

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/TPDW7598>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/YJWT7001>

**Е. Г. Нешина¹, А. Д. Мехтиев², *Н. Б. Калиаскаров³
А. Д. Алькина⁴, Д. Т. Мукашева⁵**

^{1,2,3,4}Карагандинский технический университет

имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда;

⁵РГП Казахстанский институт метрологии,

Республика Казахстан, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-3976>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3684-1488>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4879-0593>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9064-2711>

*e-mail: n.kaliaskarov@ktu.edu.kz

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ПО ОПТИЧЕСКОМУ ВОЛОКНУ

В данной статье представлена разработка и экспериментальная проверка системы передачи энергии по одному оптоволоконному каналу. Одним из наиболее перспективных решений является технология Power-over-Fiber (PoF), предполагающая использование волоконно-оптических линий как для транспортировки энергии, так и для информационного обмена. Описана архитектура лабораторного стенда, включающего полупроводниковые лазеры, оптоволоконную линию стандарта G.651 и фотоприёмник с нагрузкой. Проведены измерения электрических и тепловых параметров системы при различных режимах работы. Экспериментально подтверждена возможность эффективной передачи электрической мощности до 0,08 Вт с достижением коэффициента полезного действия на уровне 13,7 %. Также рассмотрена схема совмещённой передачи энергии и информации на основе многоканальной оптической конфигурации. Работа демонстрирует практическую реализуемость концепции и перспективность её применения в телеметрических системах, автоматике. Обоснованы направления дальнейших исследований, включая повышение КПД, миниатюризацию компонентов и

интеграцию с существующими волоконно-оптическими сетями. Полученные результаты могут быть использованы при разработке энергонезависимых узлов, встроенных сенсоров, а также автономных устройств мониторинга в сложных или удалённых условиях эксплуатации, где недоступно традиционное электропитание и требуется высокая надёжность.

Ключевые слова: волоконно-оптическая передача энергии, Power-over-Fiber (PoF), оптоволоконные системы питания, фотоприёмник, волоконно-оптический датчик, электронные устройства, альтернативные источники энергии, фотовольтаика.

Введение

В контексте современного технологического прогресса границы между системами энергоснабжения и информационно-коммуникационными сетями неуклонно стираются. Возрастает потребность в интегрированных решениях, способных одновременно доставлять электрическую энергию и передавать данные удалённым устройствам и датчикам. Это особенно актуально для таких областей, как промышленная автоматизация, телекоммуникации и Интернет вещей (IoT), где эффективное объединение потоков энергии и информации становится ключевым фактором для создания интеллектуальных и автономных систем.

Традиционные подходы к электропитанию и связи удалённых устройств сталкиваются с рядом ограничений. Раздельная прокладка кабелей для питания и передачи данных усложняет инфраструктуру и повышает затраты, при этом протяжённые электрические линии питания подвержены потерям и электромагнитным помехам. Гибридные решения, такие как технология Power over Ethernet (подача низковольтного питания по витой паре вместе с данными), имеют ограниченную дальность (около 100 метров) и ограничены по мощности, которую можно безопасно передать. В условиях, требующих больших расстояний или мощности, такие методы оказываются недостаточными. Волоконно-оптические линии связи, в свою очередь, предоставляют огромную полосу пропускания и полную помехозащищённость, но стандартные оптоволоконные системы не предназначены для передачи значительной электрической энергии. Таким образом, передача энергетических параметров по волоконно-оптическому проводнику является крайне актуальным вопросом [1;2;3;4;5;6].

Одним из перспективных направлений, призванных решить эту задачу, является передача энергии по оптическому волокну (известная как Power-over-Fiber, PoF). В этой концепции высокоинтенсивное лазерное излучение подаётся через оптоволоконный проводник к удалённому узлу,

где фотоприёмник (фотоэлектрический преобразователь) преобразует свет обратно в электричество. Такой подход обеспечивает гальваническую развязку и устраняет проблемы электромагнитных помех, что привлекательно для питания датчиков в опасных или электромагнитно-нагруженных средах [7].

