

Имитационная модель энергобаланса профессионального потребителя

Е. В. Отрубьянников^{*,1}, П. А. Пустовойт^{*}, Е. М. Маркин^{*}

**Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия*

Аннотация

В работе представлена имитационная модель энергобаланса профессионального потребителя. Показаны возможности детализации такого рода моделей, а также универсальность подхода. Обосновано использование системно-динамического подхода и проведен анализ существующих моделей. Продемонстрирована реализованная в программном обеспечении AnyLogic имитационная модель предприятия профессионального потребителя. Определены основные параметры модели, показаны возможности корректирующих коэффициентов и функций, их определяющих. Показано, что прогнозирование двух функций, потребления и генерации, без использования имитационной модели бесперспективно, в том числе из-за значимого объема случайных факторов, в первую очередь это связано с неравномерной генерацией от основных источников внутренней генерации, а также из-за разнесения во времени пиков генерации и пиков потребления. Показаны возможности перехода модели к цифровому двойнику, а также потенциал модели при оптимизации и прогнозировании.

Ключевые слова

Профессиональный потребитель, имитационная модель, системно-динамическая модель, энергобаланс предприятия, микросеть.

Введение

Современный этап развития технологий подводит нас к состоянию, когда автономное производство является доступной и реализуемой возможностью. В декабре 2019 г. Государственная дума Российской Федерации определила сущность понятия «объект микрогенерации», а постановление Правительства России №299 от 2 марта 2021 г. обязало энергосбытовые компании рассматривать объекты

микрогенерации как генерирующие элементы единой энергосистемы. Фактически данное постановление дало старт изменению отношения к микрогенерации — ранее такого рода деятельность была более характерна для индивидуальных хозяйств, которые либо в меру технической необходимости, либо в целях идейного подхода реализовывали механизмы закрытия собственных потребностей в энергии. Переход к схеме профессионального потребителя

¹ Для переписки:

Email: otrubyannikov-ev@rguk.ru

или потребителя-производителя («просьюмерская» энергетика) открывает для предприятий широкие возможности. В частности, субъект микрогенерации, обладающий мощностями генерации до 15 кВт, может реализовывать электроэнергию в единую энергосистему, и такого рода доходы не требуют регистрации отдельного юридического лица и не будут облагаться налогами до конца 2028 г. Отчет Ассоциации развития возобновляемой энергетики [1] указывает на стабильный рост в 2022–2023 гг. объема генерации электроэнергии при помощи возобновляемых источников энергии. Стоит отметить, что в 2023 г. отмечен рост объёма электроэнергии, вырабатываемой в рамках свободных двусторонних договоров, что подтверждает заинтересованность владельцев объектов микрогенерации в реализации и распределении получаемой энергии.

Литературный обзор показал, что исследования, связанные с энергосбережением и энергоэффективностью производственных предприятий достаточно популярны, а методы и инструменты такого рода исследований очень неоднородны — от регрессионного статистического анализа [2] до имитационных моделей агентного типа [3]. При этом прослеживается общая тенденция к учащению случаев применения имитационного моделирования по мере роста сложности моделируемой системы [4, 5].

В общем смысле энергоэффективность должна рассматриваться на всех этапах: генерация, транспортировка, потребление [6]. Особо это важно при рассмотрении схемы профессионального потребителя, имеющего внутри микросети все три составляющие. С использованием имитационного моделирования подобные задачи часто решаются в рамках агентного подхода, но с точки зрения систем управления энергосистемой [7], и показывают высокую

эффективность. Такой же подход применяется для создания цифровых двойников крупных энергосетей [8, 9]. Однако данных о возможности использования этих моделей в реальном времени нет, что вероятно связано с комбинированным подходом к созданию модели и использованием дискретно-событийной парадигмы. Отсутствие возможности синхронизации модельного времени с реальным временем ставит под вопрос полноценное использование цифрового двойника, а также возможность использования такого подхода к прогнозированию процесса в реальном времени.

