

УДК 621.311:620.92

Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли¹,
кандидат технических наук, доцент
Алдашева Нуржамал Тунаевна²,
кандидат технических наук, доцент
Алиев Райимжон¹,
доктор технических наук, профессор
Рашидов Бобуржон Дилмуродович¹,
кандидат физико-математических наук, доцент
Мирзаалимов Авазбек Алишерович³,
кандидат технических наук, доцент
Қахҳоров Жамшидбек Иброхимович³,
старший преподаватель
Мухабатхан Исмаилахун кызы⁴,
PhD докторант
Комилов Муроджон Мухторжон угли³,
преподаватель

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОВОЙ МИКРО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГОРОДСКИХ УЛИЦ

Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли¹,
техника илимдеринин кандидаты, доцент
Алдашева Нуржамал Тунаевна²,
техника илимдеринин кандидаты, доцент
Алиев Райимжон¹,
техника илимдеринин доктору, профессор
Рашидов Бобуржон Дилмуродович¹,
физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент
Мирзаалимов Авазбек Алишерович³,
техника илимдеринин кандидаты, доцент
Қахҳоров Жамшидбек Иброхимович³,
ага окутуучу
Мухабатхан Исмаилахун кызы⁴,
PhD докторант
Комилов Муроджон Мухторжон угли³,
окутуучу

ШААРДЫК КӨЧӨЛӨР ҮЧҮН ГИБРИДДИК КҮН-ШАМАЛ МИКРО ЭНЕРГЕТИКА СИСТЕМАСЫН ӨНҮКТҮРҮҮ

Navruzbek Alisher ugli Mirzaalimov¹,
PhD, Associate Professor
Nurzhama Tunaevna Aldasheva²,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Rayimjon Aliev¹,
Doctor of Technical Sciences, Professor
Boburjon Dilmurodovich Rashidov¹,
PhD, Associate Professor

Avazbek Alisherovich Mirzaalimov³,
PhD, Associate Professor

Jamshidbek Ibrohimovich Qahhorov³,
senior lecturer

Mukhabbatkhan Ismailakhun kyzy⁴,
PhD student

Murodjon Mukhtorjon ugli Komilov³,
lecturer

HYBRID SOLAR-WIND MICRO-ENERGY SYSTEMS IN 3D FORMAT FOR CITY STREETS

¹Андижанский государственный университет, Андижан, Республика Узбекистан

²Ошский технологический университет им. академика М.М.Адышева,
 Ош, Кыргызская Республика

³Андижанский государственный педагогический институт,
 Андижан, Республика Узбекистан

⁴Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика

¹Андижан мамлекеттик университети, Андижан, Ўзбекистан Республикасы

²Академик М.М.Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы

³Андижан мамлекеттик педагогикалык институту, Ўзбекистан Республикасы

⁴Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы

¹Andijan State University, Andijan, Republic of Uzbekistan

²Osh Technological University named after academician M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyz Republic

³Andijan State Pedagogical Institute, Andijan, Republic of Uzbekistan

⁴Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic

Аннотация. В данной статье разработано новое гибридное солнечно-ветровое микроэнергетическое устройство в 3D-формате, предназначенное для городских улиц. Солнечный модуль состоит из шести трапециевидных кремниевых солнечных панелей с КПД 21%. Благодаря оптимизированной пирамидальной конструкции фотоэлектрического модуля обеспечивается на 42,5% большее производство электроэнергии по сравнению с плоскими солнечными панелями, за счёт увеличения времени освещения солнечными лучами на 4 часа. Установлено, что при угловой скорости вращения 6–8 рад/с температура поверхности фотоэлектрического модуля снижается на 1,3–1,87 °С/мин, а выходная мощность увеличивается за счёт повышения рабочего напряжения на 0,1–0,27 В. Ветроустановка с вертикальной осью вращения предотвращает перегрев поверхности фотоэлектрического модуля в дневное время и позволяет использовать механическую энергию ветра для выработки дополнительной электроэнергии ночью. Устройство эффективно работает при низких скоростях ветра ($v = 0,5\text{--}2$ м/с), возникающих в результате непрерывного движения автомобилей на автомагистралях. Система оснащена перезаряжаемой батареей, обеспечивающей автономную работу силового блока. Показаны перспективы широкого внедрения микроэнергетической системы мощностью до нескольких киловатт.

