


Н.Б. Құттыбай , **Б.Е. Есен, Ә.А. Аманжол, А.К. Сейтжанова, Б.С. Иманбаев**
Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
E-mail: nurjigit.10.93@gmail.com

ЭФФЕКТИВНАЯ АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Аннотация. Автономные системы освещения могут обеспечивать постоянное освещение даже в условиях отключения электроснабжения, что особенно важно в чрезвычайных ситуациях и природных катастрофах. Автономные системы освещения обычно используют энергоэффективные источники света и интеллектуальные управляющие системы, что позволяет снизить энергопотребление и расходы на электроэнергию. Целью исследования является повышение эффективности, устойчивости и управляемости автономных систем освещения, способных оптимизировать освещение на основе данных о погодных условиях и освещенности, а также снижение энергопотребления. В данной статье описана структура электронного управления автономной системы освещения. Проведены симуляции работы стационарной панели, одноосного трекера и двухосного трекера в качестве источника питания для автономной интеллектуальной системы уличного освещения с адаптивным алгоритмом контроля яркости в зависимости от погодных условий. В результате работы было установлено, что применение одноосных и двухосных трекеров повышает стабильность работы уличного освещения и снижает вероятность исходов, при которых остаточная энергия в аккумуляторах оказывается ниже критического уровня, до 0,025% и 0,06% для одноосного и двухосного трекеров соответственно. Также использование двухосных солнечных трекеров дает самую низкую вероятность исходов, при которых яркость ламп будет ниже 20%.

Ключевые слова. Интеллектуальная система, солнечная панель, система освещения, аккумулятор, алгоритм работы, контроллер.

Введение.

Солнечная энергетика находит применение в различных сферах, таких как гидроэнергетические системы [1], в агропромышленных теплицах [2], а также в малых и крупномасштабных электростанциях [3,4]. Фотоэлектрические системы часто используются для питания автономных устройств, включая системы наружного освещения. Научные статьи, посвященные автономным системам освещения, подтверждают эту тенденцию. Так, в статьях [5-9] были разработаны автономные системы уличного освещения, питаемые от фотоэлектрических модулей.

Большинство объектов не могут обойтись без уличного освещения, но часто системы уличного освещения сопряжены с высокими эксплуатационными затратами, недостаточным уровнем освещенности и неэффективным энергопотреблением. Одной из проблем уличного освещения является низкая энергоэффективность. Это может приводить к потере электроэнергии и увеличению экологического следа. Устаревшее оборудование и неправильная настройка освещения могут приводить к излишнему потреблению энергии [10,11].

Системы освещения разрабатываются в соответствии с надежными стандартами и редко используют последние инновации. Однако в последнее время увеличение цен на сырье, а также растущая социальная чувствительность к выбросам CO₂, способствуют

разработке новых методов и технологий, которые позволяют существенно снизить расходы и более бережно относиться к окружающей среде [12].

Для решения этих вопросов существует несколько методов. Первым из них является разработка автономной системы уличного освещения на основе фотоэлектрических панелей, что позволяет снизить воздействие на окружающую среду. Вторым решением является интеллектуальное управление системой уличного освещения. Управление осуществляется удаленно через проводные и беспроводные каналы связи. И, наконец, третьим решением является использование современных технологий в источниках света. Выбор конкретного типа лампы зависит от требований по освещению, энергоэффективности, долговечности и предпочтений в цветовой температуре света. LED-лампы потребляют значительно меньше энергии по сравнению с традиционными лампами, такими как натриевые или металлогалогенные лампы. Это позволяет снизить энергозатраты на освещение и экономить деньги на счетах за электроэнергию [13].

Целью данной работы является разработка автономных, энергоэффективных систем уличного освещения. В большинстве исследований не уделяется достаточного внимания способам повышения выходной мощности фотоэлектрических панелей, применяемых в системах уличного освещения, с целью увеличения стабильности их работы. Нашей задачей является повышение эффективности уличного освещения с использованием систем слежения за Солнцем при различных погодных условиях, с целью увеличения стабильности автономных систем уличного освещения.

В данной статье проведено моделирование автономных систем освещения, разработан электронный блок управления общей системой. Осуществлен расчет годовой производительности фотоэлектрических установок при различных погодных условиях. Полученные расчетные данные применены для моделирования работы уличной системы освещения.

