

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехнические комплексы и системы

УДК [UDC] 621.3:658.274
DOI 10.17816/transsyst20217433-42

© Ч. З. Хтай, В. А. Глушенков, В. Г. Комаров
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
(Москва, Россия)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛТРО ДЛЯ МЬЯНМЫ

Обоснование: Разработка и исследование применимости различных математических моделей для расчета солнечной радиации компонентов является актуальной задачей для инновационной транспортной системы ЭЛТРО Мьянмы.

Цель: Определение суточного баланса энергии, генерируемой солнечными панелями для выполнения заданной работы транспортной системы.

Материалы и методы: Разработано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение (на основе языка Python) для энергообеспечения и создания интерактивных геоинформационных моделей для транспортной системы ЭЛТРО.

Результаты: Для оценки солнечных ресурсов в точке с координатами ($\varphi = 19,76^\circ$ с. ш.; $\psi = 96,07^\circ$ в. д.) были использованы данные баз данных (БД) «NASA», «Meteonorm» и ГМС Мьянмы и проведено их сравнение с фактическими данными по БД ГМС Мьянмы с целью определения достоверности, представленной в них информации.

Заключение: Полученные результаты позволили определить структуру системы солнечного энергообеспечения и параметры типовых солнечных энергомодуля, обеспечивающих энергообеспечение не только транспортной системы, но и прилегающих территорий.

Ключевые слова: многофункциональная транспортная система, солнечная энергия, интерактивная геоинформационная модель, электроснабжение транспорта.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Electrical complexes and systems

© Th. Z. Htay, V. A. Glushenkov, V. G. Komarov
National Research University “MPEI”
(Moscow, Russia)

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING SOLAR ENERGY FOR THE ENERGY SUPPLY OF THE INNOVATIVE ELTRO TRANSPORT SYSTEM FOR MYANMAR

Background: The development and research of the applicability of various mathematical models for calculating the solar radiation of companies is an urgent task for the innovative transport system of Myanmar.

Aim: Determination of the daily balance of energy generated by solar panels to perform a given operation of the transport system.

Materials and methods: Mathematical, algorithmic and software (based on the Python language) have been developed for energy supply and creation of interactive geo-information models for the ELTRO transport system.

Results: To estimate solar resources at a point with coordinates ($\varphi = 19.76^\circ$ s. w.; $\psi = 96.07^\circ$ w. d.), data from the databases "NASA", "Meteonorm" and the Myanmar GMS were used and compared with the actual data on the Myanmar GMS database in order to determine the reliability of the information presented in them.

Conclusion: The results obtained made it possible to determine the structure of the solar energy supply system and the parameters of typical solar energy modules that provide energy supply not only to the transport system, but also to the adjacent territories.

Key words: multifunctional transport system, solar energy, interactive geo-information model, power supply of transport.

ВВЕДЕНИЕ

С целью создания надежной и эффективной транспортной системы для Мьянмы был проведен анализ современного состояния транспортных технологий, удовлетворяющих специфическим требованиям и условиям эксплуатации Мьянмы. В Мьянме не хватает традиционных источников энергии и электростанций. Солнечная радиация (СР) зависит, главным образом, от широты местности, т.е., на экваторе она принимает наибольшую величину, убывающую к полюсам. Мьянма находится недалеко от экватора, в связи с этим страна располагает огромными ресурсами солнечной энергии (СЭ). По современным данным валовые ресурсы солнечной энергии Мьянмы составляют 1,15 млн. ТВт.ч в год. Среднегодовой приход СР составляет приблизительно 5 кВт.ч/м² в сутки. Это намного выше, чем, например, в странах ЕС-27, где сегодня интенсивно используется солнечная энергетика [1–6].

СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛТРО» МЬЯНМЫ

Суточный приход СР на горизонтальную приемную площадку (ПП) колеблется от 3,5 до 6 кВт.ч/м² в зависимости от широты местности и времени года. Уровни СР демонстрируют также сезонные колебания. Например, на широте в 21 градус приход СР составляет в марте 6 кВт.ч/м² в день, а в августе 4,13 кВт.ч/м² в день. Обширный центральный регион Мьянмы, где находится наибольшая часть потребителей электроэнергии

является самым лучшим местом для использования СЭ. В таблице показан суточный приход СР на горизонтальную ПП по всей территории Мьянмы.

