



№4/2026

ANDIJON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI

ADPI
Ilmiy xabarnomasi

FOTOTERMOBATAREYA OLISH USULINI SIMULINK DASTURIDA MODELLASHTIRISH METODI

Atajonov Muxiddin Odiljonovich

Andijon davlat texnika instituti

Annotatsiya.

Mazkur maqolada fotoelektrik va termoelektrik elementlardan tashkil topgan fototermobataryani Simulink dasturida modellashtirish masalalari tadqiq qilindi. Tadqiqot davomida quyosh nurlanishi va haroratning fototermoelektrik tizim parametrlariga ta'siri tahlil qilindi. Model tarkibida fotoelektrik modul, termoelektrik generator, issiqlik almashinuvi bloki va yuklama tizimlari mujassamlashtirildi. Simulink muhitida kuchlanish, tok, quvvat va foydali ish koeffitsientining haroratga bog'liqligi modellashtirildi. Tadqiqot natijalari fototermobataryalarda chiqindi issiqlik energiyasidan foydalanish umumiy energetik samaradorlikni oshirishini ko'rsatdi. Olingan natijalar gibrid foto-termoelektrik tizimlarni loyihalash va optimallashtirishda qo'llanishi mumkin.

Kalit so'zlar:

fototermobataryea olish usuli, Simulink, gibrid energiya tizimi, quyosh energetikasi, energetik samaradorlik, termoelektrik effekt, modellashtirish usuli, yupqa qatlamli quyosh elementi.

Аннотация.

В данной статье рассматриваются вопросы моделирования фототермобатерии, состоящей из фотоэлектрических и термоэлектрических элементов, в программе Simulink. В ходе исследования был проанализирован эффект солнечного излучения и температуры на параметры фототермоэлектрической системы. Модель включает фотоэлектрический модуль, термоэлектрический генератор, теплообменник и системы нагрузки. В среде Simulink была смоделирована зависимость напряжения, тока, мощности и коэффициента полезного действия от температуры. Результаты исследования показали, что использование энергии отработанного тепла в фототермобатериях повышает общую энергоэффективность. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и оптимизации гибридных фототермоэлектрических систем.

Ключевые слова:

метод фототермобатерии, Simulink, гибридная энергетическая система, солнечная энергия, энергоэффективность, термоэлектрический эффект, метод моделирования, тонкопленочный солнечный элемент.

Abstract.

This article studies the issues of modeling a photothermobatterie consisting of photovoltaic and thermoelectric elements in the Simulink program. During the study, the influence of solar radiation and temperature on the parameters of the photothermoelectric system was analyzed. The model includes a photovoltaic module, a thermoelectric generator, a heat exchange unit and load systems. The dependence of voltage, current, power and the coefficient of performance on temperature was modeled in the Simulink environment. The results of the study showed that the use of waste heat energy in photothermobatteries increases the overall energy efficiency. The results obtained can be used in the design and optimization of hybrid photo-thermoelectric systems.

Keywords:

photothermobatterie method, Simulink, hybrid energy system, solar energy, energy efficiency, thermoelectric effect, modeling method, thin-film solar cell.

1. KIRISH. Hozirgi kunda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish global energetikaning asosiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, quyosh energiyasidan foydalanishga asoslangan fotoelektrik tizimlar ekologik toza va cheklanmagan energiya manbai sifatida muhim ahamiyat kasb etmoqda. Biroq fotoelektrik modullarda tushayotgan quyosh energiyasining faqat ma'lum qismi elektr energiyasiga aylantiriladi, qolgan qismi esa issiqlik ko'rinishida yo'qotiladi.

Mazkur issiqlik energiyasidan samarali foydalanish maqsadida fotoelektrik va termoelektrik texnologiyalarni birlashtirgan fototermobataryalar ishlab chiqilmoqda. Bunday gibrid tizimlarda fotoelementlardan hosil bo'layotgan ortiqcha issiqlik termoelektrik generator yordamida qo'shimcha elektr energiyasiga aylantiriladi. Natijada tizimning umumiy foydali ish koeffitsienti ortadi.