Материалы и методы.

Применяемые для моделирования автономных систем освещения солнечные панели являются коммерческими поликристаллическими панелями мощностью 60 Вт. В таких системах солнечные панели устанавливаются под разными углами: в стационарной системе под углом 45° к горизонту, направленными на юг; в системе с одноосным трекером под углом 45° к горизонту с вертикальной осью вращения; и в системе с двухосным трекером, позволяющим панелям вращаться как по азимуту, так и по высоте Солнца.

Электронные блоки управления фотоэлектрической установкой и системами уличного освещения играют важную роль в автоматизации и оптимизации работы этих систем. Электронный блок управления для уличного освещения отвечает за следующие функции:

- зарядка батарей от солнечных панелей;
- управление включением и выключением освещения в зависимости от освещенности окружающей среды или заданного расписания;
- мониторинг состояния батарей и системы, чтобы обеспечить надежную работу.

На рисунке 1 показана принципиальная электрическая схема блока управления солнечными трекерами. Электронные компоненты питаются через аккумулятор с величиной 12 В который в свою очередь заряжается от установленной фотоэлектрической модули через контроллер заряда батареи (К). Большинство электронных компонентов работает с напряжением 5 В. В схеме установлен стабилизатор напряжения (LM7805) с входом 12 В и выходом 5 В. В качестве управляющего программируемого микроконтроллера было взято atmega328PU семейства AVR. В микроконтроллере вставляется алгоритм управления солнечными трекерами. Производимые электрические

величины солнечных панелей измеряется через датчик напряжение и тока Ina219. Точность отслеживание солнечного трекера осуществляется через энкодер (Е), гироскоп и акселерометр (GY521), а также датчика реального времени (DS1307). Двигатель постоянного тока и линейный актуатор (M1, M2) управляется микроконтроллером через драйвер двигателя МХ1508. Для одноосного трекера используется двигатель постоянного тока, актуатор же применяется в двухосном солнечном трекере. Приведенные электронные компоненты используются для управления и измерения фотоэлектрической системы. Лампа (Л) системы освещения включается, когда фоторезистор (ФР) определит наступление заката. Для энергосбережения работы системы в схеме установлен диммер. Снижение яркости света с помощью диммеров позволяет сократить энергопотребление и продлить срок службы ламп. Это способствует экономии электроэнергии и снижению электроэнергетических расходов.

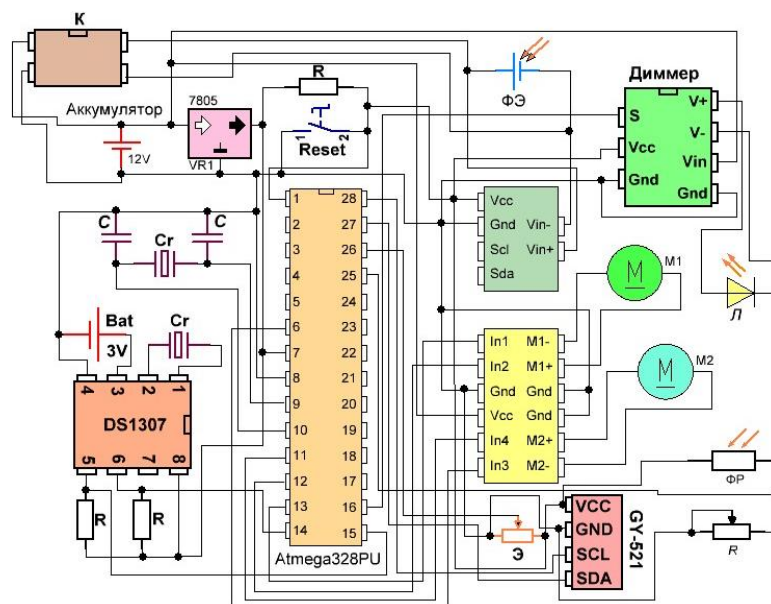


Рисунок 1 – Электронный блок управления автономной системы освещения

Для моделирование производительности фотоэлектрических установок необходимо более подробно рассмотреть солнечное излучение. Если в системе отсутствуют солнечные трекеры, то количество солнечной радиации, поглощаемое солнечной панелью, зависит от двух углов: угла высоты θ и угла азимута ϕ солнечной панели. Факторы, учитывающие влияние этих углов - $f(w)$ и $g(w)$, могут быть рассчитаны согласно следующей формуле:

$$f(w) = \cos \left(\left| \frac{\pi}{12} (12 - T) - \theta \right| \right), \quad (1)$$

$$g(w) = \sin \left(\left| \frac{\pi}{12} (12 - T) - \phi \right| \right). \quad (2)$$

Здесь θ — угол высоты; ϕ — угол азимута; T — местное время.