В последние годы стоимость солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ) резко снижается, в то время как их КПД резко повышается. Так по данным NREL (National Renewable Energy Laboratory) с конца 70-х годов 20-го века по настоящее время КПД СЭ вырос с (0,5–13,0) % до (22–47) %, а цена солнечных модулей с 80-х годов прошлого столетия снизилась в 100 раз. В связи с этим использование СЭ является наилучшим решением для обеспечения ЭЭ транспортных систем.

В Табл. представлены среднегодовые значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке БД «NASA» и БД «Meteorom», а также показана среднемесячная доля диффузной составляющей солнечной радиации от суммарной.

Все графики (Рис. 1–7) созданы трехмерные формы с помощью языка Python. Принимаем в качестве оптимального угол β наклона солнечных панелей равным 23° [1–8].

Таблица. Среднегодовые значения энергии суммарной и диффузной солнечной радиации

Мес	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ
$\mathcal{E}_{\text{кВт}^* \text{ч}/\text{М}^2 \cdot \text{мес}}^{\text{Г}}_{\text{у}}$	158,41	160,44	193,13	193,5	181,35	148,5	142,29	137,33	136,5	143,3	134,7	144,46	1874,14
$\mathcal{E}_{\text{кВт}^* \text{ч}/\text{М}^2 \cdot \text{мес}}^{\text{Г}}_{\text{д}}$	29,76	33,88	49,29	58,8	72,54	73,8	75,95	72,85	63,6	53,94	40,2	31,0	655,61
$\mathcal{E}_{\text{д}}^{\text{Г}} \text{ от } \mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{Г}}, \%$	18,78	21,11	25,52	30,38	40,0	49,68	53,37	53,04	46,59	37,58	29,84	21,45	35,61

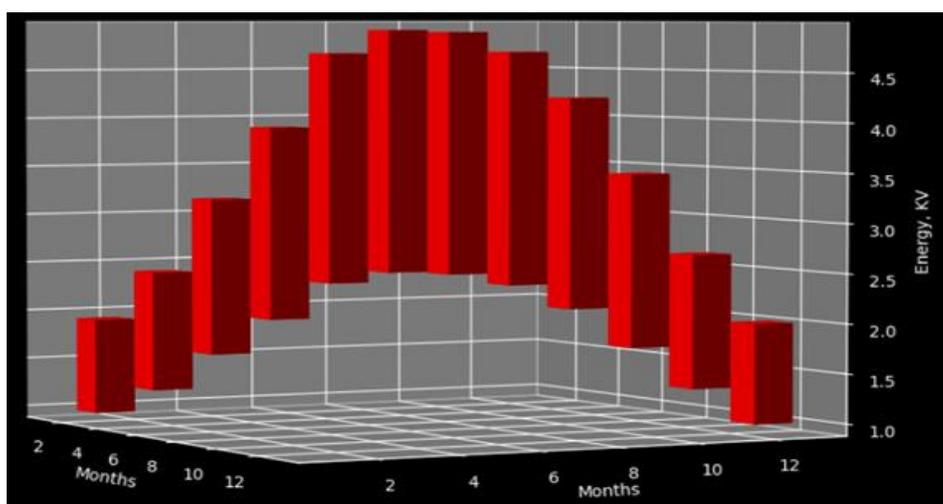


Рис. 1. Среднегодовые суточные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