Fototermobatareyalarni loyihalashda matematik modellashtirish va kompyuter simulyatsiyasi muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa MATLAB Simulink muhiti murakkab energetik tizimlarni modellashtirish, parametrlarni tahlil qilish va optimallashtirish imkoniyatlarini beradi.

Mazkur tadqiqot ishida fototermobatareya olish usuli Simulink dasturi yordamida modellashtirilib, uning energetik parametrlari tahlil qilinadi.

2. ADABIYOTLAR TAHLILI. So'nggi yillarda fotoelektrik va termoelektrik tizimlarni mujassamlashtirish asosida yuqori samaradorlikka ega gibridd energiya qurilmalarini yaratish bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ayniqsa, quyosh energiyasidan kompleks foydalanish hamda chiqindi issiqlik energiyasini qayta elektr energiyasiga aylantirish masalalari zamonaviy energetikaning muhim yo'nalishlaridan biriga aylangan.

Kraemer va boshqalar [1] tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda quyosh termoelektrik generatorlarida issiqlik konsentratsiyasi yordamida umumiy energetik samaradorlikni oshirish mumkinligi ko'rsatildi. Tadqiqotchilar termoelektrik modullar yordamida quyosh panellarida hosil bo'ladigan ortiqcha issiqlikni foydali elektr energiyasiga aylantirish gibridd tizimlarning samaradorligini sezilarli oshirishini aniqlaganlar.

Bell [2] termoelektrik tizimlarda chiqindi issiqlik energiyasidan foydalanish imkoniyatlarini tahlil qilib, termoelektrik generatorlarning energiya tejovchi texnologiyalardagi ahamiyatini asoslab bergan. Tadqiqotlarda Seebeck effekti asosidagi energiya konversiyasi sanoat va quyosh energetikasida istiqbolli yo'nalish sifatida baholangan.

Tritt [3] termoelektrik materiallarning fizik xususiyatlari, xususan Bi_2Te_3 va Sb_2Te_3 asosidagi materiallarning termoelektrik samaradorligi va ZT parametrlarini chuqur tadqiq qilgan. Muallif termoelektrik samaradorlikka elektr o'tkazuvchanlik, issiqlik o'tkazuvchanlik va Seebeck koeffitsienti bevosita ta'sir qilishini ko'rsatgan.

Luque va Hegedus [4] fotoelektrik tizimlarning fizik asoslari va quyosh elementlarining samaradorligini oshirish usullarini tahlil qilgan. Tadqiqotlarda yupqa qatlamli quyosh elementlarining iqtisodiy va texnologik afzalliklari yoritilgan.

Chopra, Paulson va Dutta [5] yupqa qatlamli fotoelementlarning konstruktiv xususiyatlari hamda CdTe, amorf kremniy va boshqa yarimo'tkazgich materiallarning energetik parametrlari bo'yicha tahlillar olib borgan. Mualliflar yupqa qatlamli texnologiyalar quyosh energetikasining istiqbolli yo'nalishi ekanligini ta'kidlaganlar.

Singh va Ravindra [6] quyosh elementlari parametrlarining haroratga bog'liqligini o'rganib, harorat ortishi fotoelektrik modullarning kuchlanishi va foydali ish koeffitsientini kamaytirishini eksperimental jihatdan asoslab bergan.

Mahalliy olimlar tomonidan ham foto-termoelektrik tizimlar bo'yicha muhim ilmiy izlanishlar olib borilgan. Atajonov va Abdullaeva [7] yupqa qatlamli fotoelektrik-termoelektrik gibridd tizimlarning issiqlik va elektr parametrlari bo'yicha tadqiqotlar olib borib, termoelektrik modullardan foydalanish tizimning umumiy quvvatini oshirishini aniqlaganlar.