Для определения общего солнечного излучения, поглощаемого стационарной солнечной панелью, мы можем использовать следующую формулу:

$$G = \int_0^n \int_7^T k \eta_c I_0 f(w) g(w) \sinh_s dndT. \quad (3)$$

Здесь η_c — коэффициент коррекции, учитывающий расстояние между Землей и Солнцем; k — коэффициент атмосферного рассеяния; h_s — угол высоты Солнца; n —

один день в течение года, первый день в году соответствует 1 января; φ — местная широта; I_0 — константа солнечного излучения равна $1,37 \text{ кВт/м}^2$. Если использовать одноосные и двухосные трекеры, то коэффициенты влияния угла высоты $f(w)$ и угла азимута $g(w)$ будут равны 1.

Результаты и обсуждение.

В данной статье предлагается использование прогнозов погоды на пять дней вперёд для предсказания генерации энергии солнечными батареями для системы уличного освещения. С помощью предсказывания увеличивается устойчивость системы благодаря корректировке яркости ламп в ночное время. Энергопотребление системы описывается следующим выражением (4):

$$E_n = E_{n-1} + E_c - (P_d t_d + P_n t_n + P_o t_n), \quad (4)$$

где E_n — остаточная энергия в аккумуляторах на n -ый день, E_{n-1} — остаточная энергия в аккумуляторах на $n-1$ день, E_c — энергия, вырабатываемая солнечными панелями за n -ый день. P_d — потребление столбов в дневное время, P_n — потребление столбов в ночное время, P_o — мощность осветительной лампы, t_d — длительность дня, t_n — длительность ночи.

Для анализа и тестирования стабильности и устойчивости рассматриваемой автономной системы уличного освещения, необходимо выполнить симуляцию модели с использованием полученных экспериментальных данных. Симуляция была выполнена на Python 3.8 с использованием Intel Core i7-7500 2.9 GHz CPU и 8.00 GB оперативной памяти. Целью симуляции является возможность использования трекеров для интеллектуальных систем уличного освещения, определение вероятности исходов при которых яркость ламп будет ниже 20% и вероятности исходов, при которых падение остаточной энергии в аккумуляторах на следующие дни будет ниже 30% в течение года. Для интеллектуальной системы уличного освещения важна яркость ламп в ночное время суток. Чем выше яркость тем больше энергии требуется системе и тем больше вероятность снижения остаточной энергии в аккумуляторах ниже критического уровня.