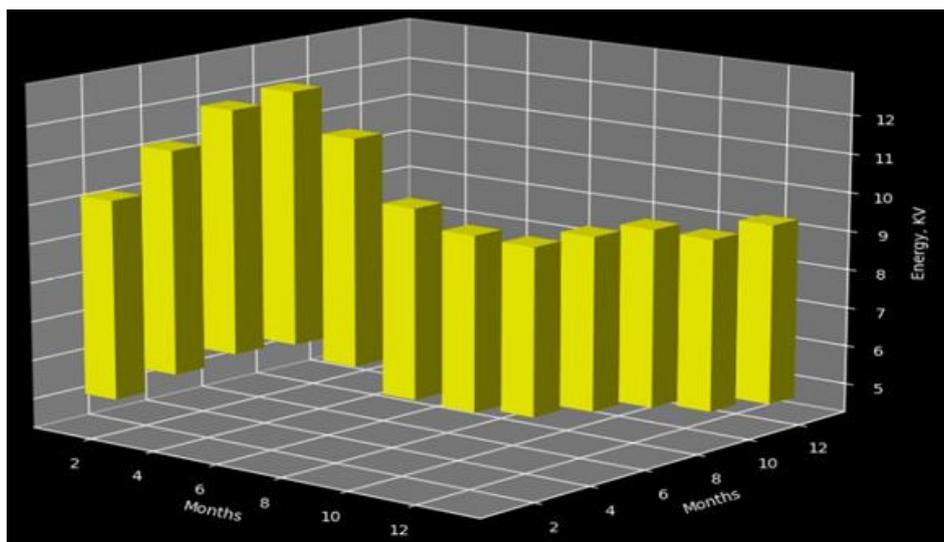


Рис. 2. Среднегодовые суточные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

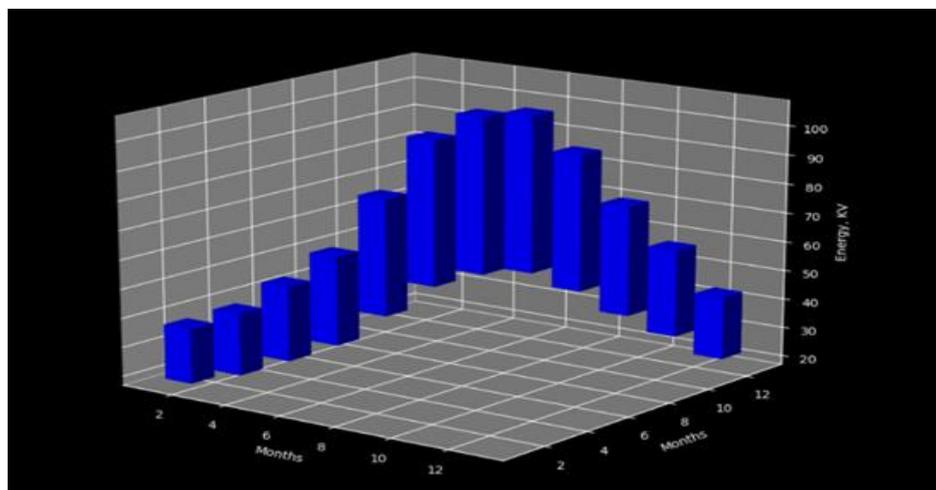


Рис. 3. Среднегодовые месячные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

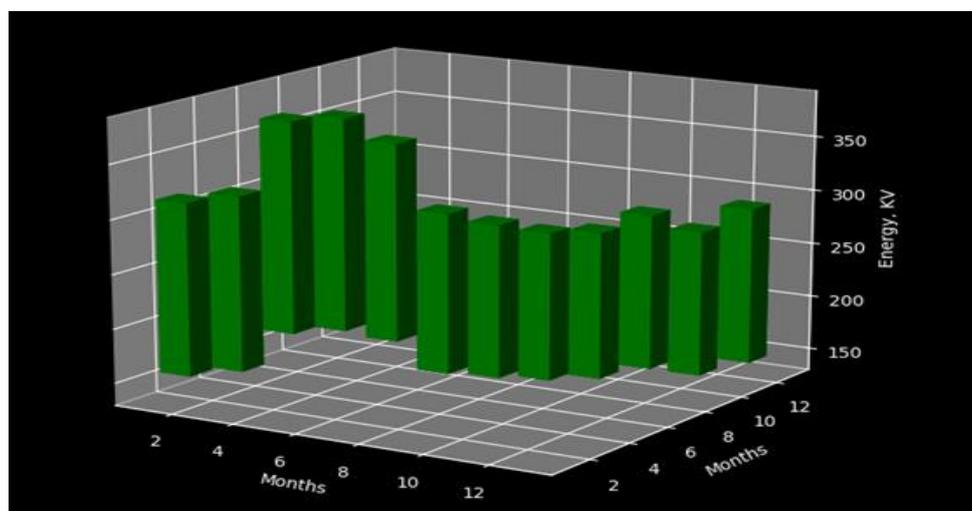


Рис. 4. Среднегодовые месячные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