Стоит отметить, что системно-динамический подход для моделирования энергоэффективности встречается в ряде работ, однако в большинстве своём модели создаются для энергосистем в целом, применяя интегральные понятия потребление и генерация. Также существуют подходы [10], рассматривающие энергоэффективность в совокупности с тепловыми процессами, но большинство из таких моделей ориентировано только на электрогенерацию.

Материалы и методы решения задачи

Предлагаемая в данной работе модель представляет собой системно-динамический подход к проблеме распределения и эффективного использования энергии на предприятии. Особенность такого подхода относительно агентного в большей универсальности, которая в первую очередь проявляется отсутствием необходимости реализовывать логику конкретного агента и необходимости синхронизировать модельное и реальное время [11]. С другой стороны, степень детализации предложенной модели в некоторых зонах энергосистемы может быть меньше, чем у перечисленных ранее моделей. Полученная модель является продолжением работы

представленной в [12], и так же реализована в программном обеспечении AnyLogic.

Особенностью системно-динамического подхода к моделированию в системе AnyLogic является возможность использования единиц измерения для потоков и накопителей, что позволяет реализовать несколько уровней модели (рисунок 1), получая инженерные и экономические характеристики процесса одновременно. Взаимное влияние уровней выражается в экономической оценке энергетического баланса предприятия, а обратное влияние достигается за счет экономической обоснованности использования энергетических ресурсов.

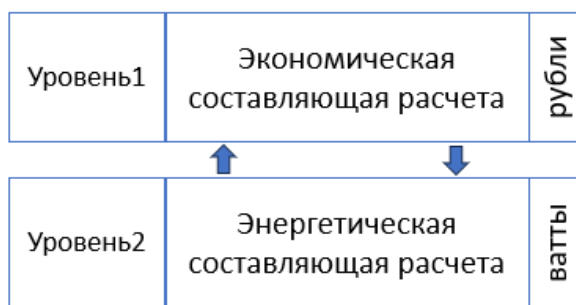


Рисунок 1 — Уровни модели и их единицы измерения

Энергетическая модель профессионального потребителя состоит из двух возможных источников энергии – электросеть общественного пользования и источники внутренней электрогенерации. Баланс потребления между этими источниками определяется доступностью и экономической целесообразностью. Также для солнечной и ветрогенерации характерна неравномерность, что создает эксплуатационные проблемы при неравномерном потреблении. Прямое сравнение объема генерации и потребления не может характеризовать энергоэффективность профессионального потребителя. Такая оценка возможна при условной возможности накапливать всю электроэнергию, получаемую

из источников внутренней генерации, но такая ситуация ограничена экономической целесообразностью стоимости хранения энергии. Нецелесообразность другой граничной ситуации, когда вся энергия, вырабатываемая внутренними источниками, направляется в общественную сеть, также обусловлена экономической составляющей — стоимость реализуемой энергии меньше, чем стоимость приобретаемой, к тому же объем реализуемой энергии законодательно ограничен.

Структура электрогенерации от возобновляемых источников профессионального потребителя логически делится на группы по видам — солнечная, гидро, ветро- генерация и т. д. В свою очередь, каждая из групп делится на локализации. Локализация — это указание места генерации и специфических свойств, в частности функции генерации конкретного источника. В модели такие возможности реализованы параметрами, которые могут быть заданы как интегральные характеристики значения генерирующих функций от всех источников одного вида. Для целей прогнозирования параметры могут находиться как значения функции, аппроксимирующей исходные данные по фиксированным аналогичным периодам: временам года, времени суток и т. д. Для целей создания цифрового двойника данные параметры берутся как исходные из базы данных показаний измерительных приборов на конкретной локализации.

Структура потребления определяется аналогичным образом — изначально по видам потребления, которые, в свою очередь, делятся на локализации. При этом каждая точка локализации характеризуется графиком потребления и энергоэффективностью используемого оборудования. По видам потребления могут быть выделены следующие группы — освещение, электродвигатели, нагрев воды,

отопление, холодильное оборудование, насосное оборудование и т. д.

