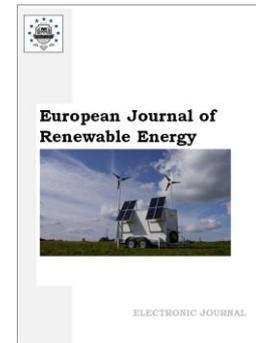


Copyright © 2021 by Cherkas Global University



Published in the USA
European Journal of Renewable Energy
Has been issued since 2016.
E-ISSN 2454-0870
2021. 6(1): 3-8

DOI: 10.13187/ejre.2021.1.3
<https://ejre.cherkasgu.press>



Articles

Use of Mathematical Models in the Energy Sphere of Human Activity

Danila A. Inzhuvatov ^{a, b, c}, Ali Kalmamatov ^{a, *}

^a Academy of Management and Production, Moscow, Russian Federation

^b Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

^c Mozhaysk Open College, Mozhaisk, Russian Federation

Abstract

It is impossible to imagine a modern human society without energy, and the need for it is increasing every year. To meet this need, first of all, it is necessary to conduct research in this area. Conducting such studies will show the current state of energy efficiency in the enterprise. It allows you to analyze the use of energy resources of the enterprise, the cost of them, to detect places of unreasonable use of resources, to develop a program for the implementation of energy-saving events and projects. Since these technologies are complex and expensive, scientists suggest testing new technologies on mathematical models, which is faster and much cheaper. This paper provides a literature review of examples of the use of such models in various energy sectors. On these examples it will be possible to clearly see the relevance of this topic. It is concluded that mathematical modeling of energy facilities has widely penetrated into many branches of the national economy. Moreover, the environment for the software implementation of the developed models varies in a wide range, from the universal MathCad type to specialized software packages. The paper considers only some areas of energy, where this issue is most important, and also summarizes the benefits obtained by using mathematical models.

Keywords: mathematical modeling, electric drive, technological unit, heat energy accumulation.

1. Введение

Нужда в легкодоступной энергии всегда существовала в любом обществе. Использование энергии вырастает с развитием человечества. Люди пытаются найти новые источники энергии, которые были бы выгодны во всех отношениях: несложность добычи, общедоступность транспортировки, выполняемость. Уголь и газ переставляется на второй план: их используют исключительно там, где невозможно пользоваться чем-либо другим. Энергетика представляется главным для формирования производственных сил в любом государстве. Вдобавок гарантирует верную работу промышленности, сельского хозяйства, транспорта (Гребнев, Демиденко, 2022).

* Corresponding author

E-mail addresses: akalmamatov007@gmail.com (A. Kalmamatov), antysalo@yandex.ru (D.A. Inzhuvatov)

Поэтому важно на сегодняшний день определить выгодные пути развития энергетики, причем выгодные не только лишь с точки зрения дешевизны топлива, но и с точки зрения сложности конструкций, эксплуатации, дешевизны материалов, необходимых для строительства станции, долговечности станций. Энергетика ворвалась во все сферы деятельности человека: промышленность, сельское хозяйство, науку и космос. Представить без электричества наш быт также невозможно. Главным потребителем электроэнергии остается промышленность, впрочем, ее удельный вес в общем полезном потреблении электроэнергии во всём мире существенно снижается. Электричество в быту представляется главной частью обеспечения комфортной жизни людей (Амирханян и др., 2022; Воронина и др., 2016).

Построение математических моделей должно является важной первоначальной точкой развития программы подъема энергетической эффективности. Следовательно, построение математических моделей и их решение являются важным фактором, необходимым для правильного построения пути развития данной сферы деятельности человека (Шенец, Капанский, 2022; Тенев и др., 2010).

2. Обсуждение и результаты

Применение математических моделей в энергетике

Математические модели в энергетической сфере получили широкое распространение. Особенно стоит обратить внимание на сферу передачи электроэнергии. Так, например, в статье К.А. Магомедова предлагается подход к анализу переходных процессов в нелинейных электрических цепях основанный на применении кусочно-линейных операторов (Магомедов, 2022). Метод, примененный автором, основан на кусочной линеаризации характеристик нелинейных элементов электрических цепей. Он позволяет осуществлять анализ во всей области определения кусочно-линейного оператора без необходимости стыковки решений дифференциальных уравнений на отдельных линейных участках. Результаты численного анализа автор получил, моделируя переходные процессы в нелинейных электрических цепях, применяя для этого классические разностные схемы.