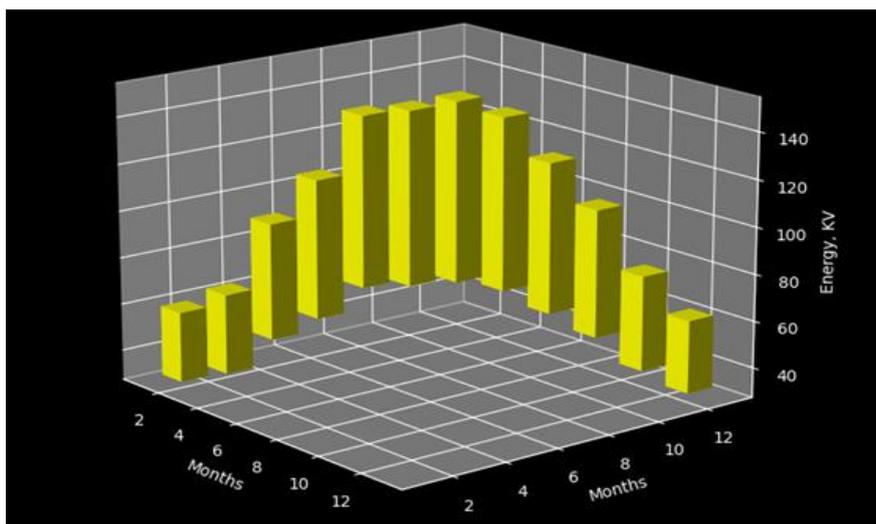


Рис. 5. Среднеголетние месячные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

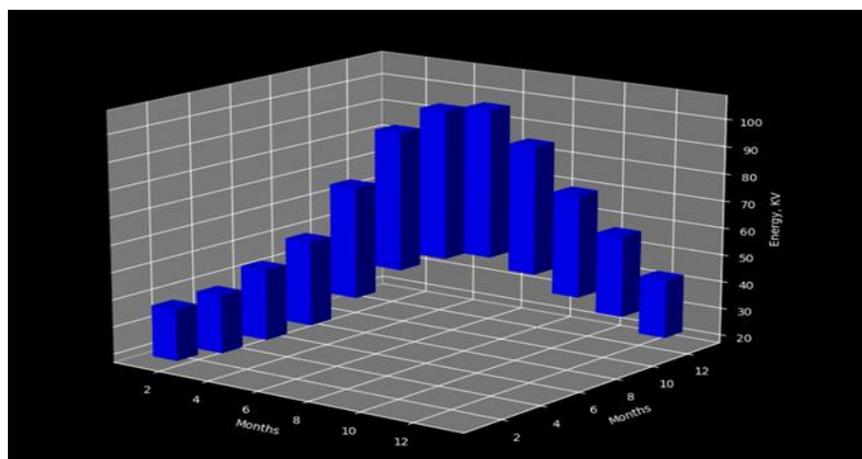


Рис. 6. Среднеголетние месячные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