Практическая реализуемость передачи энергии по единственному оптоволоконному каналу значительно снижает сложность сенсорных сетей. Такая система будет особенно полезна при длительном удалённом мониторинге объектов (например, конструкций или высоковольтных установок), где применение традиционных источников питания затруднено: датчики получали энергию по волокну и параллельно передавали по нему же информацию на управляющий модуль [8].

Исходя из изложенного, настоящее исследование направлено на разработку передовой системы, способной передавать энергетические параметры по волоконно-оптическому проводнику.

Научная новизна работы заключается в создании лабораторного прототипа и в экспериментальной оценке его характеристик, прежде всего коэффициента полезного действия передачи энергии в реальных условиях. Разработан экспериментальный стенд, позволяющий измерить, насколько эффективно система доставляет электрическую мощность по волокну.

Материалы и методы

На рисунке 1 представлена структурная схема системы передачи энергии по оптическому волокну (ОВ). Используется стабилизированный источник постоянного тока 1, который подключен к через электрический проводник 2 четырем полупроводниковым лазерам 3. В опытах использованы четыре лазер мощностью 20 mW с отклонением в пределах $\pm 0,5 \text{ mW}$. Тип лазера InGaAs, Laser launcher level CLASS IIIB, 650 nm $\pm 10 \text{ nm}$, что соответствуют диапазону красного цвета. Все лазеры идентичны по своим техническим характеристикам. Для подключения лазера к волоконно-оптическому проводнику использованы оптические коннекторы типа SC, которые установлены с обоих концов волоконно-оптических проводника 5, с одной стороны по цифрой 4 обозначен входной коннектор, а с другой страны выходной коннектор 6. Волоконно-оптический проводник 5 служит для передачи энергии световой волны 7 падающей на поверхность фотоприемника 8. Энергия от источника излучения 2 передавалась по оптическому волокну стандарта G.651 с диаметрами сердцевины 50 мкм и оболочки 125 мкм. На поверхность фотоприемника 8 падало четыре световых пятна. Для измерения электрических параметров использовано два цифровых мультиметра 9 и 10. К фотоприёмнику была подключена электрическая нагрузка 11. Температура поверхности кремневой пластины до начала эксперимента 21 °C, после окончания эксперимента 26 °C. Температура

поверхности кремнёвой пластины была измерена при помощи инфракрасного пирометра Fluke 62 MAX с погрешностью измерения $\pm 1,5^\circ\text{C}$ [9;10].

Исходные параметры: напряжение питания лазеров 2,94 В, ток потребления одного лазера 0,28 А, соответственно общий ток потребления 1,12 А, полезная мощность лазера 20 mW. Напряжение фотоприемника 2,2 В ток потребления нагрузки 4,99 мА, мощность 0,011 Вт. Длина световой волны 650 нм.

Параметры фотоприемника напряжение 2,2 В сила тока 35 мА примерно около 0,08Вт. КПД передачи энергии 13,7%.

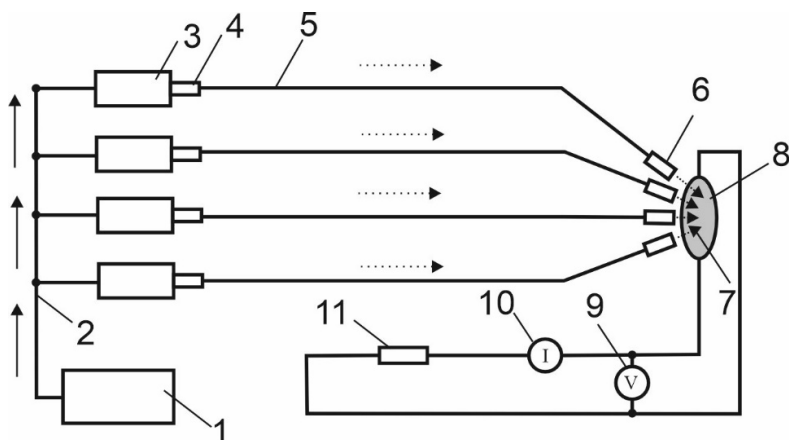


Рисунок 1 – Структурная схема системы передачи энергии по оптическому волокну

На рисунке 2 представлен лабораторный стенд, созданного для проведения экспериментов по передаче энергии через оптоволоконный кабель. Отображено размещение оборудования, подключение лазеров, волокна, фотоприёмника и измерительной аппаратуры.