Л.Д. Ибрагимов с соавторами также отмечают актуальность и практическую значимость решения проблемы повышения эффективности распределительных сетей (Ибрагимов и др., 2022). Они предполагают, что эта задача может быть решена на основе использования системного подхода, как определение ресурса эксплуатации по состоянию, диагностики раннего предупреждения на основе применения концепции Smart Grid Plus и радиофотонных датчиков на основе трехкомпонентных адресных волоконных брэгговских структур. Чтобы подтвердить свои предположения, авторы разработали математическую модель работы брэгговского оптического измерительного трансформатора напряжения на основе указанного вида структур.

Труд группы авторов под руководством В.А. Горина (Горин и др., 2022), рассматривая задачу надежного электроснабжения наземных комплексов космических войск, говорит о возрастающей роли систем автономного электроснабжения в обеспечении надежного электроснабжения. Для ее решения в настоящее время активно применяются бесщеточные синхронные генераторы, обладающие рядом преимуществ. Авторы разработали математическую модель бесщеточного синхронного генератора в среде Simulink математического пакета MatLab по уравнениям Парка-Горева. Математическая модель включает модель синхронного генератора и бесщеточного возбудителя. Авторы произвели расчет основных параметров полученной модели, которая позволяет серьезно расширить арсенал средств, используемых при проведении математического моделирования систем электроснабжения, и дает возможность исследования систем автономного электроснабжения и, что особо важно, повысить наглядность получаемых результатов.

Моделирование энергетических сетей не оставило без внимания и сельское хозяйство. Для раскрытия закономерности отказов при работе линейного электропривода зерноочистительной машины, С.В. Фефелова и М.Ф. Туктаров предложили математическую модель, основанную на динамической модели конфигурации состояния деталей и всей установки в целом под воздействием внешних и внутренних факторов (Фефелова, Туктаров, 2022). Предложенная ими модель даёт возможность установить взаимозависимость вероятности работоспособного состояния установки от параметров требуемой функции

оборудования и её составных частей, а также предотвратить отказы и аварийные случаи в работе оборудования и минимизировать их негативные последствия.

Благодаря разработке информационной модели энергосберегающей технологии обогрева пола телятника, предложенной Ы.Д. Осмоновым с соавторами (Осмонов и др., 2022), была создана система согласованного взаимодействия и совместной работы гелиоколлектора и биотермической установки для использования солнечной энергии и тепла разложения свежего навоза для обогрева пола животноводческих помещений во время отопительного периода. Функциональная задача гелиоколлектора решена путем моделирования изменчивости солнечного сияния по данным СНИП 23.02.00 «Строительная климатология Кыргызской Республики». Аналогичная задача биотермической установки решена статистическим моделированием накопления навоза в телятнике за отопительный период.

Для понимания важности моделирования в энергосбережении, обязательно нужно рассмотреть также использование математических моделей на примере крупных объектов, таких как электростанции. Наиболее показательный пример – это применение математических моделей в практике работы волновых электростанций, где они используются для управления режимами работы. В работе А.М. Олейникова и Л.Н. Канова (Олейников, Канов, 2021) рассмотрены основные физические процессы при работе волновой электростанции и математические модели, описывающие работу ряда гидроустановок с однотипными генераторами с возбуждением от постоянных магнитов. В качестве резервного источника авторы используют аккумуляторную батарею, но при этом все источники работают на общую шину постоянного тока, к которой подсоединена нагрузка. Сама нагрузка описывается параллельно соединенными полезной (переменной по времени) и балластной (для сброса излишков мощности) нагрузками. Сама математическая модель состоит из уравнения, описывающего вертикальную гидротурбину барабанного типа с учетом действующих на ее лопасти сил и моментов (зависящих от дополнительных аргументов), а также с учетом динамических параметров волны. Синхронные генераторы описаны уравнениями Парка-Горева во вращающихся ортогональных координатах, при этом не учитываются действия демпфирующих контуров и насыщение магнитной цепи. Упрощенная модель аккумуляторной батареи описывается как последовательное соединение внутреннего сопротивления батареи и источника напряжения, а уравнения механического равновесия установки в целом учитывают вращающий момент гидротурбины и тормозные электромагнитные моменты генераторов энергетической установки.

Авторы реализовали модель в среде MathCad, где рассмотрели совместную работу нескольких установок, работающих в разных условиях волнения водной поверхности. Проведенная верификация показала, что модель достаточной адекватно отражает основные физические процессы и взаимодействия основных элементов при изменении исходных параметров волнения. Снижение этих параметров до определенного уровня приводит к заметному снижению эффективности преобразования. Авторами также показаны некоторые возможности изменения конструкции для увеличения их эффективности.