Структура хранения энергии профессионального потребителя реализуется логическим накопителем — абстрактным объединением всех возможных форм накопления энергии, в частности, это могут быть аккумуляторные батареи, тепловые батареи, гидроаккумулирующие устройства, химические накопители и т.д. Наиболее распространённым способом накопления являются аккумуляторные батареи, но рассматриваемая модель позволяет учитывать любые варианты накопления и преобразования энергии, раскладывая логическую группу накопления на локальные точки накопления со своими свойствами и особенностями.

Прогнозировать наложение двух функций — потребления и генерации — без использования имитационной модели весьма трудоёмко, в том числе из-за значимого объёма случайных факторов, влияющих на генерацию от внутренних источников. В свою очередь, имитационная

модель позволяет повысить эффективность эксплуатации энергосетей профессионального потребителя, а также лучше понять структуру их функционирования.

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлена имитационная модель микросети сельхозпредприятия, которое за счет внутренней генерации является профессиональным потребителем. Имитационная модель реализована в программном обеспечении AnyLogic. Данный потребитель имеет в своей сети два вида источника генерации — солнечные панели и ветрогенератор. В качестве накопителя энергии в сети используется аккумуляторная батарея. Структура потребителей определена следующими видами: насосное оборудование, отопление, электродвигатели, освещение, холодильники, прочее. В соответствии с требованиями языка Java, лежащего в основе AnyLogic, имена параметров модели заданы на английском языке.

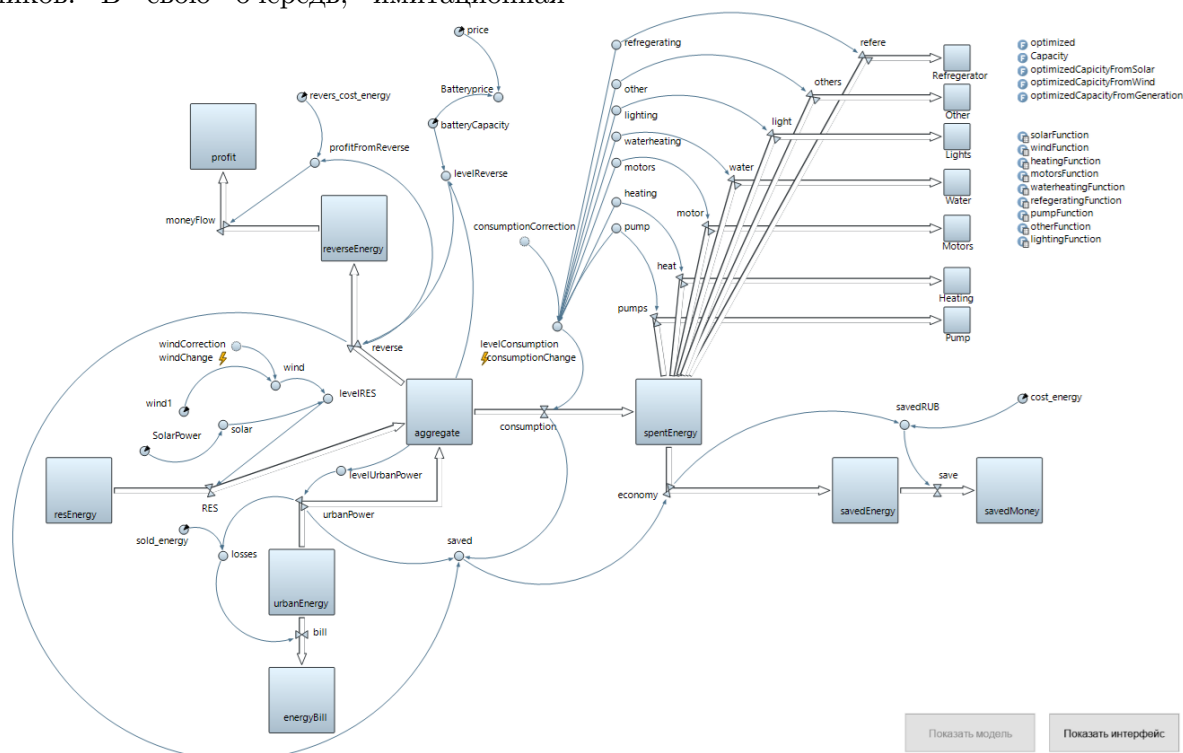


Рисунок 2 — Имитационная модель микросети профессионального потребителя, реализованная в программном обеспечении AnyLogic

