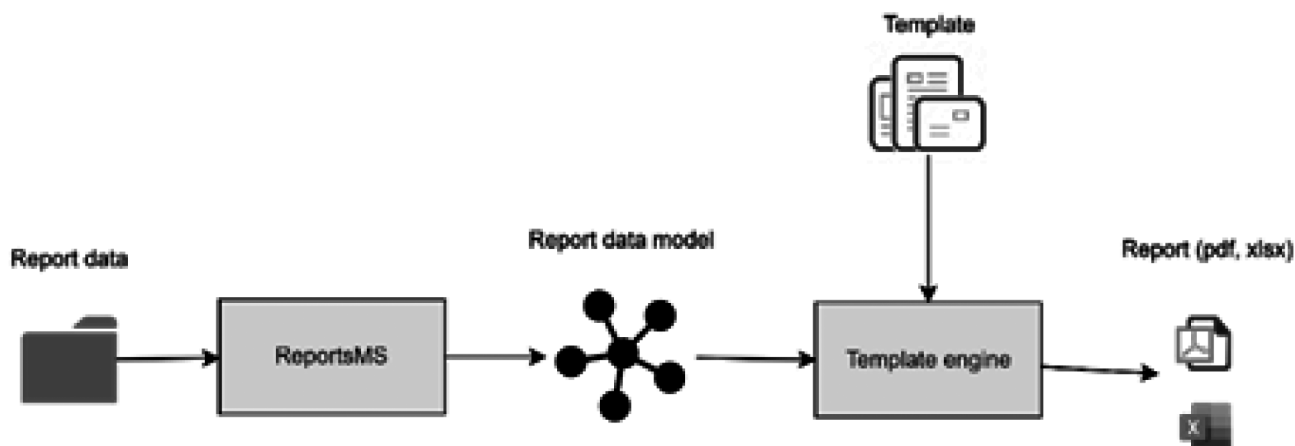


Рис. 3. Схема работы модуля для генерации отчетов

### Описание процесса формирования отчета

Reporting Framework (фреймворк для создания отчетов) представляет собой набор инструментов и процессов, разработанных для автоматического создания, форматирования и распространения отчетов. Целью фреймворка является обеспечение эффективного и автоматизированного процесса создания отчетов, что позволяет сэкономить время и снизить количество ошибок, связанных с ручным составлением отчетов.

Фреймворк предлагает механизм создания отчетов на основе заранее определенных шаблонов. Отчеты могут быть сгенерированы в различных форматах, таких как PDF или Excel, и могут быть автоматически сохранены в удобном для использования виде. На рисунке 3 приведена схема работы модуля для генерации отчетов.

### Обсуждение

Внедрение модуля для обработки данных и моделирования в рамках энергетического актива привело к значительным практическим результатам и улучшениям в управлении активом. Ниже приведены основные практические результаты, достигнутые в результате внедрения модуля:

**Улучшение качества данных:** Модуль обработки данных позволил значительно повысить качество данных, используемых для моделирования. Процессы очистки, стандартизации и исправления ошибок данных помогли устранить несоответствия и повысить достоверность информации, что привело к более точным и надежным результатам моделирования.

**Оптимизация стратегий управления:** в результате внедрения микросервиса для моделирования удалось существенно сократить затраты на моделирование типовых активов. Теперь мы можем проводить имитационное моделирование различных комбинаций

энергетических технологий, оценивать эффективность и целесообразность внедрения конкретных технологий и устройств, а также определять оптимальные стратегии управления энергетическим активом в автоматическом режиме, по запросу.

**Сокращение затрат и рисков:** модуль моделирования позволил проводить предварительные детальные испытания, основанные на моделировании работы объекта. Это позволило снизить затраты и риски, связанные с физическими испытаниями и экспериментами на реальных объектах.

**Автоматизация и ускорение процессов:** модуль обработки данных и моделирования позволил автоматизировать множество рутинных и повторяющихся задач. Процессы обработки данных, подготовки моделей и генерации отчетов стали выполняться автоматически, что сократило количество усилий, затрачиваемых на эти задачи, и ускорило время формирования отчетов и результатов моделирования.

В целом, внедрение модуля для обработки данных и моделирования привело к улучшению качества данных, оптимизации стратегий управления, сокращению затрат и рисков, автоматизации и ускорению процессов, а также улучшению принятия решений в рамках развития энергетического актива.

### Заключение

Внедрение модуля обработки данных и моделирования в энергетической отрасли привело к улучшению качества данных, автоматизации процессов и снижению временных и финансовых затрат. Также его использование обеспечило более точные и достоверные результаты моделирования, значительно улучшив управление активами. Создание микросервиса моделирования позволило автоматизировать процесс создания типовых симуляций, что привело к улучшению производительности

системы в целом, а также позволило создать инструменты для моделирования и управления энергетическими технологиями в различных средах и на энергетических рынках.

В ходе апробации разработанного решения при сотрудничестве с компанией BLIQ была создана серия отчетов для различных объектов. Эти отчеты могут помочь оценить пользу от использования дополнительных ба-

тарей для хранения электроэнергии, а также показать стратегию запаса и продажи произведенной электроэнергии для получения прибыли.

Таким образом, успешное внедрение модуля обработки данных открывает новые перспективы для эффективного использования ресурсов, оптимизации стратегий и создания устойчивой энергетической системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурман, А.П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учебное пособие / А.П. Бурман, Ю.К. Розанов, Ю.Г. Шакарян. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 336 с.
2. Илюшин, П.В. Внедрение распределенной генерации. Анализ существующего опыта, возникающие проблемы, комплексное решение технических вопросов интеграции в распределительные сети // Сборник докладов XXI заседания Ассоциации электроснабжения городов России «ПРОГРЕССЭЛЕКТРО». 25–26 марта, 2015, Москва, Россия. — С.114–122.
3. Илюшин, П.В. Подходы к оценке возможности обеспечения надежного электроснабжения потребителей за счет строительства объектов распределенной генерации / П.В. Илюшин, Ю.Н. Кучеров // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. -2014. — №5. — С. 2–7.
4. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина. — ИНЭИ РАН, Московская школа управления СКОЛКОВО. — Москва, 2019. — 209 с.
5. Загорнов, М.А. Новые технологии распределенной энергетики. Практический опыт развития собственной генерации в регионах России: примеры проектов // Материалы международной конференции «От проекта до объекта: специфика строительства объектов распределенной генерации в регионах России», 25 октября 2018, Москва, Россия. — С. 1–20.
6. Duan, J. Data integrity attack on consensus-based load shedding algorithm for power systems / J. Duan, M.Y. Chow // Proc. of the 43rd Ann. Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), 2017, China.
7. European Union. 2030 Climate and Energy Policy Framework. Brussels, Belgium. 2014. Available online: [climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework\\_en](http://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en).
8. Molderink, A. Management and control of domestic smart grid technology / A. Molderink, V. Bakker, M.G. Bosman, G.L. Hurink, G.J. Smit // IEEE Trans. Smart Grid. — 2010. — Vol. 1. — pp. 109–119.
9. Ustun, T. Modeling of a centralized microgrid protection system and distributed energy resources according to IEC 61850-7-420 / T. Ustun, C. Ozansoy, A. Zayegh // IEEE Trans. Power Syst. — 2016. — Vol. 27, — № 3. — pp. 1560–1567.