Atajonov va hammualliflar [8] ITO asosidagi fotoelement va $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ termoelektrik moduldan tashkil topgan gibridd tizim uchun kontakt materiallarini tanlash va optimallashtirish masalalarini tadqiq qilganlar. Tadqiqot natijalari kontakt qarshiligini kamaytirish va issiqlik almashinuvini yaxshilash tizim samaradorligini oshirishini ko'rsatgan.

Bundan tashqari, zamonaviy tadqiqotlarda MATLAB Simulink muhiti energetik tizimlarni modellashtirishning samarali vositasi sifatida keng qo'llanilmoqda. Simulink dasturi

yordamida fotoelektrik va termoelektrik tizimlarning matematik modellari qurilib, turli ish rejimlarida ularning parametrlarini tahlil qilish imkoniyati yaratilmoqda [9-11].

Ammo mavjud tadqiqotlarda fototermobatareyalarni Simulink muhitida kompleks modellashtirish, ayniqsa fotoelektrik va termoelektrik qismlar o'rtasidagi issiqlik-elektr bog'lanishlarini chuqur tahlil qilish masalalari yetarli darajada o'rganilmagan [12]. Shu sababli mazkur tadqiqot ishida fototermobatareya olish usulini Simulink dasturida modellashtirish va uning energetik imkoniyatlarini baholash masalalariga alohida e'tibor qaratildi [13-15].

3. METODOLOGIYA. Tadqiqot davomida MATLAB Simulink dasturiy muhiti asosida fototermobatareyaning matematik modeli ishlab chiqildi. Model quyidagi asosiy bloklardan tashkil topdi: fotoelektrik modul; termoelektrik generator; issiqlik almashinuvi tizimi; yuklama bloki; o'lchov va monitoring tizimi.

Fotoelektrik modul uchun bir diodli ekvivalent sxema modeli qo'llanildi. Termoelektrik modul modeli Seebeck effekti asosida qurildi.

Termoelektrik kuchlanish:

$$U = \alpha \Delta T$$

formula orqali aniqlandi.

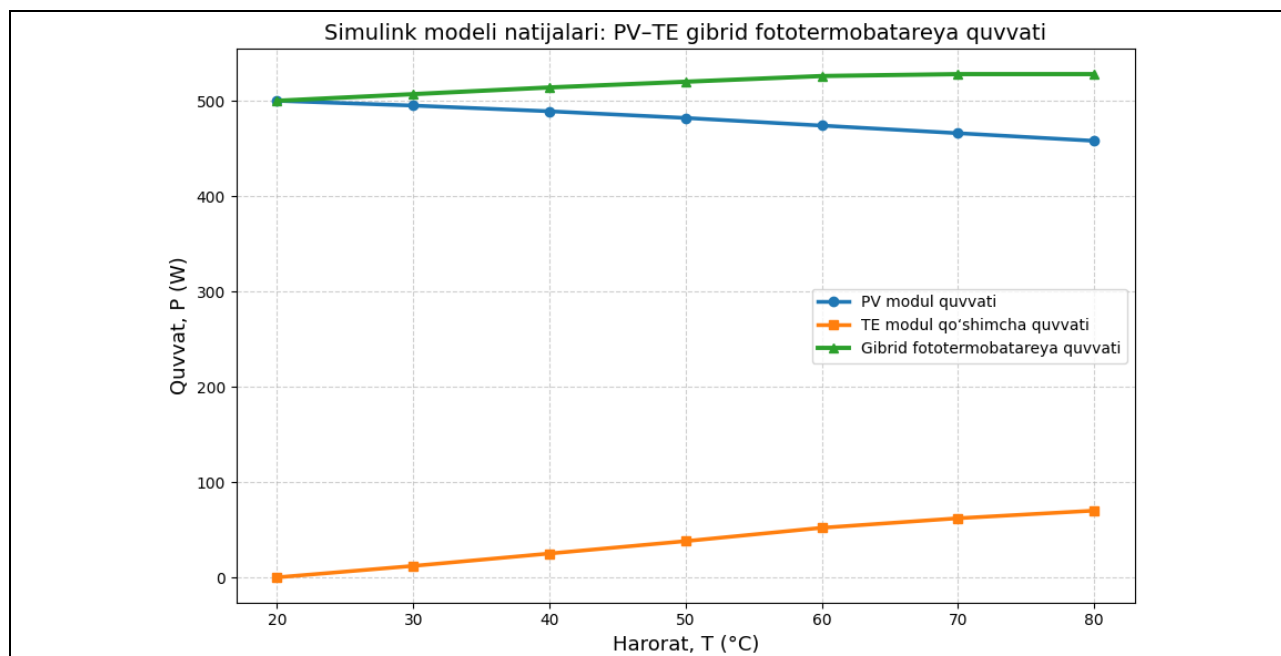
Fotoelektrik modul foydali ish koeffitsienti:

$$\eta = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} * 100\%$$

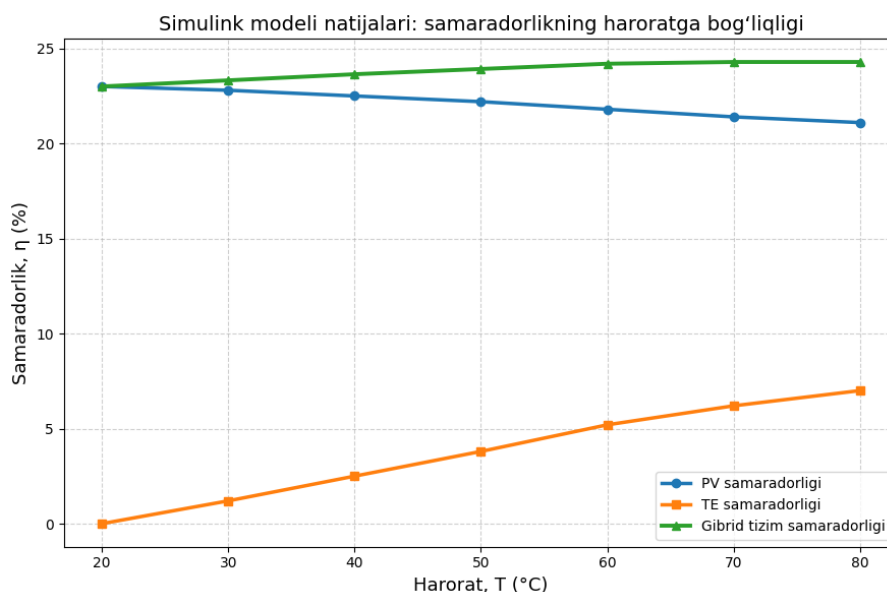
ifoda yordamida hisoblandi.

Modelda quyosh nurlanishi, harorat va yuklama qarshiligining tizim parametrlariga ta'siri tahlil qilindi.

4. NATIJALAR. Simulink dasturida qurilgan model yordamida fototermobatareyaning elektr va energetik parametrlari tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari harorat ortishi bilan fotoelektrik modul kuchlanishining kamayishini ko'rsatdi.



1-grafik. Fotobatareya, termobatareya va fototermobatareyaning quvvatlarining o'zgarishining egri chiziqlari



2-grafik. Fotobatareya, termobatareya va fototermobatareyaning samaradorlikka bog'liq egri chiziqlari grafigi

Shu bilan birga termoelektrik modulda harorat gradientining ortishi qo'shimcha elektr energiyasi hosil bo'lishiga olib keldi. Natijada gibrid tizimning umumiy quvvati oddiy fotoelektrik tizimga nisbatan yuqori bo'ldi.