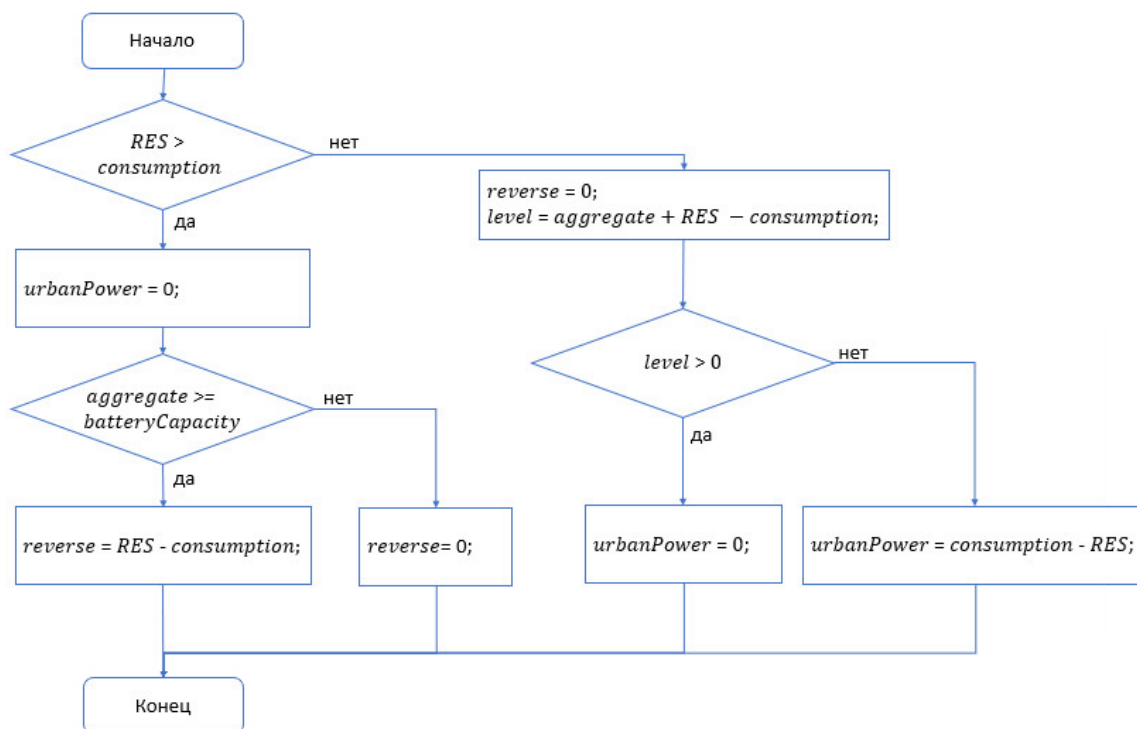


Рисунок 3 — Блок-схема определения зависимых параметров для расчета накопителя aggregate

Основным накопителем, характеризующим динамику генерации/потребления в рамках данной микросети, является накопитель *aggregate*. Текущее изменение состояния накопителя определяется формулой:

$$\frac{d(\text{aggregate})}{dt} = \text{RES} + \text{urbanPower} - \text{consumption} - \text{reverse},$$

где *RES* — суммарная генерация от внутренних источников, *urbanPower* — суммарное потребление из общей энергосистемы, *consumption* — суммарная мощность потребителей в текущий момент времени, *reverse* — мощность, возвращаемая профессиональным потребителем в электросеть общественного пользования.

Зависимые параметры *reverse* и *urbanPower* определяются по алгоритму, представленному на рисунке 3, где *batteryCapacity* — ёмкость аккумуляторной

батареи в ваттах, *level* — величина, характеризующая достаточность текущего заряда для покрытия мгновенного потребления.