Ключевые слова: ветротурбина, гибрид, солнечный ветер, энергия, солнечный модуль, пирамида.

Аннотация. Бул документ шаар көчөлөрүндөгү колдонмолор үчүн жаңы 3D күн-шамал гибридик микроэнергиялык түзүлүштү иштеп чыгат. Күн модулу 21% эффективдүүлүгү менен алты трапеция түрүндөгү кремний күн панелинен турат. Фотоэлектрдик модулдун оптималдаштырылган пирамидалык дизайны күндүн экспозиция убактысын 4 саатка узартуу менен жалпак күн панелдерине салыштырмалуу 42,5% көбүрөөк энергия өндүрүүгө алып келет. 6–8 рад/с бурчтук айлануу ылдамдыгында фотоэлектрдик модулдун бетинин температурасы 1,3–1,87 °С/мин төмөндөйт, ал эми чыгуучу кубаттуулугу иштөө чыңалуусун 0,1–0,27 В жо-

горулатуу менен жогорулайт. Вертикалдык огу шамал турбинысы күндүз фотоэлектрдик модулдун бетинин ашыкча ысып кетүүсүнө жол бербейт жана түнкүсүн кошумча электр энергиясын өндүрүү үчүн шамал энергиясын колдонууга мүмкүндүк берет. Аппарат трассаларда тынымсыз унаа кыймылы учурунда пайда болгон шамалдын төмөн ылдамдыгында ($v = 0,5-2$ м/сек) эффективдүү иштейт. Система энергия блогунун автономдуу иштешин камсыз кылуучу аккумулятордук батарея менен жабдылган. Кубаттуулугу бир нече киловаттга чейинки микро-энергетикалык системаны кенири жайылтуу учун мүмкүнчүлүктөр көрсөтүлдү.

Ачкыч сөздөр: шамал турбинысы, гибрид, күн шамалы, энергия, күн модулу, пирамида.

Abstract. This paper develops a novel 3D micro solar-wind hybrid power device for urban street applications. The solar module consists of six trapezoidal silicon solar panels with an efficiency of 21%. An optimized pyramidal design of the photovoltaic module results in 42.5% higher power production compared to flat solar panels by extending the solar exposure time by 4 hours. It was found that at an angular rotation speed of 6–8 rad/s, the surface temperature of the photovoltaic module decreases by 1.3–1.87 °C/min, and the output power increases by increasing the operating voltage by 0.1–0.27 V. A vertical-axis wind turbine prevents overheating of the photovoltaic module surface during the day and allows the use of wind energy to generate additional electricity at night. The device operates effectively at low wind speeds ($v = 0.5-2$ m/s), which occur during continuous vehicle traffic on highways. The system is equipped with a rechargeable battery, ensuring autonomous operation of the power unit. Potential for widespread implementation of a micro-power system with a capacity of up to several kilowatts is demonstrated.

Keywords: wind turbine, hybrid, solar wind, energy, solar module, pyramid.

Введение

В настоящее время, в связи с сокращением запасов невозобновляемых источников энергии и обострением экологических проблем, всё большее внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии для удовлетворения растущей потребности в электричестве. Перспективным направлением повышения энергоэффективности городской инфраструктуры и снижения воздействия на окружающую среду является применение гибридных солнечно-ветровых микро-энергетических систем. Такие системы обеспечивают высокую эффективность за счёт взаимного дополнения ограничений одного источника энергией другого [1][2]. Основным средством преобразования солнечного излучения в электрическую энергию являются фотоэлектрические устройства. Солнечные панели, оснащённые системами слежения (трекерами), вырабатывают до 30% больше энергии по сравнению со стационарными модулями. Однако прямое воздействие солнечного излучения приводит к перегреву поверхности модулей, что снижает их эффективность. В качестве альтернативного решения предлага-

ется использование панелей, оснащённых системами охлаждения, или конструкций, выполненных в 3D-формате (в виде конуса или пирамиды). Такие системы позволяют применять солнечные элементы треугольной и прямоугольной формы [3][4].