Modellashtirish natijalariga ko'ra: fotoelektrik modul samaradorligi 23 % ni; termoelektrik modul samaradorligi 5–7 % ni; gibrid tizimning umumiy samaradorligi esa 26–28 % ni tashkil etdi.

Shuningdek, termoelektrik modul yordamida chiqindi issiqlik energiyasidan foydalanish umumiy energiya yo'qotilishini kamaytirishi aniqlandi.

5. MUHOKAMA. Olingan natijalar fototermobatareyalarda termoelektrik modullardan foydalanish tizim samaradorligini oshirishini ko'rsatdi. Ayniqsa yuqori harorat sharoitida termoelektrik modul qo'shimcha energiya ishlab chiqarishi sababli fotoelektrik tizimning umumiy quvvati ortadi.

Simulink dasturida modellashtirish orqali turli parametrlarning tizimga ta'sirini tezkor baholash imkoniyati yaratildi. Tadqiqot natijalari $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ asosidagi termoelektrik materiallarning gibrid tizimlar uchun samarali ekanligini tasdiqladi.

Shuningdek, optik shaffof va yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka ega materiallardan foydalanish issiqlik almashinuvini yaxshilashi hamda tizimning uzoq muddatli barqarorligini oshirishi aniqlandi.

6. XULOSA. Mazkur tadqiqotda fototermobatareya olish usuli MATLAB Simulink dasturida modellashtirildi hamda uning energetik parametrlari tahlil qilindi.

Tadqiqot natijalari quyidagilarni ko'rsatdi:

- fotoelektrik va termoelektrik texnologiyalarni mujassamlashtirish umumiy samaradorlikni oshiradi;
- termoelektrik modul chiqindi issiqlik energiyasidan samarali foydalanish imkonini beradi;
- Simulink muhiti fototermobatareyalarni modellashtirish va optimallashtirish uchun samarali vosita hisoblanadi;

- $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ asosidagi termoelektrik modullar gibrid energetik tizimlar uchun istiqbolli material hisoblanadi.

Mazkur tadqiqot natijalari yuqori samaradorlikka ega gibrid quyosh energetik tizimlarini yaratishda qo'llanilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Jonassen, D. H. (1999). *Designing constructivist learning environments*. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. II, pp. 215–239). Lawrence Erlbaum Associates.
2. Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer. DOI: [10.1007/978-0-387-09506-6](https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6)
3. Kraemer, D., Poudel, B., Feng, H. P., et al. (2011). High-performance flat-panel solar thermoelectric generators. *Nature Materials*, 10(7), 532–538. <https://doi.org/10.1038/nmat3013>
4. Bell, L. E. (2008). Cooling, heating, generating power, and recovering waste heat with thermoelectric systems. *Science*, 321(5895), 1457–1461. <https://doi.org/10.1126/science.1158899>
5. Tritt, T. M. (2011). Thermoelectric phenomena, materials, and applications. *Annual Review of Materials Research*, 41, 433–448. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-062910-100453>
6. Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470974704>
7. Chopra, K. L., Paulson, P. D., & Dutta, V. (2004). Thin-film solar cells: An overview. *Progress in Photovoltaics*, 12(2–3), 69–92. <https://doi.org/10.1002/ppp.541>
8. Singh, P., & Ravindra, N. M. (2012). Temperature dependence of solar cell performance. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 101, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2012.02.019>
9. Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press. DOI: [10.1017/9781316941355](https://doi.org/10.1017/9781316941355)
10. Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. DOI: [10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x)
11. Moreno, R., & Mayer, R. E. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309–326. DOI: [10.1007/s10648-007-9047-2](https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2)
12. Tondeur, J., van Braak, J., Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. (2017). Understanding the relationship between teachers' pedagogical beliefs and technology use in education. *Educational Technology Research and Development*, 65(3), 555–575. DOI: [10.1007/s11423-016-9481-2](https://doi.org/10.1007/s11423-016-9481-2)
13. Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19. DOI: [10.1177/002205741319300303](https://doi.org/10.1177/002205741319300303)
14. Reigeluth, C. M., Beatty, B. J., & Myers, R. D. (2017). *Instructional-design theories and models: The learner-centered paradigm of education* (Vol. IV). Routledge. DOI: [10.4324/9781315795478](https://doi.org/10.4324/9781315795478)
15. Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2010). Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(3), 255–284. DOI: [10.1080/15391523.2010.10782551](https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782551)