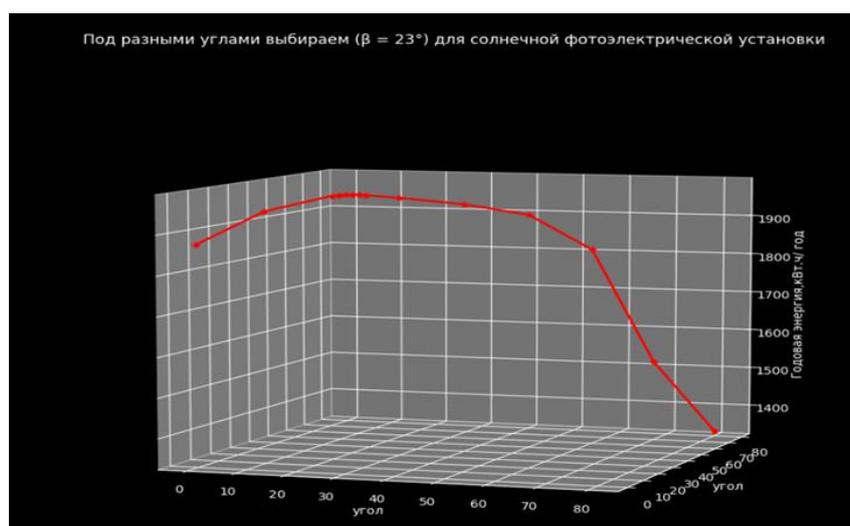


Рис. 7. Расчет прихода солнечной радиации на площадку под разными углами выбираем ($\beta = 23^\circ$) для солнечной фотоэлектрической установки

ЭЛТРО является с высокой энергоэффективностью мультифункциональной магнитолевитационной транспортной системы с использованием солнечной энергии. Система «ЭЛТРО» позволяет в условиях Республики Мьянмы использовать в качестве основного энергоисточника системы солнечную энергию. ЭЛТРО – это инновационная технологическая платформа для перехода на качественно новый уровень обслуживания, соответствующий современному укладу общественного развития. Эта платформа объединяет различные эффективные технические и организационные решения в области электротехники, машиностроения, управления информацией, компьютерных и сетевых технологий.

Высокая энергоэффективности мультифункциональной магнитолевитационной транспортной системы «ЭЛТРО» позволяет в условиях Республики Мьянма использовать в качестве основного энергоисточника системы солнечную энергию. Для решения этой сложной научно-технической задачи используется соответствующее программное обеспечение поддержки этапов жизненного цикла системы. Такая поддержка и компьютерное сопровождение получили название CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support).

Прежде всего, для этой транспортной системы мы создаем интерактивную геоинформационную модель и визуализацию геопространственных данных с помощью Jupyter Notebook на основе языка Python. При работе с геопространственными данными в Python, будь то геодезическая рамка, географические координаты, список стран или почтовых индексов, обычно полезно визуализировать эти данные на карте. Для этого есть много доступных библиотек, которые могут быть реализованы в Python. Некоторые из этих библиотек инструментов включают в себя: Folium, ipyleaflet, Pyplot, CARTO, Mapbox, QGIS и ArcGIS. При выборе библиотеки визуализации геопространственных данных необходимо учитывать некоторые факторы, например, тип карт или требования с точки зрения настройки и интерактивности. Для создания интерактивной картографической модели и визуализации геопространственных данных может быть использована библиотека ipyleaflet. Она построена на базе ipywidgets и обеспечивает двунаправленную связь между графическим интерфейсом и бэкэндом, что позволяет использовать карту для захвата пользовательского ввода [9–11].

В данной работе рассматривается вопрос энергопотребления инновационной транспортной системы (в дальнейшем точке) расположенного в центральной части Мьянмы в городе Нейпидо. Местоположение показано на Рис. 9. Место расположен в точке с координатами: $19,76^{\circ}$ с.ш. и $96,07^{\circ}$ в.д [9–15].

Нейпидо столица Мьянмы с населением около 2,5 млн жителей. Каждый день до 1 млн жителей города используют автобусы в качестве основного городского транспорта.

Проектируемая линия системы ЭЛТРО в городе Нейпидо (кольцевой участок) предназначена для обслуживания населенных пунктов средней части Нейпидо.

В пилотном проекте предусматривается:

- кольцевая магистральная линия двунаправленного безостановочного движения;
- локальные пути с остановочными пунктами;
- кассетные накопительные электродепо;
- интегрированная в путевую структуру распределенная солнечная электростанция;
- контейнерные тяговые подстанции с буферными накопителями энергии, интегрированные в остановочные пункты.