3. Заключение

Подводя итог, можно утверждать, что математическое моделирование энергетических объектов широко проникло во многие отрасли народного хозяйства. В работе рассмотрены лишь некоторые сферы энергетики где этот вопрос наиболее важен, а также обобщены преимущества, получающиеся при использовании математических моделей.

Литература

Амирханян и др., 2022 – Амирханян А.Г., Амирханян Л.Г., Котровская В.Д. Модель оценки энергетического эффекта в результате перехода на зеленую энергетику // *Наука и бизнес: пути развития*. 2022. № 5(131). С. 304-307.

Воронина и др., 2016 – Воронина В.Э., Пикулин Ю.Г., Инжуватов Д.А. Энергосберегающее освещение: некоторый опыт / *Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: Сборник материалов III международной научно-практической конференции, Чебоксары, 11 декабря 2016 года*. Чебоксары: Общество с

ограниченной ответственностью "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2016. С. 28-30.

[Горин и др., 2022](#) – Горин В.А., Карагодин В.В., Хомич И.В. Построение и расчет математической модели бесщеточного синхронного генератора для исследования режимов в системах автономного электроснабжения // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского*. 2022. № 681. С. 54-63.

[Гребнев, Демиденко, 2022](#) – Гребнев М.С., Демиденко Н.Д. Сокращение традиционных и переход к освоению новых источников энергии // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. 2022. Т. 1. С. 386-389.

[Ибрагимов и др., 2022](#) – Ибрагимов Л.Д., Нуреев И.И., Мисбахов Р.Ш. и др. Математическая модель и анализ структуры брегговского оптического измерительного трансформатора напряжения // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2022. № 8. С. 76-79.

[Магомедов, 2022](#) – Магомедов К.А. Математические модели для анализа нелинейных электрических цепей // *Заметки ученого*. 2022. № 7. С. 96-104.

[Олейников, Канов, 2021](#) – Олейников А.М., Канов Л.Н. Математическое моделирование режимов работы волновой электростанции // *Интеллектуальная электротехника*. 2021. № 4(16). С. 17-35. DOI: 10.46960/2658-6754_2021_4_17

[Осмонов и др., 2022](#) – Осмонов Ы.Д., Жусубалиева А.Ж., Темирбаева Н.Ы., Ордобаев Б.С. Моделирование энергосберегающей технологии обогрева пола телятника // *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета*. 2022. Т. 22. № 8. С. 122-126. DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-8-122-126

[Тененев и др., 2010](#) – Тененев В.А. Губерт А.В., Михайлов Ю.О., Корепанов М.А. Исследование процессов в газовых горелках для бытовых плит // *Химическая физика и мезоскопия*. 2010. Т. 12. № 1. С. 45-53.

[Фефелова, Туктаров, 2022](#) – Фефелова С.В., Туктаров М.Ф. Математическая модель определения закономерности отказов линейного электропривода зерноочистительной машины в период хранения и эксплуатации // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022. № 4(96). С. 153-159. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-153-159

[Шенец, Капанский, 2022](#) – Шенец Е.Л., Капанский А.А. Метод распределения условно-постоянной составляющей расхода электрической энергии при построении многофакторных математических моделей электропотребления // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. 2022. № 2(89). С. 35-42.

References

[Amirkhanyan i dr., 2022](#) – Amirkhanyan, A.G., Amirkhanyan, L.G., Kotrovskaya, V.D. (2022). Model' otsenki energeticheskogo effekta v rezul'tate perekhoda na zelenuyu energetiku [A model for assessing the energy effect as a result of the transition to green energy]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 5(131): 304-307. [in Russian]

[Fefelova, Tuktarov, 2022](#) – Fefelova, S.V., Tuktarov, M.F. (2022). Matematicheskaya model' opredeleniya zakonomernosti otkazov lineinogo elektroprivoda zernoochistitel'noi mashiny v period khraneniya i ekspluatatsii [Mathematical model for determining the failure patterns of a linear electric drive of a grain cleaning machine during storage and operation]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 4(96): 153-159. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-153-159 [in Russian]

[Gorin i dr., 2022](#) – Gorin, V.A., Karagodin, V.V., Khomich, I.V. (2022). Postroenie i raschet matematicheskoi modeli besshchetchnogo sinkhronnogo generatora dlya issledovaniya rezhimov v sistemakh avtonomnogo elektrosnabzheniya [Construction and calculation of a mathematical model of a brushless synchronous generator for the study of regimes in autonomous power supply systems]. *Trudy Voенно-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo*. 681: 54-63. [in Russian]

[Grebnev, Demidenko, 2022](#) – Grebnev, M.S., Demidenko, N.D. (2022). Sokrashchenie traditsionnykh i perekhod k osvoeniyu novykh istochnikov energii [Reduction of traditional and transition to the development of new energy sources]. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. 1: 386-389. [in Russian]