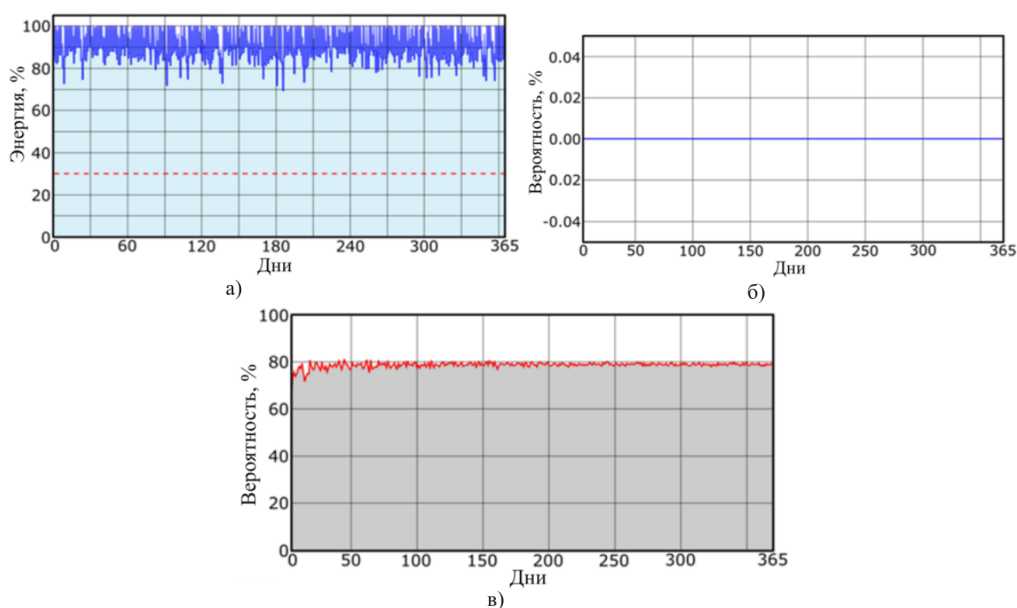


Рисунок 2 – Применение стационарных солнечных панелей для автономных систем уличного освещения: а) симуляция потребления энергии системы для 1 года; б) вероятность исходов при которых яркость ламп будет ниже 0,2 в течение года; в) вероятность исхода падения энергии ниже 30% в течение года

По полученным графикам можно сказать, что при использовании стационарных солнечных панелей количество входящей энергии для автономной интеллектуальной системы уличного освещения будет значительно ниже по сравнению с остальными, тем самым система будет работать в энергосберегательном режиме (рисунок 2). В таком режиме коэффициенты яркости ламп во многих днях будут выставлены на минимальное значение, следовательно потребление энергии системы не будет падать ниже 30%. На рисунке 10а видно, что потребление энергии не падает ниже 60% для симуляции на год, а вероятности исхода яркости ламп ниже 0,2 коэффициента показывают приблизительно 80%. Вероятность исхода падения энергии системы ниже 30% равна 0. Кривые вероятностей были получены с выявлением средних значений коэффициента яркости ламп для 100 итераций с расчетом каждого дня из 365 дней.

На рисунке 3а-в показаны результаты симуляции работы системы уличного освещения с использованием одноосного трекера. Рисунок 3а показывает динамику изменения остаточной энергии в аккумуляторах. По графикам видно, что при использовании одноосных трекеров количество энергии увеличилось, система позволяет увеличивать яркость ламп, что видно из рисунка 3б. Вероятность исходов, при которых энергии осталось меньше 30% стало больше, однако вероятность таких исходов близка к нулю. Причём количество таких дней больше, что говорит о большем количестве вырабатываемой энергии, и, следовательно, большей яркости ламп и большем потреблении. Вероятность исходов, при которых яркость ламп ниже 20% от максимальной мощности оказывается около 9%. Кривые вероятностей были получены с выявлением средних значений коэффициента яркости ламп для 100 итераций для каждого дня в году.