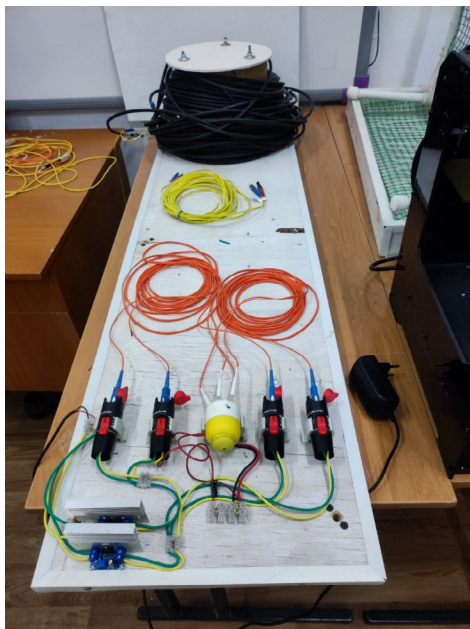


Рисунок 2 – Лабораторный стенд для передачи энергии по ОВ

Результаты и обсуждения

На рисунке 3 отображается график изменения выходной мощности фотоприёмника (Вт) в зависимости от количества одновременно работающих лазеров (от 1 до 4). Демонстрируется суммирующий эффект мощности излучения, передаваемой по оптоволокну.

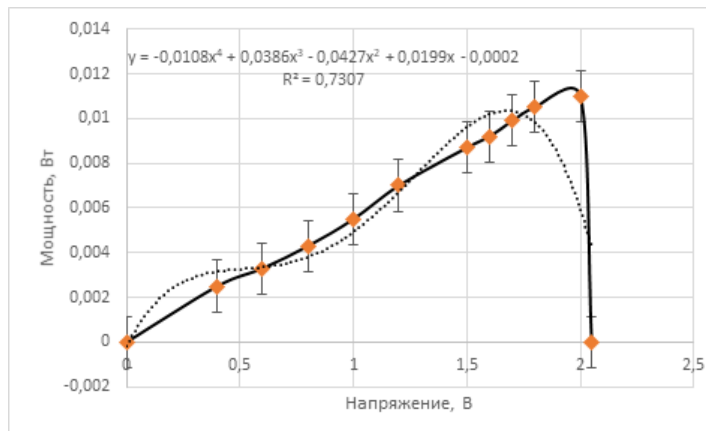


Рисунок 3 – Зависимость выходной мощности фотоприёмника от количества подключённых лазеров

На рисунке 4 представлен график, иллюстрирующий зависимость между током, потребляемым лазером, и его напряжением.

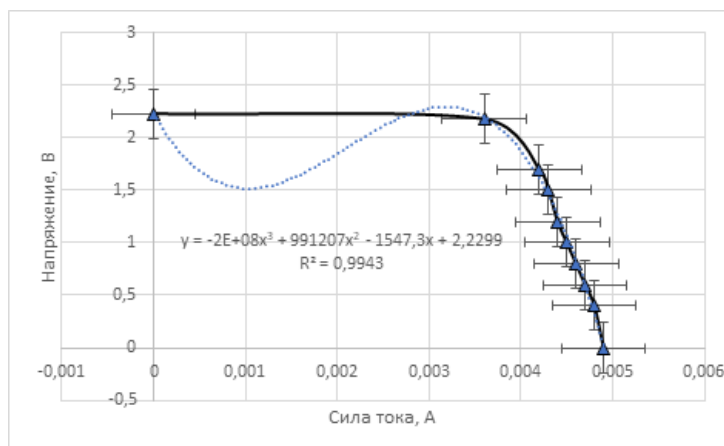


Рисунок 4 – Зависимость напряжения фотоприёмника от силы тока

В то же время, для внедрения предложенной системы в реальную практику необходимы дальнейшие исследования и усовершенствования. Одно из первоочередных направлений – повышение КПД передачи энергии