Параметр *RES* определяется как сумма текущей генерации солнечных панелей (*solar*) и ветрогенераторов (*wind*). Которые в свою очередь представлены в качестве функций от времени суток и времени года. Для каждой из функций введены стохастические коэффициенты, распределенные по закону Симпсона, которые позволяют моделировать работу реальной системы.

Параметр *consumption* — определяется как величина мгновенной потребляемой мощности по всем видам потребителей. Каждый из видов представляет собой суммарное потребление всех входящих в данный вид потребителей, каждый из которых уже определяется функцией потребления в зависимости от времени суток и/или других факторов. В представленной на рисунке 2 модели используется

единственный поправочный коэффициент *consumptionCorrection*, однако в случае необходимости коэффициенты могут быть введены на уровне видов потребителей и даже применительно к каждому конкретному потребителю.

Накопители *resEnergy*, *reverseEnergy*, *spentEnergy*, *urbanEnergy* — введены для накопительной оценки каждого из логических классов энергии: произведенной внутренними источниками генерации, переданной в сети общего пользования, израсходованной и выбранной из сети общего пользования соответственно. Единицы измерения данных накопителей — ватты. Накопители *profit*, *energyBill*, *savedMoney* — позволяют оценить выгоду от возвращенной в сеть общего пользования энергии, стоимость энергии, купленной из сети общего пользования, и общую экономию. Единицы измерения этих накопителей — рубли. Наличие агрегирующих накопителей не является обязательным для функционирования модели, а сделано исключительно для удобства анализа получаемых в процессе исполнения модели результатов.

В общем случае параметры предлагаемой модели представлены в таблице 1. Параметры, отмеченные как множественные, могут существовать в модели в любом количестве. Параметры, отмеченные как целевые показатели, использовались для проведения оптимизационных экспериментов. Перечисленные параметры для модели должны быть дополнены корректирующими коэффициентами. При этом данные коэффициенты могут быть как независимыми, так и иметь функциональную зависимость между собой или от параметров модели. В частности, в реализованной модели предлагается функция,

характеризующая погодную специфику конкретного района — она может определяться как статистическими данными наблюдений, так и задаваться явным образом. Эта функция оказывает влияние сразу на несколько параметров модели: определяет интенсивность внутренней генерации (*solar*, *wind*) и меняет потребность в обогреве и охлаждении (*heat*, *refere*). Ещё одним специфическим, для имитационных моделей, дополнением модели является график, характеризующий рабочие периоды для каждого из видов оборудования. Большинство энергоёмкого оборудования работает в периодических интервалах в соответствии с трудовым расписанием, что может быть реализовано таким графиком.

Заключение

Предложенная модель позволяет выполнить целый ряд оптимизационных экспериментов в зависимости от исходных параметров. В частности, для предприятия, модель которого представлена на рисунке 2, проведены следующие эксперименты:

- поиск минимального объёма аккумуляторных батарей при известной мощности потребителей, графике потребления, а также условий внутренней генерации, при минимизации затрат на электроэнергию;
- определение минимальной суммарной мощности внутренней генерации при известной мощности потребителей, графике потребления с целью сведения затрат на электроэнергию к нулю;
- определение минимально допустимой стоимости аккумуляторных батарей при известной мощности потребителей, графике потребления, на условиях гарантированной окупаемости батарей за счет возвратной энергии за 5 лет;