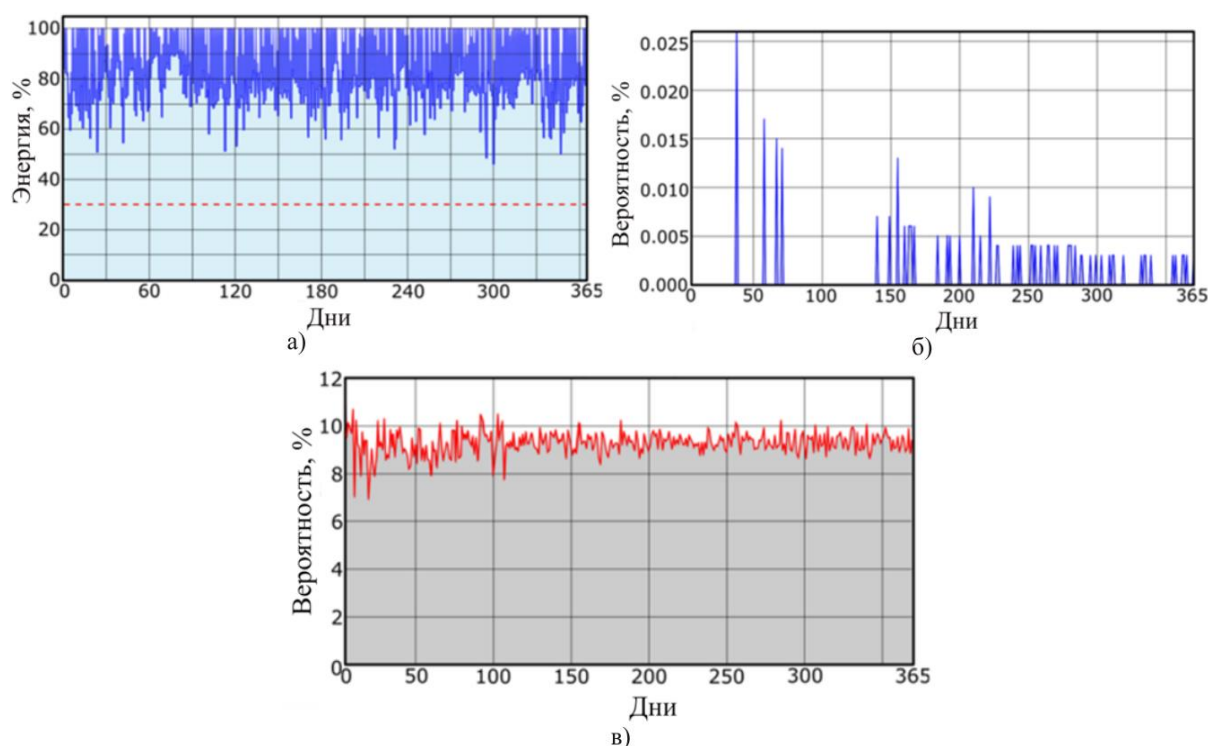


Рисунок 3 – Применение одноосных солнечных трекеров для автономных систем уличного освещения: а) симуляция потребления энергии системы для 1 года; б) вероятность исхода яркости ламп ниже 0,2 в течение года; в) вероятность исхода падения энергии ниже 30% в течение года

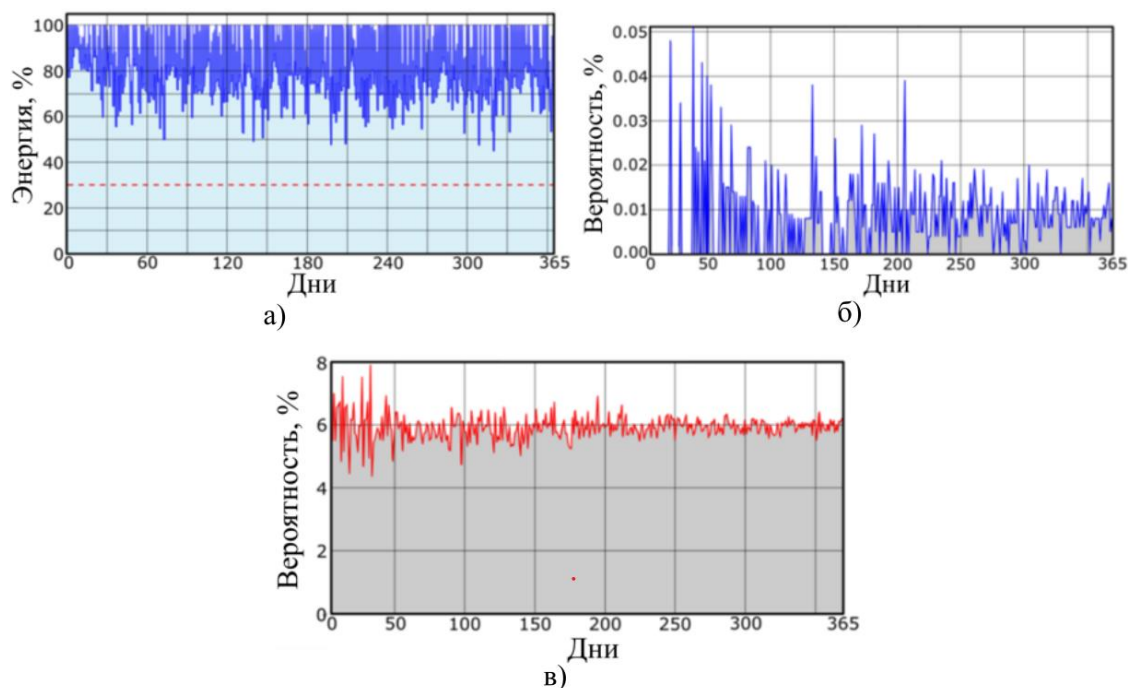


Рисунок 4 – Применение двухосных солнечных трекеров для автономных систем уличного освещения с использованием МРРТ / PWM:

- а) симуляция потребления энергии системы для 1 года;
- б) вероятность исхода яркости ламп ниже 0,2 в течение года;
- в) вероятность исхода падения энергии ниже 30% в течение года

Для случаев, где применяется двухосные трекеры, также были получены симуляции энергопотребления и вероятностей для одного года (рисунок 4а-в). На рисунке 4а можно увидеть, что потребление энергии системы не падает ниже 30%. Вероятности исходов, при которых падение энергии ниже 30% не достигает 1% (максимум 0,06%). А вероятность исходов, при которых яркость ламп падает ниже 20% около 6%. В таблице 1 показаны вероятности исходов, при которых яркость ламп будет ниже 20%. Как видно из таблицы, использование двухосных солнечных трекеров дает самую низкую вероятность исходов, при которых яркость ламп будет ниже 20%.

Таблица 1 - Вероятность исходов, при которых яркости ламп ниже 20%

Вид PV	%
Стационарный	~ 80%
Одноосный	~ 9%
Двухосный	~ 6%

Заклучение.

В данной статье описаны механизмы конструкции и структура электронного управления автономной системы освещения. Построены математические модели генерации солнечной энергии. Проведены симуляции работы стационарной панели, одноосного трекера и двухосного трекера в качестве источника питания для автономной интеллектуальной системы уличного освещения с адаптивным алгоритмом контроля яркости в зависимости от погодных условий. В результате симуляции работы интеллектуальной системы уличного освещения было установлено, что применение одноосных и двухосных трекеров повышает стабильность работы уличного освещения и

снижает вероятность исходов, при которых остаточная энергия в аккумуляторах оказывается ниже критического уровня, до 0,025% и 0,06% для одноосного и двухосного трекеров соответственно. При этом использование солнечных трекеров повышает количество генерации солнечной энергии в течение дня. Соответственно алгоритм системы уличного освещения становится более стабильным и увеличивает яркость ламп в ночное время суток, что приводит к большему потреблению и большей вероятности достижения критического уровня заряда аккумуляторов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shabani M., Mahmoudimehr J. Techno-economic role of PV tracking technology in a hybrid PV-hydroelectric standalone power system //Applied energy. – 2018. – Vol. 212. – P. 84-108.
- [2] Gao Y. et al. Modeling and analyses of energy performances of photovoltaic greenhouses with sun-tracking functionality //Applied Energy. – 2019. – Vol. 233. – P. 424-442.
- [3] Wang D. D., Sueyoshi T. Assessment of large commercial rooftop photovoltaic system installations: Evidence from California //Applied Energy. – 2017. – Vol. 188. – P. 45-55.
- [4] Hua Z. et al. Optimal capacity allocation of multiple solar trackers and storage capacity for utility-scale photovoltaic plants considering output characteristics and complementary demand //Applied Energy. – 2019. – Vol. 238. – P. 721-733.
- [5] Zhang P. et al. Numerical study on the properties of an active sun tracker for solar streetlight //Mechatronics. – 2013. – Vol. 23. – No. 8. – P. 1215-1222.
- [6] Tukymbekov D. et al. Intelligent energy efficient street lighting system with predictive energy consumption //2019 International conference on smart energy systems and technologies (SEST). – IEEE, 2019. – P. 1-5.
- [7] Vijay M. D. et al. LED based street lighting with automatic intensity control using solar PV //2015 IEEE IAS Joint Industrial and Commercial Power Systems/Petroleum and Chemical Industry Conference (ICSPSIC). – IEEE, 2015. – P. 197-202.
- [8] Saymbetov A. K. et al. Intelligent energy efficient wireless communication system for street lighting //2018 International conference on computing and network communications (CoCoNet). – IEEE, 2018. – P. 18-22.
- [9] Guijuan W. et al. A new intelligent control terminal of solar street light //2011 Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. – IEEE, 2011. – Vol. 1. – P. 321-324.
- [10] Sutopo W. et al. A model to improve the implementation standards of street lighting based on solar energy: A case study //Energies. – 2020. – Vol. 13. – No. 3. – P. 630.
- [11] Suseendran S. C. et al. Smart street lighting system //2018 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). – IEEE, 2018. – P. 630-633.
- [12] Leccese F., Leonowicz Z. Intelligent wireless street lighting system //2012 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering. – IEEE, 2012. – P. 958-961.
- [13] Bhairi M. N. et al. Design and implementation of smart solar LED street light //2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI). – IEEE, 2017. – P. 509-512.

