

УДК 628.785

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕБОЛЬШОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Аршинов Роман АлександровичСамарский государственный технический университет, Отдел сопровождения
информационных систем, инженер-программист

Аннотация

В статье рассматриваются роль системы электроснабжения для небольших космических аппаратов и ее устройство. Приведены проблемы, которым подвержена система и проанализированы методы их решения.

Ключевые слова: система электроснабжения, солнечная батарея, аккумуляторная батарея, нейронные сети, микроконтроллеры

METHODS FOR OPTIMIZING THE POWER SUPPLY SYSTEM OF A SMALL SPACECRAFT

Roman A. ArshinovSamara State Technical University (Samara Polytech), Information Systems Support Department,
software engineer
arshinov.ra@gmail.com

ABSTRACT

The article discusses the role of the power supply system for small spacecraft and its device. The problems to which the system is subject are presented and the methods of their solution are analyzed.

Keywords: power supply system, solar battery, accumulator battery, neural networks, microcontrollers

Во время исследования космического пространства небольшие спутники задействуют различные методы для регулирования зарядного устройства и управления колебаниями солнечной энергии, в основном, адаптированные из стандартной практики на более крупных космических аппаратах. Несмотря на это, современные космические аппараты все еще достаточно широко подвержены выходу из строя, не достигнув поставленных задач и установленных сроков.

Обеспечение электроэнергией космических аппаратов является наиболее важным требованием к полезной нагрузке спутника. Отказ энергетической системы обязательно приводит к потере аппарата, важно отметить, что многие из ранних спутниковых систем вышли из строя из-за такой потери.

В качестве источника энергии могут выступать солнечные батареи, аккумуляторы, радиоизотопные источники энергии, ядерные реакторы, топливные элементы и другие, но суть системы электропитания космического аппарата всегда состоит в том, чтобы эффективно обеспечивать космический аппарат электроэнергией. Мощность системы электропитания космического аппарата в сутки может превышать 10 кВт, при этом характер нагрузок может быть постоянным, импульсным и частотно регулируемым.

На рисунке 1 представлена структура системы электроснабжения космического аппарата, она состоит из трех основных элементов: первичных и вторичных источников энергии и сети управления питанием/распределения. Первичный источник энергии преобразует топливо в электрическую энергию. В ранних космических аппаратах и на ракетах-носителях это обеспечивали аккумуляторы. В этих системах нет топливного элемента, поскольку батарея - это устройство, которое накапливает энергию, а не выполняет процесс прямого преобразования энергии. Большинство современных космических аппаратов используют солнечную батарею в качестве основного источника энергии. Топливом в данном случае является энергия солнечного излучения, которая преобразуется с помощью фотоэлектрического эффекта. Вторичный источник энергии необходим для накопления энергии и дальнейшей поставки электроэнергии спутниковой системе и ее полезной нагрузке, когда энергия первичной системы недоступна.



Рисунок 1. Структура системы электроснабжения космического аппарата (https://www.researchgate.net/figure/Elements-of-a-Spacecraft-Electrical-Power-System_fig1_44256810)

Энергетическая система является одной из самых важнейших частей космического аппарата и должна обеспечивать непрерывное питание полезной нагрузки и сервисных подсистем в условиях, когда питание от солнечных батарей невозможно по причине затмения источника солнечного света, которое случается при прохождении через тень Земли [1]. Потребление электроэнергии в таких условиях представлено на рисунке 2. Блок управления питанием контролирует уровни напряжения на шинах и включает и выключает питание определенных элементов оборудования. Для экономии энергии и обеспечения возможности подзарядки аккумулятора, непрерывное питание подается только на те цепи спутника, которые необходимы для наземного слежения и управления. Все остальные отключаются, когда в них нет необходимости.