Протяженность проектируемой линии составляет ориентировочно 15 км. Предусматривается 15 остановочных пунктов, 2 накопительных электродепо, распределенная система солнечного энергообеспечения с накопителями электроэнергии. Суммарный суточный пассажиропоток в двух направлениях 50 тыс. пассажиров. Среднее расстояние поездки 7,5 км [1, 2].

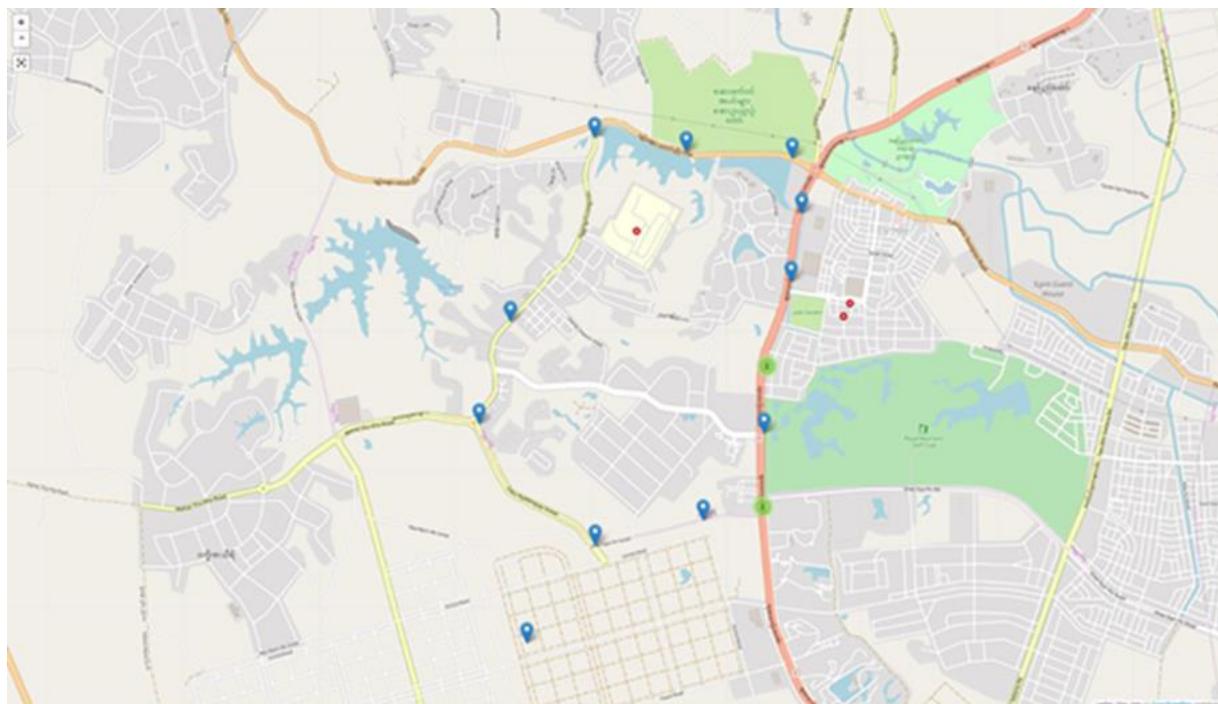


Рис. 8. Отображение 15 станций системы ЭЛТРО, использующих полноэкранную управляющую переменную в ipyleaflet