Энергия ветра также является важным возобновляемым источником. Турбины типа Савониуса с вертикальной осью вращения характеризуются низким уровнем шума, компактностью и удобством в обслуживании. Они эффективно функционируют даже при низких скоростях ветра.

В данном исследовании проведена разработка 3D-форматной гибридной солнечно-ветровой микроэнергетической системы для городских улиц Андижана. Устройство предназначено для совместного производства электрической энергии за счёт использования ветрового потока, создаваемого движением транспортных средств, и солнечного излучения [5][6]. Интеграция вертикальной осевой турбины позволяет использовать ветер любого направления. Предлагаемое решение обеспечивает возможность внедрения малогабаритной, эстетичной и энергоэффективной системы энергоснабжения в городских медиа-зонах [7][8].

Материалы и методы

На рис. 1 представлена упрощённая схема гибридной солнечно-ветровой микроэнергетической системы в вертикальном сечении, на рис. 2 показано воздействие ветрового потока на лопасти вертикальной турбины и формирование результирующих векторов движущих сил, а на рис. 3 изображён общий вид фотоэлектрического модуля пирамидальной формы с многогранной поверхностью.

Предлагаемая гибридная система в 3D-формате состоит из следующих основных компонентов: 1 - Фотоэлектрический модуль на основе монокристаллического кремния; 2 - Ветроустановка с вертикальной осью вращения; 3 - Аккумуляторная батарея; 4 - Система дистанционного мониторинга; 5 - Осветительный элемент.

Инвертор; 6 - Фотоэлектрический модуль; 7 - Ветроустановка; 8 - Аккумуляторная батарея; 9 - Система дистанционного мониторинга; 10 - Осветительный элемент.

Фотоэлектрический модуль преобразует солнечную энергию в электрическую и имеет форму усечённой пирамиды, состоящей из шести трапециевидных солнечных панелей. Ветроустановка преобразует энергию воздушного потока в электрическую, а аккумуляторная батарея предназначена для накопления избыточной мощности. Осветительный элемент автоматически обеспечивает освещение в ночное время, а система дистанционного мониторинга контролирует вырабатываемую мощность и запасённую энергию.

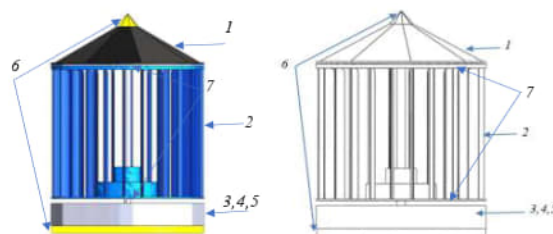


Рис. 1. Структура предлагаемой гибридной солнечно-ветровой микроэнергетической системы.

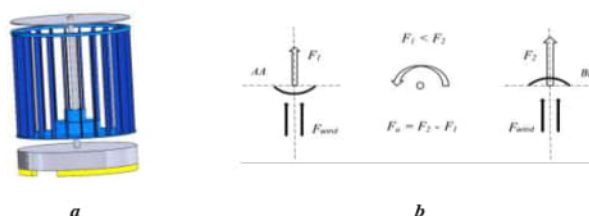


Рис. 2. Изображён приводной вращательный механизм в воздушном потоке (а) и схема воздействия вектора силы воздушного потока на лопасти (b).