Нұржігіт Құттыбай, PhD, аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, nurjigit.10.93@gmail.com

Бегим Есен, магистрант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, begim.yesen@gmail.com

Әділет Аманжол, магистрант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, aamanzhol.kaznu@gmail.com

Айнагуль Сейтжанова, магистрант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, ainagulya2001@gmail.com

Бекжан Иманбаев, магистрант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, bekhzhanimanbaev7@gmail.com

КҮН БАТАРЕЯСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН ТИІМДІ АВТОНОМДЫ КӨШЕ ЖАРЫҚТАНДЫРУ ЖҮЙЕСІ

Аңдатпа. Автономды жарықтандыру жүйелері ортақ желіден келетін электр қуаты сөнген жағдайында да тұрақты жарықтандыруды қамтамасыз ете алады, бұл әсіресе төтенше жағдайлар мен табиғи апаттарда маңызды. Автономды жарықтандыру жүйелері әдетте энергияны үнемдейтін жарық көздерін және ақылды басқару жүйелерін пайдаланып, энергия шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Зерттеудің мақсаты - ауа-райы мен сәулелену деректері негізінде жарықтандыруды оңтайландыруға қабілетті автономды жарықтандыру жүйелерінің тиімділігін, тұрақтылығын және басқарылуын арттыру және қуат тұтынуды азайту. Бұл мақалада автономды жарықтандыру жүйесінің электрондық басқару құрылымы сипатталған. Ауа-райына байланысты жарықтылықты басқарудың адаптивті алгоритмі бар автономды интеллектуалды көше жарықтандыру жүйесі үшін қуат көзі ретінде стационарлық панельдің, бір осьті трекердің және екі осьті трекердің жұмысын модельдеу жүргізілді. Жұмыс нәтижесінде бір осьті және екі осьті трекерлерді қолдану көше жарығының тұрақтылығын арттыратыны және батареялардағы қалдық энергия критикалық деңгейден төмен болатын нәтижелердің ықтималдығын сәйкесінше бір осьті және екі осьті трекерлер үшін 0,025% және 0,06% дейін төмендететіні анықталды. Сондай-ақ, екі осьті күн трекерлерін пайдалану шамдардың жарықтығы 20% - дан төмен болатын нәтижелердің ең төменгі ықтималдығын береді.

Түйінді сөздер. Ақылды жүйе, күн панелі, жарықтандыру жүйесі, батарея, жұмыс алгоритмі, контроллер.

Nurzhigit Kuttybay, PhD, senior lecturer, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, nurjigit.10.93@gmail.com

Begim Yessen, master's student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, begim.yesen@gmail.com

Adilet Amanzhol, master's student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, aamanzhol.kaznu@gmail.com

Ainagul Seitzhanova, master's student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, ainagulya2001@gmail.com

Bekzhan Imanbayev, master's student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, bekhzhanimanbaev7@gmail.com

EFFICIENT AUTONOMOUS STREET LIGHTING SYSTEM BASED ON SOLAR BATTERY

Abstract. Autonomous lighting systems can provide constant lighting even during power outages, which is especially important in emergencies and natural disasters. Off-grid lighting systems typically use energy-efficient light sources and intelligent control systems to reduce energy consumption and energy costs. The goal of the research is to improve the efficiency,

sustainability and controllability of autonomous lighting systems that can optimize lighting based on weather and illuminance data, while also reducing energy consumption. This article describes the electronic control structure of an autonomous lighting system. Simulations of the operation of a stationary panel, a single-axis tracker and a dual-axis tracker as a power source for an autonomous intelligent street lighting system with an adaptive brightness control algorithm depending on weather conditions were carried out. As a result of the work, it was found that the use of single-axis and dual-axis trackers increases the stability of street lighting and reduces the likelihood of outcomes in which the residual energy in the batteries is below a critical level, to 0.025% and 0.06% for single-axis and dual-axis trackers, respectively. Also, the use of dual-axis solar trackers gives the lowest probability of outcomes in which the brightness of the lamps will be below 20%.

Keywords. Intelligent system, solar panel, lighting system, battery, operating algorithm, controller.