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной работы является исследование и определение необходимой мощности для питания транспортного средства, генерируется энергия через солнечные панели, а также регенерированная энергия при торможении транспортного средства и полезные способы эксплуатации вырабатывается энергия для тяги и вспомогательных устройств. Полученные результаты позволили определить структуру системы солнечного энергообеспечения и параметры типовых солнечных энергомодулей, обеспечивающих энергообеспечение не только транспортной системы, но и прилегающих территорий.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Htay TZ, Komarov VG, Glushenkov VA. Analysis of the Possibilities of Creating Modern Multi-functional Transport Systems for Myanmar Based on Alternative Energy Sources. 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). Moscow; 2020. pp. 1-5. doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059226
2. Leshtayev OV, Stushkina NA, Zaginailov VI, Sergeeva NA. Solar power station model in Matlab Simulink program. 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2020, pp. 1-5. doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059128
3. Moe AS, Glushenkov VA, Komarov VG. Program for energy efficiency analysis of the multifunctional magnetic levitation transport system, ELTRO. 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2021, pp. 1-5. doi: 10.1109/REEPE51337.2021.9388010
4. Лин Аунг Тет, Малинин Н.К, Шестопалова Т.А. Исследование эффективности использования солнечных фотоэлектрических установок в системах распределенной энергетики в регионах Мьянмы // Энергетика. – 2014. – № 5. – С. 36–40. (In Russ.).
5. Ей Вин, Виссарионов В.И. Оптимизация параметров системы энергоснабжения с использованием солнечной энергии для автономного потребителя в Мьянме // Вестник МЭИ. – 2012. – № 5. – С. 42–49. [Ej Vin, Vissarionov VI. Optimizaciya parametrov sistemy energosnabzheniya s ispol'zovaniem solnechnoj energii dlya avtonomnogo potrebitelya v M'yanme. Vestnik MEI. 2012;(5):42-49. (In Russ.)].
6. Лин Аунг Тет. Малинин Н.К. Ресурсы солнечной энергетики и перспективы их использования в системах энергоснабжения автономного потребителя в Мьянме // Седьмая всероссийская научная молодежная школа с международным участием. – М.: МИРОС, 2010. – 424 с. [Lin Aung Tet. Malinin NK. Resursy solnechnoj energetiki i perspektivy ih ispol'zovaniya v

- sistemah energosnabzheniya avtonomnogo potrebitelya v M'yanme. *Sed'maya vsrossijskaya nauchnaya molodezhnaya shkola s mezhdunarodnym uchastiem*. Moscow: MIROS; 2010. 424 p. (In Russ.).
7. Зай Яр Мьинт. Виссарионов В.И. Исследование целесообразности использования ветроэлектрической станции в Мьянме // Вестник МЭИ. – 2013. – № 1. – С. 84–91. [Zaj YAr M'int. Vissarionov VI. Issledovanie celesoobraznosti ispol'zovaniya vetroelektricheskoy stancii v M'yanme. *Vestnik MEI*. 2013;(1):84-91. (In Russ.)].
 8. Виссарионов В.И., Кузнецова В.А., Чан Ньен Аунг Тан. Ресурсы солнечной излучения Мьянмы и его использования // Четвертая международная научно-практическая конференция «Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях». – М., ВВЦ, 2012 г. – С. 523–524. [Vissarionov VI, Kuznecova VA, Chan N'en Aung Tan. Resursy solnechnoj izlucheniya M'yanmy i ego ispol'zovaniya. *Chetvyortaya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi - put' k obshchestvu, osnovannomu na znaniyah"*. Moscow: VVC; 2012. pp. 523-524. (In Russ.)].
 9. Виссарионов В.И., Чан Ньен Аунг Тан. Использование ресурсов солнечного излучения и оптимизация ориентации приемной площадки солнечного излучения в Республике Мьянмы // Пятая международная научно-практическая конференция «Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях»: М., ВВЦ, 2013 г. – С. 674–675. [Vissarionov VI, Chan N'en Aung Tan. Ispol'zovanie resursov solnechnogo izlucheniya i optimizaciya orientacii priemnoj ploshchadki solnechnogo izlucheniya v Respublike M'yanmy. *Pyataya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi - put' k obshchestvu, osnovannomu na znaniyah"*. Moscow: VVC. 2013. 674-675. (In Russ.)].
 10. Малинин Н.К., Рыжов А.В. Совершенствование методов расчета ресурсов малой гидроэнергетики // Вестник МЭИ. – 2007. – № 5. – С. 75–79. [Malinin NK, Ryzhov AV. Sovershenstvovanie metodov rascheta resursov maloj gidroenergetiki. *Vestnik MEI*. 2007;(5):75-79. (In Russ.)].
 11. Рахимов А.С. Совершенствование методов расчета ресурсов малой гидроэнергетики Республики Таджикистан с использованием современных информационных технологий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М., 2012. – 20 с. [Rahimov AS. Sovershenstvovanie metodov rascheta resursov maloj gidroenergetiki Respubliki Tadjikistan s ispol'zovaniem sovremennyh informacionnyh tekhnologij. *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk*. Moscow, 2012. 20 p. (In Russ.)].
 12. Дорошин А.Н. Исследование эффективности использования комбинированных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук.: 05.14.08. – М., 2011. – 20 с. [Doroshin AN. Issledovanie effektivnosti ispol'zovaniya kombinirovannyh energokompleksov na osnove vozobnovlyaemyh istochnikov energii: avtoref. dis. na soiskanie stepeni kand. tekhn. nauk.: 05.14.08. Moscow, 2011. 20 p. (In Russ.)].
 13. Васьков А.Г. Особенности проектирования энергокомплексов на базе возобновляемых источников энергии в распределенных энергосистемах // Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях: сборник докладов IV Международной научно-практической