Таблица 1 — Параметры имитационной модели

Параметр	Роль в цифровом двойнике	Роль в модели	Целевой показатель	Несколько объектов	Единица измерения
Мощность локальной точки генерации энергии	Показание измерительных приборов на конкретной локальной точке генерации	Задается характеристиками оборудования	Да	Да	Ватт
Суммарная мощность внутренней генерации	Рассчитывается как сумма мощностей генерирующих устройств	Рассчитывается как сумма мощностей генерирующих устройств	Да	Нет	Ватт
Объём локального накопителя энергии	Фактический объём локального накопителя энергии	Задается характеристиками локального накопителя энергии	Да	Да	Ватт
Суммарный объём накопителя энергии	Фактический суммарный объём накопителя энергии	Рассчитывается как суммарный объём локальных накопителей энергии	Да	Нет	Ватт
Потребляемая мощность	Показания измерительных приборов на конкретном виде оборудования	Задается характеристиками оборудования с учетом поправочных коэффициентов	Нет	Да	Ватт
Суммарная потребляемая мощность конкретным видом оборудования	Сумма показаний измерительных приборов на всех единицах оборудования одного вида	Рассчитывается как суммарное потребление по конкретному виду оборудования	Нет	Нет	Ватт
Суммарная потребляемая мощность всеми видами оборудования	Сумма всех показаний по всем видам оборудования	Рассчитывается как суммарное потребление по всему оборудованию.	Нет	Нет	Ватт
Стоимость энергии из сети общего пользования	Стоимость энергии для микросети	Стоимость энергии для микросети	Нет	Нет	Рубль
Цена продажи энергии в сеть общего пользования	Стоимость продажи энергии в сеть общего пользования	Стоимость продажи энергии в сеть общего пользования	Да	Нет	Рубль
Стоимость накопителя энергии	Фактическая стоимость оборудования для накопления энергии	Ожидаемая стоимость исходя из параметров накопителя	Да	Нет	Рубль
Стоимость локальной точки генерации энергии	Фактическая стоимость локальной точки генерации энергии	Ожидаемая стоимость исходя из параметров и вида генерации	Нет	Да	Рубль

Каждый эксперимент состоял из 50 тысяч симуляций без графического интерфейса с возможностью вывода статистических данных. Целевой параметр выводится в отдельную процедуру и иллюстрируется на итоговом графике. В модели реализована возможность просмотреть эксперимент, показавший самые высокие значения по целевым характеристикам, а также просмотреть эксперименты в доверенной области 10% от оптимального значения.

Модель имеет высокий потенциал к прогнозированию, что обусловлено её имитационной природой. Фактически цифровой двойник, имеющий достоверные сведения в реальном времени, может прогнозировать состояние энергосистемы на различные временные интервалы, взяв за основу тенденции, полученные в аналогичный период по каждому из влияющих корреляционных коэффициентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Ежеквартальный информационный обзор рынка ВИЭ в России II квартал (апрель – июнь) 2023 // Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ) URL: https://rreda.ru/upload/iblock/94f/jztdm2ih6dwxh99bwyupk3iws01qj1gb9/202307_RREDA_quarterly_report_q_2_2023.pdf (дата обращения: 01.11.2023).

[2]. Карпенко С. М., Карпенко Н. В., Сахаров В. Е. Моделирование электропотребления на основе данных с переменной структурой. *Энергобезопасность и энергосбережение*, 2021, № 3, с. 13–17. DOI: 10.18635/2071-2219-2021-1-13-17

[3]. Марьясин О. Ю., Огарков А. А. Имитационное моделирование и оптимизация энергопотребления офисного здания. *Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник трудов восьмой*

Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности, Санкт-Петербург, 18–20 октября 2017 года, Санкт-Петербург: НП «НОИМ», 2017, с. 480–484.

[4]. Бабина О. И., Сравнительный анализ имитационных и аналитических моделей. *Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник трудов первой Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности*, Санкт-Петербург, 21–23 октября 2009 года, Санкт-Петербург, 2009, с. 73–77.

[5]. Макова А. С. Перспективы развития имитационного моделирования. *Современные наукоемкие технологии*, 2014, № 7–1, с. 59–60.

[6]. Акатьев В. А., Тюрин М. П., Бородин Е. С. Повышение энергоэффективности при производстве, передаче и потреблении электроэнергии. *Энергобезопасность и энергосбережение*, 2020, № 6, с. 8–17. DOI: 10.18635/2071-2219-2020-6-8-17.

[7]. Modeling Intelligent Control Systems based on a Digital Platform for the Management of Distributed Energy Systems (Anylogic Conference 2021) // AnyLogic URL: <https://www.anylogic.ru/upload/pdf/alc-2021/intelab-modeling-intelligent-control-systems.pdf> (дата обращения: 01.11.2023).