Конструкция вертикально-осевой ветровой турбины выполнена в виде маглев-тур-

бины, что обеспечивает её лёгкое вращение под воздействием воздушного потока, создаваемого на автомагистралях

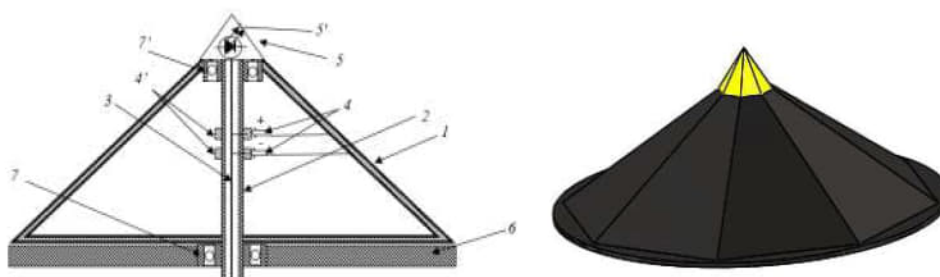


Рис. 3. Внутренняя структура фотоэлектрического модуля, расположенного в верхней части гибридной солнечно-ветровой микроэнергетической установки

На рисунке 3 представлена общая конструкция 3D фотоэлектрического модуля с вертикальной осью, выполненного в форме многогранной или усечённой пирамиды. Устройство состоит из солнечной панели (1), вертикального вала (2), электрических соединительных проводов (3), светодиодного светильника (5), нижнего диска (6), а также вращающейся части (7, 7'), закреплённой на вертикальном валу посредством подшипников. Передача электрической энергии осуществляется через механизм щётка (4) — кольцо (4').

Цифровая модель фотоэлектрического модуля разработана на языке программирования C# 9.0 под названием «STVertical» и зарегистрирована в Агентстве интеллектуальной собственности Республики Узбекистан под номером DGU09198 от 24 сентября 2020 года. Программа предназначена для численного решения дифференциальных уравнений, анализа экспериментальных данных и оптимизации конструктивных параметров устройства.

По результатам проведённого моделирования установлены оптимальные размеры устройства: верхний радиус — 0,07–0,14

м, нижний радиус — 0,35–0,45 м, высота — 0,32–0,4 м. Выявлено, что при такой геометрической форме время освещения поверхности солнечным излучением на 4 часа больше по сравнению с плоской панелью, а общая эффективность устройства выше на 42,5 %.

Результаты и обсуждение

На рис. 6 представлены вольт-амперные характеристики 3D фотоэлектрического модуля в форме усечённой пирамиды, образованного последовательным соединением трапецеидальных кремниевых солнечных панелей, в стационарном и вращающемся состояниях. При вращении устройства ток короткого замыкания составил 1,51 А, а напряжение холостого хода — 12,98 В. В невращающемся состоянии ток короткого замыкания равнялся 1,496 А, а напряжение холостого хода — 12,82 В.

Цель вращения устройства заключается в создании вокруг него эффекта ветрового охлаждения. Явуздегер также применял вращение 3D фотоэлектрического устройства вокруг собственной оси для его охлаждения. Для определения оптимальных параметров работы и сравнения с традиционными плоскими солнечными панелями он использовал нейронную сеть.

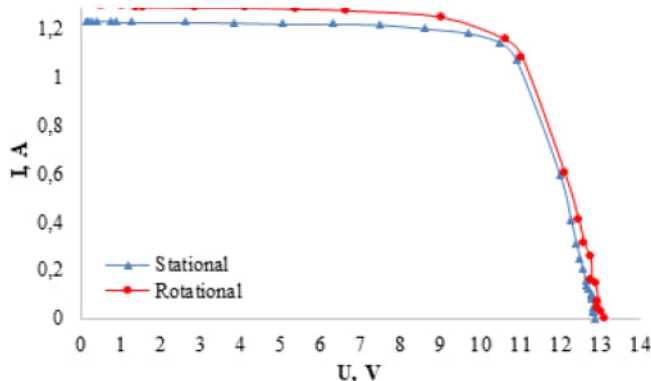


Рис. 6. Вольт-амперные характеристики 3D фотоэлектрического модуля в форме усечённой пирамиды, образованного последовательным соединением трапецеидальных кремниевых солнечных панелей, в стационарном и вращающемся состояниях.