сверх достигнутых 13,7 %. Для этого планируется оптимизация как источника оптического излучения (например, применение более эффективных или мощных лазерных диодов), так и приемного фотоэлектрического преобразователя, а также реализация мер термостабилизации с целью снижения потерь в этих компонентах. Перспективным шагом является внедрение системы динамического управления мощностью с обратной связью, что позволит автоматически поддерживать оптимальный режим работы при изменении нагрузки [11]. Ещё одним важным направлением развития станет интеграция технологии подачи энергии по волокну в существующие волоконно-оптические линии связи. Так, использование разных длин волн может дать возможность накладывать канал энергоснабжения на уже функционирующий оптический кабель, не мешая передаче данных, что упростит распространение метода без строительства отдельной инфраструктуры. Кроме того, требуется работа над миниатюризацией компонентов системы – уменьшением габаритов лазерных модулей, оптоволоконных вводов и фотоэлектрических приемников [12]. Сокращение размеров и энергопотребления элементов сделает технологию более удобной для практического применения, позволяя интегрировать её в компактные датчики или узлы управления. В сумме, проделанная работа заложила основу для нового класса волоконно-оптических систем, объединяющих энергоснабжение и обмен информацией.

Выводы

Таким образом, проведённое исследование подтвердило принципиальную возможность передачи энергии по оптоволоконному проводнику. Созданная система успешно обеспечила доставку электрической мощности к удалённой нагрузке через оптоволоконную линию при одновременном обмене данными по тому же каналу. В экспериментах получены конкретные количественные показатели эффективности: в частности, достигнут суммарный коэффициент полезного действия порядка 13,7 % для передачи мощности в заданной конфигурации. При этом передача информационного сигнала оказалась стабильной на фоне оптического потока большой мощности, что свидетельствует о том, что присутствие высокоэнергетического луча не препятствует надёжной связи. Данные результаты подтверждают жизнеспособность предложенного подхода и служат отправной точкой для последующих улучшений.

Полученные выводы указывают на широкие перспективы практического применения разработанной системы. Волоконно-оптический канал, способный передавать питание, обладает очевидными достоинствами в ситуациях, когда использование традиционных электрических кабелей затруднительно, дорого или небезопасно. Например, в системах удалённого

мониторинга промышленного оборудования, экологических датчиков или объектов критической инфраструктуры достаточно проложить один оптоволоконный кабель, который будет одновременно снабжать датчики энергией и передавать их показания – это значительно упрощает монтаж и обслуживание таких систем. В сетях управления и связи, особенно эксплуатирующихся во взрывоопасных зонах, в условиях сильных электромагнитных помех или на объектах с высоким потенциалом (линии электропередач, подстанции), использование оптоволоконной линии для питания и передачи данных заметно повышает безопасность и надёжность. Волокно обеспечивает электрическую изоляцию и невосприимчивость к наводкам, что снижает риск коротких замыканий, исключает искрообразование и решает проблемы электромагнитной совместимости. Таким образом, разработанная технология открывает новые возможности для систем мониторинга, управления и сбора данных в самых разных областях – от энергетики и транспорта до аэрокосмической отрасли и телекоммуникаций.

Информация о финансировании

Настоящая научная работа является результатом реализации проекта ИРН № AP26195899 «Разработка передовой системы одновременной передачи энергетических и информационных параметров по волоконно-оптическому проводнику» в рамках грантового финансирования Комитетом науки и высшего образования Республики Казахстан.

REFERENCES

1 **Matsuura, M.** Power-over-fiber using double-clad fibers //Journal of Lightwave Technology. – 2022. – № – 10. – Vol. 40.– P. 3187–3196.