[8]. A Digital Twin for highly efficient & sustainable districts (Anylogic Conference 2022) // AnyLogic URL: <https://www.anylogic.com/upload/pdf/alc-2022/eifer-presentation.pdf> (дата обращения: 01.11.2023).

[9]. Virtual Demonstration of Decentralized Energy Management // YouTube URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EXqqiDRxQRo> (дата обращения: 01.11.2023).

- [10]. Страхова Н. А., Лебединский П. А. Имитационное моделирование как инструмент анализа энергоэффективности теплогенерирующих предприятий. *Инженерный вестник Дона*, 2013, № 4(27), с. 155.
- [11]. Борщёв А. В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика. *Exponenta PRO: Математика в приложениях*, 2004, № 3-4, с. 38-47.
- [12]. Отрубянников Е. В., Орлов О. Я. Отдельное здание как микросеть в концепции Smartgrid. *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 17–20 апреля 2023 года, Т. №3, Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2023, с. 212–215.*

Отрубянников Егор Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности, Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1)

Пустовойт Павел Александрович — аспирант, кафедра энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности, Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1)

Маркин Евгений Михайлович — аспирант, кафедра энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1)

Simulation model of the professional consumer's energy balance

E. V. Otrubyannikov^{*,1}, P. A. Pustovoyt^{*}, E. M. Markin^{*}

**The Kosygin State University of Russia, Moscow, Russia*

Abstract

The paper presents a simulation model of the energy balance of a professional consumer. The possibilities for detailing this kind of models, as well as the universality of the approach, are shown. The use of a system-dynamic approach is justified and an analysis of existing models is carried out. A simulation model of a professional consumer enterprise is demonstrated, implemented in AnyLogic software. The main parameters of the model are determined, the possibilities of correction coefficients and the functions that determine them are shown. It is shown that forecasting two functions, consumption and generation, without using a simulation model is unpromising, including some random factors, primarily due to uneven generation from the main sources of internal generation, as well as due to the time difference generation peaks and consumption peaks. The possibilities of transitioning the model to a digital twin are shown, as well as the potential of the model for optimization and forecasting.

Keywords

Professional consumer, simulation model, system dynamic model, enterprise energy balance, microgrid.

REFERENCES

[1]. Ezhekvartal'nyi informatsionnyi obzor rynka VIE v Rossii II kvartal (aprel' – iun') 2023 // Assotsiatsiia razvitiia vozobnovliaemoi energetiki (ARVE). [Quarterly information review of the renewable energy market in Russia II quarter (April–June) 2023]. URL: https://rreda.ru/upload/iblock/94f/jztdm2ih6dwxh99bwypk3iw_s01qj1gb9/202307_RREDA_quarterly_report_q_2_2023.pdf (data obrashcheniia: 01.11.2023). (In Russ.)

[2]. Karpenko S. M., Karpenko N. V., Sakharov V. E. Modelirovanie elektropotrebleniia na osnove dannykh s peremennoi strukturoi. [Modeling power consumption based on data with variable structure]

Energobezopasnost' i energosberezhenie [Energy security and energy saving], 2021, № 3, pp. 13–17. (In Russ.)

DOI: 10.18635/2071-2219-2021-1-13-17

[3]. Mar'iasin O. Iu., Ogarkov A. A. Imitatsionnoe modelirovanie i optimizatsiia energopotrebleniia ofisnogo zdaniia. Imitatsionnoe modelirovanie. [Simulation modeling and optimization of energy consumption of an office building]. *Teoriia i praktika: Sbornik trudov vos'moi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii po imitatsionnomu modelirovaniu i ego primeneniui v nauke i promyshlennosti*, [Simulation modeling. Theory and practice: Collection of proceedings of the Eighth All-Russian

¹ Corresponding author:

Email: otrubyannikov-ev@rguk.ru

Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry], Sankt-Peterburg: NP «NOIM» Publ., 2017, pp. 480–484. (In Russ.)