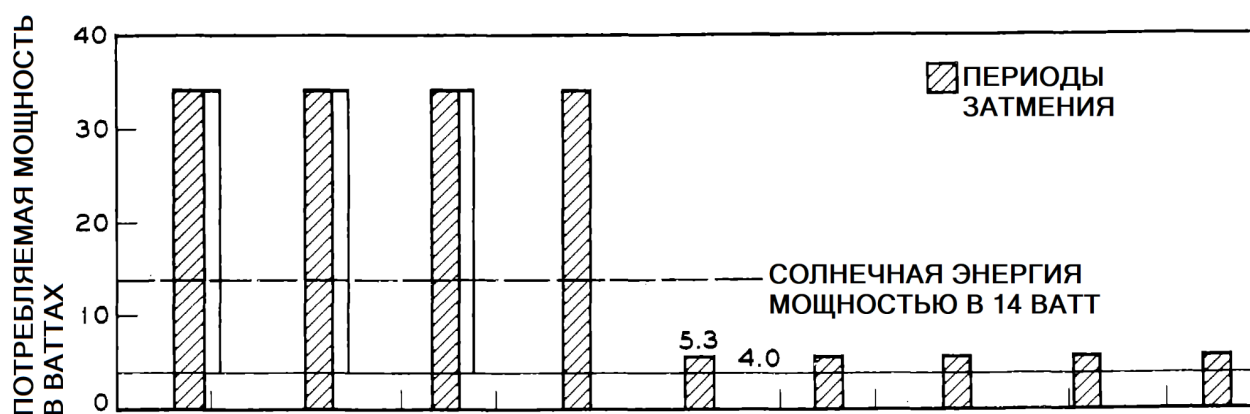


Рисунок 2. Потребление электроэнергии во время затмения
(<https://adsabs.harvard.edu/full/1963NASSP..32..943B>)

Важно помнить о деградации солнечной батареи с течением времени, наряду с другими особенностями миссии, такими как переменные углы обзора солнца и колеблющиеся нагрузки, давление или выход из строя аппаратуры по техническим причинам.

Проблемы проектирования энергетической системы, усугубляются из-за экстремальных ограничений по массе и объему. Эти ограничения означают, что проектировщику отказано в некоторых простых средствах защиты аппарата, таких как отслеживающие солнце солнечные батареи, тепловые трубки и поверхности радиационного охлаждения. Кроме того, стремление свести к минимуму массу аккумулятора означает, что энергосистема должна максимально эффективно использовать ресурс.

Р. Данбар и Г. Хардман разработали в [2] автономную систему управления питанием для малых космических аппаратов, находящихся на низкой околоземной орбите. Коэффициент затмения на таких орбитах достигает 30%, из-за чего система электроснабжения должна отвечать жестким требованиям. Авторы предлагают собственную разработку микроконтроллера для системы электропитания. Предложенный вариант обеспечивает отдельные режимы для работы с дефицитным ресурсом в режимах с ограниченной нагрузкой, с ограниченной солнечной батареей и с ограниченной емкостью аккумулятора. Приведены результаты алгоритмов, позволяющие этому контроллеру реализовать самонастраивающуюся цифровую сервосистему, которая постоянно стремится оптимизировать работу. Отмечается, что разработка легко масштабируется на другие уровни мощности и напряжения, но, чтобы учесть такие изменения, потребуются незначительные модификации элементов. После масштабирования эффективность может быть повышена с увеличением общей мощности, поскольку определенные потери мощности неизменны. В итоге получается эффективная высокопроизводительная система управления энергопотреблением.

Е. Н. Маленин, В.С. Щербаков, А.А. Шаповалов в [3] исследуют использование зарядного контроллера в составе блока автоматики и стабилизации малых космических аппаратов. Результаты моделирования показали, что благодаря объединению составных частей системы электроснабжения в корпусе одной микросхемы, было достигнуто ускорение заряда аккумулятора приблизительно на 7–10%, что позволило снизить потери электроэнергии, уменьшить массогабаритные показатели и повысить надежность системы в целом. Данные преимущества позволяют системе электроснабжения получать, преобразовывать и накапливать энергию от нескольких маломощных источников, а также использовать электроэнергию, получаемую от затененных панелей солнечных батарей. Таким образом, применение зарядного контроллера позволяет увеличить срок активного

существования космического аппарата, либо уменьшить площадь солнечных батарей, а соответственно и массогабаритные показатели космического аппарата.

Методы искусственного интеллекта становятся полезными в качестве альтернативных подходов к традиционным методам или в качестве компонентов интегрированных систем. Они использовались для решения сложных практических задач в различных областях и становятся все более популярными. В настоящее время значительное внимание уделяется использованию нейронных сетей в приложениях системного моделирования и управления, но также ведутся исследования по их использованию для управления энергетической системой космического аппарата.

Авторами в [4] предложено использование и обучение нейронных сетей с применением алгоритма Левенберга–Марквардта. Полученные результаты показали, что нейронная сеть может быть использована с высокой степенью достоверности для составления стратегии контроля и обеспечения точных прогнозов изменения тока заряда аккумулятора в космическом аппарате.

