Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

ГИБРИД ЭНЕРГИЯ ТИЗИМЛАРИ ЭЛЕМЕНТЛАРИНИ БОШҚАРИШ МУАММОЛАРИНИНГ ҲОЗИРГИ ҲОЛАТИ ТАҲЛИЛИ

У.Т. Бердиев
DcS, проф.,
Тошкент давлат транспорт университети,
Тошкент, 100125, Ўзбекистон,
А.Е. Бекишев
PhD, доц., Тошкент давлат техника университети,
Тошкент, 100095, Ўзбекистон,
allabergenbekisev@gmail.com
З.Ж. Сайимбетов
Доц., Қорақалпоқ давлат университети,
Нукус, 230100, Ўзбекистон,
sayimbetovzinatdin@gmail.com
Л.Р. Тилавханова
Стажёр-ўқитувчи, Қорақалпоқ давлат университети,
Нукус, Ўзбекистон
lindatilavkhanova@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.23494264

Аннотация. Ушбу тезисда қайта тикланувчи энергия манбалари ва энергия сақлаш қурилмаларига асосланган гибрид энергетик тизимлар элементларини бошқариш муаммоларининг ҳозирги ҳолати таҳлил қилинган. Қуёш радиацияси ва шамол тезлигининг ўзгарувчанлиги туфайли генерация қувватининг беқарорлиги, электр энергиясини ишлаб чиқариш ва истеъмол қилиш ўртасидаги номутаносиблик ҳамда тизим ишончлилигини таъминлаш масалалари кўриб чиқилган. Максимал қувват нуқтасини кузатиш (MPPT), генетик алгоритм (GA), заррачалар тўдаси оптималлаштириш (PSO), сунъий нейрон тармоқлар (ANN) ва нейро-ноаниқ бошқарув (ANFIS) усулларининг имкониятлари ҳамда чекловлари таҳлил қилинган. Шунингдек, энергия таъминоти ишончлилиги, аккумуляторнинг заряд ҳолати (SOC) ва иқтисодий харажатларни ҳисобга олувчи кўп мезонли оптималлаштириш ёндашуви ёритилган. Таҳлил натижасида гибрид оптималлаштириш алгоритмлари ва сунъий интеллект технологияларини реал вақт режимида бошқарув тизимларига интеграциялаш истиқболли йўналиш сифатида белгиланган.

Калит сўзлар: гибрид энергетик тизим, қайта тикланувчи энергия манбалари, энергия сақлаш тизими, MPPT, генетик алгоритм, PSO, сунъий нейрон тармоқлар, ANFIS, SOC, LPSP, кўп мезонли оптималлаштириш.

Кириш. Жаҳонда энергияга бўлган талабнинг ортиши ва анъанавий ёқилғилар захирасининг чекланганлиги қайта тикланувчан энергия манбаларини жорий этишни долзарб вазифага айлантирди. Қуёш ва шамол энергетикаси экологик тоза ва барқарор энергия манбалари

ҳисобланади. Бироқ уларнинг асосий камчилиги – генерация қувватининг тасодифий ва об-ҳавога боғлиқ ўзгарувчанлигидир. [1], [7]

Шу сабабли гибрид энергия тизимлари (HRES – Hybrid Renewable Energy Systems) ҳамда энергия сақлаш қурилмалари (ESS – Energy Storage Systems)ни қўллаш зарур бўлади. Бундай тизимларнинг самарадорлиги эса тўғри танланган бошқарув ва оптималлаштириш алгоритмларига боғлиқ.

Асосий қисм. Муқобил энергия манбаларида бошқарув муаммолари. Қувватнинг стохастик характери. Қуёш радиацияси ва шамол тезлиги тасодифий жараёнлар ҳисобланади. Генерация қуввати: [1], [7]

$P_{RES}(t)=f(G(t),V(t))$

бу ерда: G(t) – қуёш радиацияси, V(t) – шамол тезлиги.

Уларнинг ўзгариши тармоқда: кучланиш тебранишлари, частота барқарорсизлиги, қувват баланси бузилиши каби муаммоларни келтириб чиқаради.

MPPT ва қувват назорати. Қуёш ва шамол тизимларида максимал қувват нуқтасини топиш (MPPT) асосий вазифа ҳисобланади. Замонавий алгоритмлар: P&O, Incremental Conductance, Fuzzy Logic, ANFIS, PSO-базавий MPPT. MPPT алгоритмларининг асосий муаммоси – тезкорлик ва аниқлик ўртасидаги компромисс. [7]

Энергия сақлаш қурилмалари муаммолари. SOC динамикаси. Аккумулятор тизимининг асосий параметри – заряд ҳолати: [1], [2]

$$SOC(t+1) = SOC(t) + \frac{\eta P_{bat}(t)\Delta t}{E_{bat}}$$

Муаммолар: чуқур разряд (DOD), деградация, самарадорлик пасайиши

Ишончлилик кўрсаткичи – LPSP. Тизим ишончлилигини баҳолаш учун LPSP (Loss of Power Supply Probability) қўлланилади: [1], [3]

$$LPSP = \frac{\sum P_{deficit}(t)}{\sum P_{load}(t)}$$

LPSP → 0 бўлиши тизим ишончлилигини оширади, аммо харажатни кўпайтириши мумкин.