[Ibragimov i dr., 2022](#) – Ibragimov, L.D., Nureev, I.I., Misbakhov, R.Sh. i dr. (2022). Matematicheskaya model' i analiz struktury breggovskogo opticheskogo izmeritel'nogo

transformatora napryazheniya [Mathematical model and analysis of the structure of the Bragg optical measuring voltage transformer]. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 8: 76-79. [in Russian]

Magomedov, 2022 – Magomedov, K.A. (2022). Matematicheskie modeli dlya analiza nelineinykh elektricheskikh tsepei [Mathematical models for the analysis of nonlinear electrical circuits]. *Zametki uchenogo*. 7: 96-104. [in Russian]

Oleinikov, Kanov, 2021 – Oleinikov, A.M., Kanov, L.N. (2021). Matematicheskoe modelirovanie rezhimov raboty volnovoi elektrostantsii [Mathematical modeling of operating modes of a wave power plant]. *Intellektual'naya elektrotehnika*. 4(16): 17-35. DOI: 10.46960/2658-6754_2021_4_17 [in Russian]

Osmonov i dr., 2022 – Osmonov, Y.D., Zhusubalieva, A.Zh., Temirbaeva, N.Y., Ordobaev, B.S. (2022). Modelirovanie energosberegayushchei tekhnologii obogreva pola telyatnika [Modeling of energy-saving technology for heating the floor of a calf house]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo Slavyanskogo universiteta*. 22(8): 122-126. DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-8-122-126 [in Russian]

Shenets, Kapanskii, 2022 – Shenets, E.L., Kapanskii, A.A. (2022). Metod raspredeleniya uslovno-postoyannoi sostavlyayushchei raskhoda elektricheskoi energii pri postroenii mnogofaktornykh matematicheskikh modelei elektropotrebleniya [The method of distribution of the conditionally constant component of the consumption of electrical energy in the construction of multifactorial mathematical models of electrical consumption]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*. 2(89): 35-42. [in Russian]

Tenenev i dr., 2010 – Tenenev, V.A. Gubert, A.V., Mikhailov, Yu.O., Korepanov, M.A. (2010). Issledovanie protsessov v gazovykh gorelkakh dlya bytovykh plit [Investigation of processes in gas burners for national stoves]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 12(1): 45-53. [in Russian]

Voronina i dr., 2016 – Voronina, V.E., Pikulin, Yu.G., Inzhuvatov, D.A. (2016). Energosberegayushchee osveshchenie: nekotoryi opyt [Energy-saving lighting: some experience]. *Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendentsii i perspektivy razvitiya: Sbornik materialov III mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Cheboksary, 11 dekabrya 2016 goda*. Cheboksary: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Tsentr nauchnogo sotrudnichestva "Interaktiv plyus". Pp. 28-30. [in Russian]

Использование математических моделей в энергетической сфере деятельности человека

Данила Александрович Инжуватов ^{a, b, c}, Али Калмаматов ^{a, *}

^a Академия управления и производства, Москва, Российская Федерация

^b Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация

^c Можайский открытый колледж, Можайск, Российская Федерация

Аннотация. Невозможно представить современное человеческое общество без энергетики, причем потребности в ней увеличиваются с каждым годом. Чтобы удовлетворить эту потребность, в первую очередь, необходимо проводить исследования в этой сфере. Проведение таких исследований покажет текущее состояние энергоэффективности на предприятии. Оно позволяет проанализировать использование энергетических ресурсов предприятия, расходы на них, обнаружить места неразумного использования ресурсов, произвести программу реализации энергосберегающих событий и проектов. Поскольку эти технологии являются сложными и дорогими, ученые предлагают испытывать новые технологии на математических моделях, это быстрее, и гораздо дешевле. В данной работе проводится литературный обзор примеров использования таких моделей в различных отраслях энергетики. На этих примерах можно будет наглядно увидеть актуальность данной

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: akalmamatov007@gmail.com (А. Калмаматов), antysalo@yandex.ru (Д.А. Инжуватов)

темы. Сделан вывод, что математическое моделирование энергетических объектов широко проникло во многие отрасли народного хозяйства. При чем, среда для программной реализации разработанных моделей, варьируется в широком диапазоне, от универсальных типа MathCad до специализированных программных пакетов. В работе рассмотрены лишь некоторые сферы энергетики, где этот вопрос наиболее важен, а также обобщены преимущества, получающиеся при использовании математических моделей.

Ключевые слова: математическое моделирование, электропривод, технологическая установка, аккумулялирование тепловой энергии.