При вращении устройства было установлено улучшение его фотоэлектрических параметров. В связи с этим была исследована зависимость фотоэлектрических характеристик от угловой скорости вращения. На

рисунке 7 представлены зависимости напряжения холостого хода (а) и температуры поверхности (b) 3D фотоэлектрического модуля от угловой скорости устройства. С увеличением угловой скорости напряжение

холостого хода возрастало, а температура поверхности устройства снижалась. При уменьшении температуры поверхности фотоэлектрического модуля наблюдалось увеличение напряжения холостого хода. Это объясняется увеличением ширины запрещённой зоны и уменьшением концентрации собственных носителей заряда.

Охлаждение обычных солнечных панелей под воздействием ветра ранее подробно изучалось. В частности, в работах Скопки

было показано, что количество тепла, отводимого с единицы площади поликристаллических кремниевых панелей за единицу времени, напрямую зависит от скорости ветра.

Поскольку вращающееся устройство создаёт воздушный поток вокруг себя, скорость вихревого движения воздуха вблизи его поверхности можно приравнять к линейной скорости крайних точек устройства. Следовательно, при изменении скорости вращения изменяется и температура поверхности устройства.

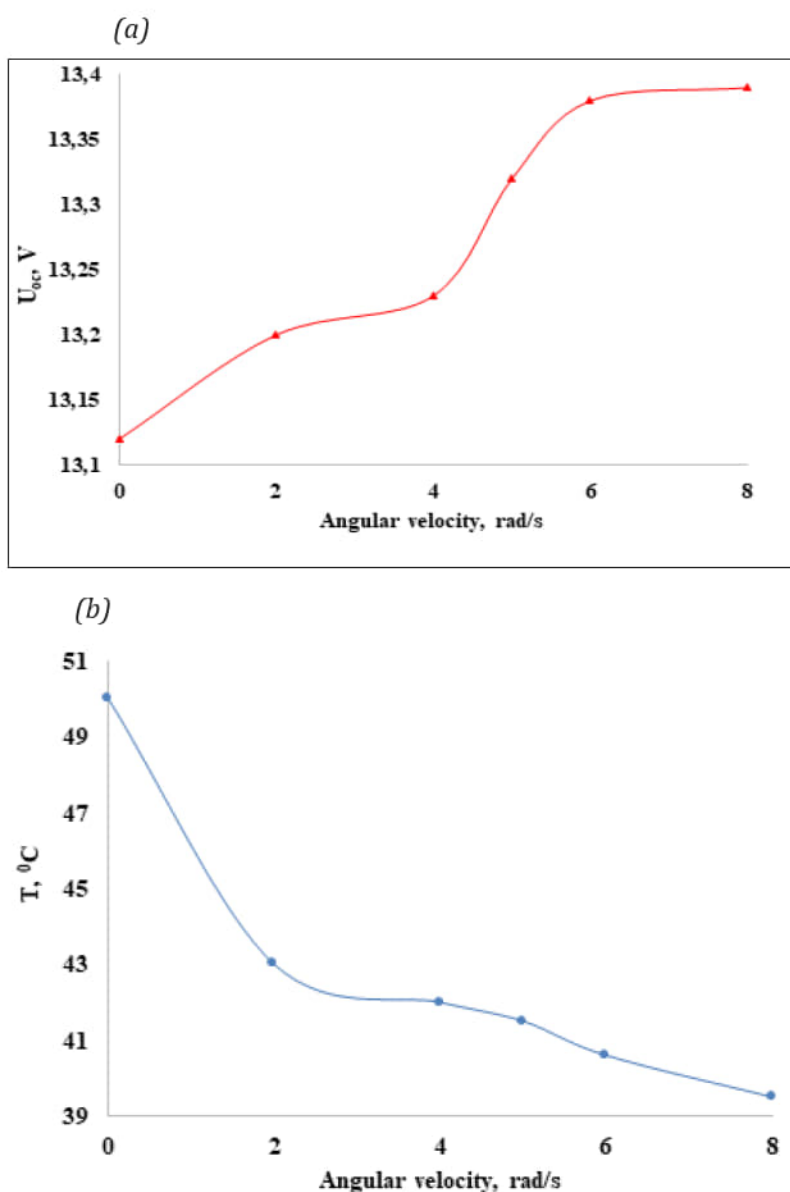


Рис. 7. Зависимость напряжения холостого хода (а) и температуры поверхности (б) 3D фотоэлектрического модуля в форме усечённой пирамиды, образованного последовательным соединением трапецидальных кремниевых солнечных панелей, от угловой скорости устройства.