С. Сильвестрини и М. Лаванья рассмотрели в [5] более широкое применение нейронных сетей и алгоритмов самообучения в космических аппаратах, несмотря на убедительные прогнозы в этой области, авторы выделяют недочеты, которые еще предстоит нивелировать. В первом пункте указывается постоянный поиск компромисса между адаптивностью и надежностью при проектировании системы. С одной стороны попытка разработать систему машинного обучения, которая могла бы непрерывно обучаться в динамической среде, с другой, стремление к оптимизированным решениям, которые были бы более надежными и безопасными. Второй пункт указывает на недостаток эффективности, надежности и интерпретации алгоритмов машинного обучения, основанных исключительно на данных, а также на увеличение общих затрат при проектировании космических аппаратов с использованием техники, которая могла бы эффективно использовать эти алгоритмы.

В [6] авторы сравнивают управление потоком энергии в космическом аппарате методами нейронных сетей и нечетких регуляторов. Входными данными может служить разница между генерируемым выходным сигналом и контрольной нагрузкой, выходными - изменение тока заряда аккумулятора. При обучении нейронных сетей применялся алгоритм обратного распространения ошибки, после чего они служили для распознавания взаимосвязей между входными и выходными параметрами системы. Нечеткий регулятор состоит из базы знаний, которая содержит типичный набор правил и механизм заключения. Поступающая информация сопоставляется с условиями правил, чтобы определить, насколько хорошо условие каждого правила соответствует этому конкретному входному экземпляру. Системы нечеткой логики преобразуют наборы структурированной информации в соответствующие управляющие воздействия, которые затем исполняет нечеткий регулятор. Результаты симуляции обоих подходов показали, что использование нейронных сетей выгоднее для контроля системы электроснабжения космического аппарата на низкой околоземной орбите.

Список литературы:

1. Bomberger, D. C., Feldman, D., Trucksess, D. E., Brolin, S. J., Ussery, P. W. The Spacecraft Power Supply System // [Электронный ресурс] URL: <https://adsabs.harvard.edu/full/1963NASSP..32..943B>
2. Dunbar R., Hardman G. A Flexible Autonomous Power Management System For Small Spacecraft // [Электронный ресурс] URL: <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/1990/all1990/57/>

3. Маленин Е.Н., Щербаков В.С., Шаповалов А.А. Интеллектуализация системы электроснабжения малого космического аппарата // [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-sistemy-elektrosnabzheniya-malogo-kosmicheskogo-apparata>
4. Hanaa T. El-madany, Faten H. Fahmy, Ninet M. A. El-rahman, Hassen T. Dorrah Spacecraft Power System Controller Based on Neural Network // [Электронный ресурс] URL: https://www.academia.edu/28239690/Spacecraft_power_system_controller_based_on_neural_network
5. Silvestrini S., Lavagna M. Deep Learning and Artificial Neural Networks for Spacecraft Dynamics, Navigation and Control // [Электронный ресурс] URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/6/10/270>
6. Hanaa T. El-madany, Faten H. Fahmy, Ninet M. A. El-rahman, Hassen T. Dorrah Artificial Intelligence Techniques for Controlling Spacecraft Power System // [Электронный ресурс] URL: <https://publications.waset.org/2232/artificial-intelligence-techniques-for-controlling-spacecraft-power-system>

References:

1. Bomberger, D. C., Feldman, D., Trucksess, D. E., Brolin, S. J., Ussery, P. W. The Spacecraft Power Supply System // [Source] URL: <https://adsabs.harvard.edu/full/1963NASSP..32..943B>
2. Dunbar R., Hardman G. A Flexible Autonomous Power Management System For Small Spacecraft // [Source] URL: <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/1990/all1990/57/>
3. Malenin E.N., Sherbakov V.S., Shapovalov A.A. Intellectualization of the power supply system of a small spacecraft // [Source] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-sistemy-elektrosnabzheniya-malogo-kosmicheskogo-apparata>
4. Hanaa T. El-madany, Faten H. Fahmy, Ninet M. A. El-rahman, Hassen T. Dorrah Spacecraft Power System Controller Based on Neural Network // [Source] URL: https://www.academia.edu/28239690/Spacecraft_power_system_controller_based_on_neural_network
5. Silvestrini S., Lavagna M. Deep Learning and Artificial Neural Networks for Spacecraft Dynamics, Navigation and Control // [Source] URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/6/10/270>
6. Hanaa T. El-madany, Faten H. Fahmy, Ninet M. A. El-rahman, Hassen T. Dorrah Artificial Intelligence Techniques for Controlling Spacecraft Power System // [Source] URL: <https://publications.waset.org/2232/artificial-intelligence-techniques-for-controlling-spacecraft-power-system>