конференции. – М.: МГСУ, 2012. – С. 472–474. [Vas"kov AG. Osobennosti proektirovaniya energokompleksov na baze vozobnovlyaemykh istochnikov energii v raspredelyonnykh energosistemah. *Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodyozhi - put' k obshchestvu, osnovannomu na znaniyah: sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Moscow: MGSU; 2012. pp. 472-474. (In Russ.)].

14. Patil MS, Shekhawat S. Predicting Solar Insolation Incident on Horizontal Surface for Performance Assessment of Solar Systems. 2021 2nd International Conference on Secure Cyber Computing and Communications (ICSCCC); 2021. pp. 410-414. doi: 10.1109/ICSCCC51823.2021.9478116
15. Вас"ков А.Г. Разработка методики обоснования состава и параметров гибридных энергокомплексов для распределенных энергосистем: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук.: 05.14.08. – М., 2013. – 20 с. [Vas"kov AG. Razrabotka metodiki obosnovaniya sostava i parametrov gibridnykh energokompleksov dlya raspredelyonykh energosistem: avtoref. dis. na soiskanie stepeni kand. tekhn. nauk.: 05.14.08. Moscow, 2013. 20 p. (In Russ.)].

Сведения об авторах:

Чжо Зин Хтай, аспирант;

eLibrary SPIN:3074-5635; ORCID: 0000-0002-6419-8111;

E-mail: chzhazin@yandex.ru

Глушенков Владимир Александрович, к.т.н., старший научный сотрудник;

eLibrary SPIN:3532-6814; ORCID: 0000-0001-9745-1067;

E-mail: glushenkovva@mpei.ru

Комаров Владимир Георгиевич, к.т.н., старший научный сотрудник;

eLibrary SPIN: 1271-5859; ORCID: 0000-0003-0038-6049;

E-mail: telectric@bk.ru

Information about the authors:

Thaw Zin Htay, Graduate;

eLibrary SPIN:3074-5635; ORCID: 0000-0002-6419-8111;

E-mail: chzhazin@yandex.ru

Vladimir A. Glushenkov, Candidate of Technological sciences, Senior Researcher;

eLibrary SPIN:3532-6814; ORCID: 0000-0001-9745-1067;

E-mail: glushenkovva@mpei.ru

Vladimir G. Komarov, Candidate of Technological science, Senior Researcher;

eLibrary SPIN: 1271-5859; ORCID: 0000-0003-0038-6049;

E-mail: telectric@bk.ru

Цитировать:

Хтай Ч.З., Глушенков В.А., Комаров В.А. Анализ возможности использования солнечной энергии энергообеспечения инновационной транспортной системы ЭЛТРО для Мьянмы // *Инновационные транспортные системы и технологии*. – 2021 – Т. 7. – № 4. – С. 33–42. doi: 10.17816/transsyst20217433-42

To cite this article:

Htay ThZ, Glushenkov VA, Komarov VA. Analysis of the possibility of using solar energy to supply the innovative ELTRO transport system for Myanmar. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021; 7(4):33-42. doi: 10.17816/transsyst20217433-42