[4]. Babina O. I., Sravnitel'nyi analiz imitatsionnykh i analiticheskikh modelei. Imitatsionnoe modelirovanie. [Comparative analysis of simulation and analytical models]. *Teoriia i praktika: Materialy konferentsii. Sbornik dokladov*, [Simulation modeling. Theory and practice: Collection of proceedings of the first All-Russian scientific and practical conference on simulation modeling and its application in science and industry], Sankt-Peterburg, 2009, pp. 73–77. (In Russ.)

[5]. Makova A. S., Perspektivy razvitiia imitatsionnogo modelirovaniia. [Prospects for the development of simulation modeling] *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, [Modern high technology], 2014, № 7-1, pp. 59–60. (In Russ.)

[6]. Akat'ev V. A., Tiurin M. P., Borodina E. S. Povyshenie energoeffektivnosti pri proizvodstve, peredache i potreblenii elektroenergii. [Increasing energy efficiency in the production, transmission and consumption of electricity]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*, [Energy security and energy saving], 2020, № 6, pp. 8–17. (In Russ.) DOI: 10.18635/2071-2219-2020-6-8-17.

[7]. Strakhova N. A., Lebedinskii P. A. Imitatsionnoe modelirovanie kak instrument analiza energoeffektivnosti teplogeneriruiushchikh predpriatii. [Simulation modeling as a tool for analyzing the energy efficiency of heat generating enterprises]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, [Engineering Bulletin of the Don], 2013, № 4(27), pp. 155. (In Russ.)

[8]. Modeling Intelligent Control Systems based on a Digital Platform for the Management of Distributed Energy Systems (Anylogic Conference 2021) // AnyLogic

URL: <https://www.anylogic.ru/upload/pdf/alc-2021/intelab-modeling-intelligent-control-systems.pdf> (date accessed: 01.11.2023).

[9]. A Digital Twin for highly efficient & sustainable districts (Anylogic Conference 2022) // AnyLogic
URL: <https://www.anylogic.com/upload/pdf/alc-2022/eifer-presentation.pdf> (date accessed 01.11.2023).

[10]. Virtual Demonstration of Decentralized Energy Management // YouTube
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EXqqiDRxQRo> (date accessed: 01.11.2023).

[11]. Borshchev A. V. Prakticheskoe agentnoe modelirovanie i ego mesto v arsene analitika. [Practical agent-based modeling and its place in the analyst's arsenal]. *Exponenta PRO: Matematika v prilozheniiakh*, [Exponenta PRO: Mathematics in Applications], 2004, № 3–4, pp. 38–47. (In Russ.)

[12]. Otrubiannikov E. V., Orlov O. Ia. Otdel'noe zdanie kak mikroset' v kontseptsii Smartgrid. [Individual building as a microgrid in the Smartgrid concept]. *Innovatsionnoe razvitie tekhniki i tekhnologii v promyshlennosti: Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii molodykh issledovatelei s mezhdunarodnym uchastiem*, [Innovative development of engineering and technology in industry: Collection of materials of the All-Russian Scientific Conference of Young Researchers with International Participation], Moscow, 17–20 apreliia 2023 goda, T. №3, Moscow: Federal'noe gosudarstvennoe biudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Russian gosudarstvennyi universitet imeni A.N. Kosygina (Tekhnologii. Dizain. Iskusstvo)» Publ., 2023, pp. 212-215. (In Russ.)

Otrubyannikov E. V. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Pustovoyt P. A. — postgraduate student, Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Markin E. M. — postgraduate student, Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Имитационная модель энергобаланса профессионального потребителя /
Е. В. Отрубянников, П. А. Пустовойт, Е. М. Маркин // Промышленные процессы и
технологии. 2023. Т. 3. № 3(10). С. 88 – 99.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-3(10)-88-99

Please cite this article as:

Otrubyannikov E. V., Pustovoyt P. A., Markin E. M. Simulation model of the
professional consumer's energy balance. Industrial processes and Technologies, 2023, vol. 3,
no. 3(10), pp. 88 – 99.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-3(10)-88-99