Оптимал бошқарув алгоритмлари таҳлили. Анъанавий усуллар LP (Linear Programming) ва Dynamic Programming афзаллиги унинг соддалигида камчилиги еса ноаниқ муҳитда самараси паст [4]

Эволюцион алгоритмлар. GA (Genetic Algorithm)- глобал оптимумга яқинлашади, ҳисоблаш вақти катта бўлса, PSO (Particle Swarm Optimization) - тез конвергенция, локал минимум хавфига эга. [5], [6]

Интеллектуал бошқарув. Муқобил энергия манбалари ва энергия сақлаш қурилмаларига асосланган гибрид энергетик тизимларда иш режимларини оптимал бошқариш масаласи кўп ўлчамли, чизиқсиз ва ноаниқ муҳитда амалга оширилади. Шу сабабли анъанавий детерминистик оптималлаштириш усуллари кўп ҳолларда самарасиз ҳисобланади. Ушбу муаммони ҳал этишда интеллектуал ва эволюцион алгоритмлардан фойдаланиш юқори натижалар бермоқда. Нейрон тармоқлар (Artificial Neural Networks – ANN) мураккаб, аниқ ифодаланмаган муносабатларни ўрганиш ва прогноз қилишда қўлланилади. ANFIS ва нейрон тармоқлар: [3], [4]

$u(t)=F(SOC,P_{RES},P_{load})$

афзаллиги ноаниқ муҳитда юқори аниқлик, прогнозлаш имконияти юқори бўлса, камчилиги катта маълумот талаб қилади.

Интеграл мақсад функция. Генетик алгоритм табиий эволюция қонунларига асосланган стохастик оптималлаштириш усули бўлиб, мураккаб ва чизиқсиз мақсад функцияларини ҳал қилишда кенг қўлланилади. Гибрид энергетик тизим учун GA қуйидаги оптималлаштириш масаласини ҳал қилади: [6]

$$\min F = \omega_1 \cdot \text{Cost} + \omega_2 \cdot \text{LPSP} + \omega_3 \cdot (1 - \text{SOC}_{\text{avg}})$$

бу ерда: COST – энергия ишлаб чиқариш харажатлари, LPSP – энергия таъминоти ишончсизлиги кўрсаткичи, SOC_{avg} – аккумулятор заряд ҳолатининг оғишлари, w_i – вазн коэффициентлари. бу ерда вазн коэффициентлари орқали иқтисодий ва техник параметрлар мувозанатланади.

Pareto фронт орқали эса минимал Cost, минимал LPSP ва оптимал SOC ўртасидаги мувозанат топилади.

1-жадвал

Таҳлил натижалари шуни кўрсатадики:

Муаммо	Ҳозирги ечим	Камчилик
Қувват тасодифийлиги	MPPT + ESS	Батарея эскириши
Тармоқ барқарорлиги	MPC	Ҳисоблаш мураккаб
Иқтисодий оптималлаштириш	GA / PSO	Вақт сарфи
Интеллектуал бошқарув	ANFIS	Маълумот талабчан

Муаммолар ва истиқболли йўналишлар. Гибрид GA–PSO–ANFIS алгоритмларини ишлаб чиқиш, LPSP–SOC–Cost асосида реал вақт оптимал бошқарув, Водород энергия сақлаш билан интеграция, AI-базавий прогнозлаш (LSTM, ARIMA–LSTM), Диспетчерлашнинг рақамли платформаларини жорий этиш.

2-жадвал

Интеллектуал алгоритмларни қиёсий таҳлили

Алгоритм	Аниқлик	Тезлик	Реал вақт	Ноаниқ муҳит
GA	Юқори	Паст	Йўқ	Юқори
PSO	Ўрта–юқори	Юқори	Қисман	Ўрта
ANN/Fuzzy	Юқори	Юқори	Ҳа	Юқори

Хулоса. Муқобил энергия манбалари ва энергия сақлаш қурилмаларида асосий муаммо – генерациянинг тасодифийлиги ва юклама билан номутаносиблигидир. Бу муаммони ҳал қилиш учун интеллектуал ва эволюцион оптималлаштириш алгоритмлари самарали ҳисобланади. LPSP, SOC ва Cost кўрсаткичлари асосида кўп мақсадли оптималлаштириш гибрид энергия тизимларининг ишончлилиги ва иқтисодий самарадорлигини таъминлайди. Интеллектуал ва эволюцион алгоритмлар гибрид энергетик тизимларда иш режимларини оптимал бошқариш учун энг мақбул ечимлардан бири ҳисобланади. Тадқиқотда GA глобал оптималлаштириш учун, PSO эса тезкор бошқарув учун, ANN ва Fuzzy эса прогноз ва адаптив қарор қабул қилиш учун қўлланилади. Замонавий тенденция – AI ва гибрид алгоритмлар асосида реал вақтли бошқарув тизимларини яратишдир.

Фойдаланилган адабиётлар

1. H. Lund, Renewable Energy Systems: A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions. Oxford, UK: Academic Press, 2014.
2. International Energy Agency (IEA), Projected Costs of Generating Electricity. Paris, France: OECD Publishing, 2020. doi:10.1787/5138c5e3-en
3. S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, and P. Crossley, Microgrids and Active Distribution Networks. London, UK: Institution of Engineering and Technology, 2009. doi:10.1049/PBPO071E
4. J. Wood, B. F. Wollenberg, and G. B. Sheblé, Power Generation, Operation, and Control, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013. doi:10.1002/9781118733912
5. J. Kennedy and R. C. Eberhart, “Particle swarm optimization,” in Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks (ICNN), Perth, Australia, 1995, pp. 1942–1948. doi:10.1109/ICNN.1995.488968
6. D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1989.
7. T. Ackermann (Ed.), Wind Power in Power Systems, 2nd ed. Chichester, UK: Wiley, 2012. doi:10.1002/9781119941842