2 **Jialong, Li., Aoyan, Zhang., Guiyao, Zhou., Jiantao, Liu., Changming, Xia., Zhiyun, Hou.** A Large-Core Microstructure Optical Fiber for Co-Transmission of Signal and Power// J. Lightwave Technol.– 2021.– № – 39.– P.4511-4516;

3 **Al-Zubaidi, F. M. A., Montero, D. S., Vázquez, C.** SI-POWER OVER FIBER (POF) Supporting Power-Over-Fiber in Multi-Gbit/s Transmission for In-Home Networks // Journal of Lightwave Technology.– 2021.– Vol. 39.–No. 1.– P. 112–121. – <https://doi.org/10.1109/JLT.2020.3025444>.

4 **Matsuura, Motoharu., Nomoto, Hayato., Mamiya, Hikaru., Higuchi, Tadanobu., Masson, Denis., Fafard, S..** Over 40-W Electric Power and Optical Data Transmission Using an Optical Fiber// IEEE Transactions on Power Electronics.– 2021.– №36.– P.4532–4539. – <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3027551>.

5 **Putra, E. P. et al.** Technology update on patent and development trend of power over fiber: a critical review and future prospects //Journal of Photonics for Energy. – 2023. – Vol. 13. – №. 1. – P. 1-11.

6 **Isломov, M.** CALCULATION OF SIGNAL DISPERSION IN OPTICAL FIBER //Modern Science and Research. – 2023. – Vol. 2. – №. 10. – P. 127–129.

7 **Kim, T.** Analysis of Optical Communications, Fiber Optics, Sensors and Laser Applications //Journal of Machine and Computing. – 2023. – P. 115–125.

8 Armghan, A. Addressing nonlinear Impairments in fiber optic communication system utilizing novel modulation schemes //Frequenz. – 2023. – Vol. 77. – № 3–4. – P. 125–132.

9 **Konstantinou, G. et al.** Improved two-photon polymerization through an optical fiber using coherent beam shaping //Optics and Lasers in Engineering. – 2023. – Vol. 160. – P. 107232.

10 **Panchak, Alexander., Khvostikov, Vladimir., Pokrovskiy, Pavel.** AlGaAs gradient waveguides for vertical p/n junction GaAs laser power converters // Optics & Laser Technology. – 2020. – P.136. – <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106735>

11 **Mekhtiyev, A., Neshina, Y., Alkina, A., Yugay, V., Kalytka, V., Sarsikeyev, Y., Kirichenko, L.** Developing an Intelligent Fiber-Optic System for Monitoring Reinforced Concrete Foundation Structure Damage // Applied Sciences. – 2023. – Vol.13(21). – P.11987. <https://doi.org/10.3390/app132111987> (Scopus процентиль 63, WoS Q1)

12 **Kalytka, V., Baimukhanov, Z., Neshina, Y., Mekhtiyev, A., Dunayev, P., Galtseva, O., Senina, Y.** Influence of Quantum Effects on Dielectric Relaxation in Functional Electrical and Electric Energy Elements Based on Proton Semiconductors and Dielectrics// Applied Sciences (Switzerland). – 2023. – Vol. 13(15). – P.8755 – <https://doi.org/10.3390/app13158755> (Scopus percentile70, WoS Q1)

Поступило в редакцию 21.07.25.

Поступило с исправлениями 25.07.25.

Принято в печать 08.09.25.

Е. Г. Нешина¹, А. Д. Мехтиеv² *Н. Б. Калиаскаров³,

А. Д. Алькина⁴, Д. Т. Мукашева⁵

^{1,2,3,4}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті

Қазақстан Республикасы, г. Қарағанды;

⁵Қазақстан стандарттау және метрология институты,

Қазақстан Республикасы, г. Астана.

21.07.25 ж. баспаға түсті.

25.07.25 ж. түзетулерімен түсті.