В невращающемся состоянии температура поверхности устройства составила 50 °С, а напряжение холостого хода — 13,12 В. В диапазоне угловых скоростей 0–6 рад/с температура поверхности устройства снизилась на 9,4 °С, что привело к резкому увеличению напряжения холостого хода на 0,36 В. В диапазоне 6–8 рад/с температура уменьшилась всего на 1,1 °С, а напряжение холостого хода увеличилось незначительно — примерно на 0,01 В.

Таким образом, при увеличении скорости вращения напряжение холостого хода фотоэлектрического модуля асимптотически приближается к определённому значению, а температура поверхности асимптотически стремится к температуре окружающей среды, однако не может стать ниже неё. Сле-

довательно, предложенный метод позволяет предотвратить перегрев поверхности фотоэлектрического модуля, но не обеспечивает его охлаждения до низких температур.

На основании полученных результатов можно заключить, что предложенная 3D гибридная солнечно-ветровая микро-энергетическая система для городских улиц способна эффективно использовать энергию воздушных потоков, создаваемых движущимися по автомагистралям транспортными средствами, а также солнечное излучение, падающее на поверхность панели. Внедрение такой установки в городскую инфраструктуру позволит преобразовывать кинетическую энергию ветров любого направления в электрическую энергию с высокой эффективностью.

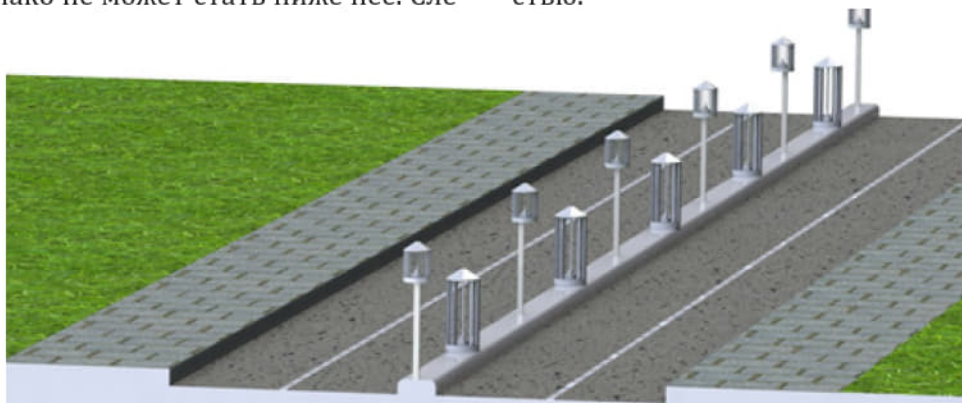


Рис. 8. Гибридная солнечно-ветровая микро-энергетическая система для городских улиц.

Данная 3D-форматная гибридная энергетическая установка позволяет использовать механическую энергию ветра для предотвращения перегрева поверхности фотоэлектрического модуля днём и для дополнительной выработки электрической энергии ночью. Преобразуя кинетическую энергию в электрическую, устройство способно эффективно работать при низкой скорости воздушного потока ($v = 1,5\text{--}2$ м/с), возникающего за счёт постоянного движения автомобилей на автомагистралях.

Высота установки составляет около 1 метра, а с вертикальной опорной стойкой — 2,5–3 метра. Благодаря 3D-дизайну устройство может использовать часть вырабатываемой энергии для освещения городских улиц и обеспечения бесперебойного электропитания светофоров на перекрёстках.

Компактная конструкция предлагаемого устройства позволяет устанавливать его вдоль дорожных разделительных полос на городских магистралях, что способствует увеличению объёма вырабатываемой электроэнергии и расширению возможностей её использования в городской инфраструктуре.

Заключение

3D форматные гибридные солнечно-ветровые энергетические установки на основе кремния были исследованы с использованием цифрового моделирования и экспериментальных методов. В результате получены следующие основные выводы:

— Предложена концепция гибридной системы, использующей энергию ветра для снижения перегрева поверхности солнечной панели и дополнительной выработки энергии ночью;

— Разработано 3D-устройство с аэродинамическими лопастями и кремниевыми фотоэлементами, защищённое патентом № UZ FAP 01804;

— Установлено, что при скорости вращения 6–8 рад/с температура поверхности модуля снижается на 1,3–1,87 °С/мин, а напряжение увеличивается на 0,1–0,27 В;

— Определены оптимальные параметры конструкции: $0,07 < r_1 < 0,14$ м, $0,35 < r_2 < 0,45$ м,

$0,32 < h < 0,4$ м; доказано, что эффективность устройства на 42,5% выше, чем у плоских панелей.

Предлагаемая установка обеспечивает экологически чистое и непрерывное производство электроэнергии за счёт совместного использования солнечного излучения и энергии ветра. Она эффективно работает даже при низкой скорости ветра (0,5–2 м/с), возникающей вследствие постоянного движения транспортных средств на автомагистралях.

Список литературы:

1. M. R. Patel, "Wind and Solar Power Systems," (Taylor and Francis, New York, ed. 2, 2006) [second edition].
2. M. Engin, "Sizing and simulation of PV-Wind hybrid power system," *International Journal of Photoenergy*, 2013, 1-10 (2013) DOI: 10.1155/2013/217526.
3. P. A. Østergaard, N. Duic, Y. Noorollahi, H. Mikulcic, and S. Kalogirou, "Sustainable development using renewable energy technology," *Renewable Energy*, vol. 146, pp. 2430–2437, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.RENENE.2019.08.094.
4. P. Fath, S. Keller, P. Winter, W. Joos, and W. Herbst, "Status and perspective of crystalline silicon solar cell production," *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp. 002471–002476, 2009, doi: 10.1109/PVSC.2009.5411274.
5. M. R. Gomaa, W. Hammad, M. Al-Dhaifallah, and H. Rezk. (2020). "Performance enhancement of grid-tied PV system through proposed design cooling techniques: An experimental study and comparative analysis," *Sol. Energy*, vol. 211, p. 1110–1127. doi: 10.1016/j.solener.2020.10.062.
6. M. R. Gomaa, H. Rezk, R. J. Mustafa, and M. Al-Dhaifallah. (2019). "Evaluating the environmental impacts and energy performance of a wind farm system utilizing the life-cycle assessment method: A practical case study," *Energies*, vol. 12, no. 17. doi: 10.3390/en12173263.
7. Y. Kumar et al. (2016). "Wind energy: Trends and enabling technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, p. 209-224. doi:10.1016/j.rser.2015.07.200.
8. M. Shalby, A. Abuseif, M. R. Gomaa, AhmadSalah, A. Marashli, and H. Al-Rawashdeh. (2022). "Assessment of Dust Properties in Ma'an Wind Farms in Southern Jordan," *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 16, no. 4, pp. 645–652.