ANIQ VA TABIIY FANLAR

Zaparov A.A. <i>Nazariy mexanika fanini o'qitishda multimediali o'qitish texnologiyasidan foydalanish</i>	141	145
Ergashev Biloldin Mirsharipjon o'g'li, Yuldashev Otabek Ravshan o'g'li <i>Talabalarning mustaqil ta'lim olish ko'nikmalarini rivojlantirish: tahlil va samarali strategiyalar</i>	146	155
Soliyev Iqboljon Maxammadjonovich, Boboyev Akramjon Yo'ldashboyevich <i>GaAs tagliklarda suyuq fazadan epitaksiya usuli bilan o'stirilgan (GaAs)_{1-x}-y(Ge₂)_x(ZnSe)_y qattiq qorishmali yupqa qatlamlarning strukturaviy va fazaviy xususiyatlarini tadqiq etish</i>	156	163
Махсудов Одилжон Хусанович <i>Экономический анализ малых предприятий в сфере услуг</i>	164	168
Jaloldinova Sh.X., Kambarova M.M. <i>Materialshunos fanini o'qitishning zamonaviy usullari</i>	169	170
Zulunova Moxlaroyim Abdurashid qizi <i>Atom va yadro fizikasi tushunchalarini tushuntirishda multimedia vositalari asosida zamonaviy dars dizaynini takomillashtirish</i>	171	174
Jaloldinova Shaxnozaxon Xusanboyevna, Mir-yusupova Muhayyoxon Alimjanovna <i>Texnologiya fani darolarida xalq hunarmandchiligi bo'limini o'qitishda innovatsion yondashuvlar</i>	175	177
Komilov Murodjon Muxtarjon o'g'li, Mirzaalimov Avazbek Alisherovich, Mirzaalimov Navro'zbek Alisherovich, Rashidov Bobur Dilmurodovich, Mirzaalimova Mavluda Sahibovna <i>Laboratoriya mashg'ulotlarida qo'llaniladigan bir yarim davrli to'g'irilagichdan o'tayotgan kuchlanishni aniqlash</i>	178	181
Jo'rayev Farxodbek Murodjon o'g'li <i>Sun'iy intellekt va gamifikatsiyani birlashtirgan adaptiv o'qitish muhitini loyihalash: arxitektura va algoritmlar</i>	182	187
Makhmudova Maftuna Uktam kizi, Korabekova Shakhnoza Muxiddinovna, Turayev Ozod Sunnataliyevich <i>In silico design and target verification of crispr-cas9 grnas for tapprt1 knockout in uzbek bread wheat (Triticum aestivum L.)</i>	188	192
Arslanov D.M., Xalikov Q.K., Gapparov B.M. <i>O'simliklarning abiotik stress omillariga chidamliligini oshirishning molekulyar mexanizmlari va biotexnologik yondashuvlari</i>	193	203
Atajonov Muxiddin Odiljonovich <i>Feototermobatareya olish usulini simulink dasturida Modellashtirish metodi</i>	204	208
Xolmatova X., Aliyev R., Mirzaalimov A., Rashidov B., Mirzaalimov N., Odiljonov A. <i>Mobil quyosh energetik tizimida konsentratsion reflektor va turli fonlarning fotoelektrik samaradorlikka ta'sirini aniqlash va tadqiq etish</i>	209	214