08.09.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚ АРҚЫЛЫ ЭЛЕКТРЛІК ҚУАТТЫ ТІІМДІ ЖІБЕРУДІ ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада бір талшықты-оптикалық арна арқылы энергияны жіберу жүйесін әзірлеу және эксперименттік тексеру ұсынылған. Болашағы бар шешімдердің бірі-энергияны тасымалдау үшін де, ақпарат алмасу үшін де талшықты-оптикалық желілерді пайдалануды көздейтін power-over-Fiber (POF) технологиясы. Жартылай өткізгіш лазерлерді, G. 651 стандартты талшықты-оптикалық желіні және жүктеме фотодетекторын қамтитын зертханалық стендтің архитектурасы сипатталған. Әр түрлі жұмыс режимдерінде жүйенің электрлік және жылу параметрлерін өлшеу жүргізілді. 13,7 % деңгейінде пайдалы әсер ету коэффициентіне қол жеткізе отырып, электр қуатын 0,08 Ваттқа дейін тиімді беру мүмкіндігі эксперименталды түрде расталды. Сондай-ақ, көп арналы оптикалық конфигурация негізінде энергия мен ақпаратты бірлескен беру схемасы қарастырылған. Жұмыс Тұжырымдаманың практикалық іске асырылуын және оны телеметриялық жүйелерде, автоматикада қолдану перспективасын көрсетеді. Тиімділікті арттыруды, компоненттерді миниатюризациялауды және қолданыстағы талшықты-оптикалық желілермен интеграциялауды қоса алғанда, одан әрі зерттеу бағыттары негізделген. Алынған нәтижелер дәстүрлі электрмен қоректендіру мүмкін болмаған кезде, сенімділік талап етілетін күрделі немесе қашықтағы пайдалану жағдайларында энергияға тәуелсіз тораптарды, кіріктірілген сенсорларды және автономды мониторинг құрылғыларын әзірлеуде қолданылуы мүмкін.

Кілтті сөздер: талшықты-оптикалық қуат беру, power-over-Fiber (POF), талшықты-оптикалық қуат жүйелері, фотодетектор,

талшықты-оптикалық сенсор, электронды құрылғылар, баламалы энергия көздері, фотовольтаика.

*Y. G. Neshina¹, A. D. Mekhtiyev², *N. B. Kaliaskarov³,*

A. D. Alkina⁴, D. T. Mukasheva⁵

^{1,2,3,4}Karaganda technical university named A.Sagynov,

Republic of Kazakhstan, Karaganda;

⁵«Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology»,

Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 21.07.25.

Received in revised form 25.07.25.

Accepted for publication 08.09.25.

RESEARCH ON TRANSMISSION EFFICIENCY OA ELECTRICAL POWER THROUGH OPTICAL FIBER

This article presents the development and experimental verification of an energy transmission system over a single fiber-optic channel. One of the most promising solutions is the Power-over-Fiber (PoF) technology, which involves the use of fiber-optic lines for both energy transportation and information exchange. The architecture of a laboratory stand including semiconductor lasers, a G.651 fiber optic line, and a photodetector with a load is described. Measurements of the electrical and thermal parameters of the system under various operating modes have been carried out. The possibility of efficient transmission of electrical power up to 0.08 W with an efficiency of 13.7 % has been experimentally confirmed. A scheme of combined energy and information transmission based on a multichannel optical configuration is also considered. The work demonstrates the practical feasibility of the concept and the prospects of its application in telemetry systems and automation. The directions of further research are justified, including increasing efficiency, miniaturization of components and integration with existing fiber-optic networks. The obtained results can be used in the development of energy-independent nodes, embedded sensors, and autonomous monitoring devices for operation in complex or remote environments where traditional power supply is unavailable and high reliability is required.

Keyword: fiber-optic energy transmission, Power-over-Fiber (PoF), fiber-optic power supply systems, photodetector, fiber-optic sensor, electronic devices, alternative energy sources, photovoltaics.

Теруге 09.09.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4447

Сдано в набор 09.09.2025 г. Подписано в печать 30.09.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4447

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz