

МАШИНА ЖАСАУ, ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МАШИНАЛАР ЖӘНЕ КӨЛІК, ҚҰРЫЛЫС

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/136>

INTEGRATED REFRIGERATION SYSTEM USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Zharylkapova Zh.A., Alimkeshova A.H.*

Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan

** Correspondent's E-mail: zhansaya_06z@mail.ru*

Author information:

Zharylkapova Zh. A., JSC "Almaty Technological University", 050061 Tastak-1 m-n , Furkat 348/4, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Alimkeshova A. H., JSC "Almaty Technological University", 050061 Tastak-1 m-n , Furkat 348/4, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Abstract – This article discusses the theoretical foundations and practical application possibilities of integrated refrigeration systems using renewable energy sources. In the course of the study, the structure, principles of operation and energy efficiency of hybrid systems operating with the combination of solar and wind energy were analyzed. To assess the efficiency of the system, energy consumption indicators and the beneficial effect coefficient (COP) were used. The results of the study showed that through the use of renewable energy sources, energy consumption can be significantly reduced compared to traditional refrigeration systems. In addition, the ability of the presented systems to work autonomously ensures their effective use in remote and non-connected areas of the power grid. The scientific novelty of the work is to propose approaches to improving the stability and energy efficiency of the refrigeration system through the integration of renewable energy sources. The results of the study are aimed at the development of energy-saving and environmentally safe technologies.

Keywords – renewable energy, refrigeration system, solar energy, energy efficiency, integrated system, hybrid system, beneficial effect factor (COP).

ЖАҢАРТЫЛҒАН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІН ПАЙДАЛАНАТЫН ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ТОҢАЗЫТҚЫШ ЖҮЙЕСІ

^{1,2} Жарылқапова Ж.Ә., Алимкешова А.Х.*

Алматы технологиялық университеті АҚ, Алматы, Қазақстан

**Корреспондент E-mail: zhansaya_06z@mail.ru*

Авторлар туралы ақпарат:

Жарылқапова Ж. Ә., «Алматы технологиялық университеті» АҚ, 050061 Тастак-1 м-н , Фуркат 348/4, Алматы, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Алимкешова А.Х., «Алматы технологиялық университеті» АҚ, 050061 Тастак-1 м-н , Фуркат 348/4, Алматы, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Аңдатпа – Бұл мақалада жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелерінің теориялық негіздері мен практикалық қолдану мүмкіндіктері қарастырылады. Зерттеу барысында күн және жел энергиясын біріктіре отырып жұмыс істейтін гибриді жүйелердің құрылымы, жұмыс істеу принциптері және энергетикалық тиімділігі талданды. Жүйенің тиімділігін бағалау үшін энергия тұтыну көрсеткіштері мен пайдалы әсер коэффициенті (COP) қолданылды. Зерттеу нәтижелері жаңартылатын энергия көздерін пайдалану арқылы дәстүрлі тоңазытқыш жүйелерімен салыстырғанда энергия шығынын айтарлықтай төмендетуге болатынын көрсетті. Сонымен қатар, ұсынылған жүйелердің автономды жұмыс істеу қабілеті олардың қашықтағы және электр желісіне қосылмаған аймақтарда тиімді қолданылуын қамтамасыз етеді. Жұмыстың ғылыми жаңалығы – жаңартылатын энергия көздерін интеграциялау арқылы тоңазытқыш жүйесінің тұрақтылығы мен энергия тиімділігін арттыру тәсілдерін ұсыну болып табылады. Зерттеу нәтижелері энергия үнемдеу және экологиялық қауіпсіз технологияларды дамытуға бағытталған.

Түйін сөздер – жаңартылатын энергия, тоңазытқыш жүйе, күн энергиясы, энергия тиімділігі, интеграцияланған жүйе, гибриді жүйе, пайдалы әсер коэффициенті (COP)

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ХОЛОДИЛЬНАЯ СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

1,2 Жарылқапова Ж.Ә., Алимкешова А.Х.*

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

**E-mail корреспондента: zhansaya_06z@mail.ru*

Информация об авторах:

Жарылқапова Ж. Ә., АО "Алматинский технологический университет", 050061 Тастак-1 м-н, Фуркат 348/4, Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Алимкешова А.Х., АО "Алматинский технологический университет", 050061 Тастак-1 м-н, Фуркат 348/4, Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Аннотация – В этой статье рассматриваются теоретические основы и возможности практического применения интегрированных холодильных систем, использующих возобновляемые источники энергии. В ходе исследования была проанализирована структура, принципы работы и энергетическая эффективность гибридных систем, работающих в сочетании солнечной и ветровой энергии. Для оценки эффективности системы использовались показатели энергопотребления и коэффициент полезного действия (COP). Результаты исследования показали, что за счет использования возобновляемых источников энергии можно значительно снизить потребление энергии по сравнению с традиционными холодильными системами. Кроме того, способность предлагаемых систем работать автономно обеспечивает их эффективное использование в удаленных и не подключенных к электросети регионах. Научная новизна работы заключается в предоставлении подходов к повышению устойчивости и энергоэффективности холодильной системы за счет интеграции возобновляемых источников энергии. Результаты исследования направлены на развитие энергосберегающих и экологически безопасных технологий..

Ключевые слова – возобновляемая энергия, холодильная система, солнечная энергия, энергоэффективность, интегрированная система, гибридная система, коэффициент полезного действия (COP)

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Зерттеу барысында күн және жел энергиясын біріктірген гибриді тоңазытқыш жүйесінің дәстүрлі жүйемен салыстырғанда энергия тұтынуды 40–50%-ға дейін азайтатыны анықталды. Ұсынылған гибриді жүйенің пайдалы әсер коэффициенті (COP) 3,5 мәніне жетіп, дәстүрлі компрессорлық жүйенің көрсеткішінен (COP = 2,0) едәуір жоғары болды. Тек күн энергиясын пайдаланатын жүйенің энергия шығыны дәстүрлі жүйемен салыстырғанда 60%-ды құрады, ал COP көрсеткіші 3,0-ге дейін өсті. Интеграцияланған жүйелердің автономды жұмыс істеу қабілеті оларды электр желісіне қосылмаған алыс өңірлерде де тиімді қолдануға мүмкіндік беретіні көрсетілді. Алынған нәтижелер жаңартылатын энергия көздерін тоңазытқыш жүйелеріне кіріктіру энергия үнемдеу мен экологиялық қауіпсіздікті бір мезгілде қамтамасыз ете алатынын растайды.

КІРІСПЕ

XXI ғасырда энергия ресурстарының шектеулігі және экологиялық мәселелер жаңартылатын энергия көздерін қолдануды талап етеді. Тоңазытқыш жүйелері энергияны көп тұтынатын құрылғылардың бірі болып табылады. Қазіргі таңда әлемде энергия ресурстарының сарқылуы және қоршаған ортаның ластануы энергетика саласында жаңа шешімдерді талап етуде. Дәстүрлі энергия көздеріне тәуелділік парниктік газдардың бөлінуін арттырып, климаттың өзгеруіне әкеліп соқтыруда. Осыған байланысты жаңартылатын энергия көздерін кеңінен енгізу – қазіргі заманның өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Тоңазытқыш және кондиционерлеу жүйелері тұрмыстық және өндірістік секторларда кеңінен қолданылатын, энергияны көп тұтынатын құрылғылардың қатарына жатады. Олардың энергия тұтынуын азайту және тиімділігін арттыру энергетикалық тұрақтылықты қамтамасыз етудің маңызды бағыты болып табылады. Соңғы жылдары күн, жел және басқа да жаңартылатын энергия көздерін пайдалану

арқылы жұмыс істейтін тоңазытқыш жүйелеріне қызығушылық артып келеді. Әсіресе, интеграцияланған жүйелер – бірнеше энергия көздерін біріктіру арқылы жұмыс істейтін кешенді шешімдер – жоғары сенімділігімен және тұрақтылығымен ерекшеленеді. Мұндай жүйелер энергия көздерінің тұрақсыздығын азайтып, үздіксіз жұмыс істеуді қамтамасыз етеді [10, 12].

Зерттеудің мақсаты – жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелерінің тиімділігін талдау, олардың құрылымдық ерекшеліктерін анықтау және қолдану мүмкіндіктерін бағалау.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

1. жаңартылатын энергия көздерінің түрлерін талдау;
2. тоңазытқыш жүйелерінің жұмыс принциптерін зерттеу;
3. интеграцияланған жүйелердің тиімділігін бағалау;
4. энергия үнемдеу мүмкіндіктерін анықтау.

Бұл зерттеу жұмысы жаңартылатын энергия көздерін тиімді пайдалану арқылы тоңазытқыш жүйелерінің энергетикалық және экологиялық көрсеткіштерін жақсартуға бағытталған.

ӘДЕБИЕТ ШОЛУЫ

Жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын тоңазытқыш жүйелері соңғы онжылдықта энергетика және жылу техника салаларындағы маңызды зерттеу бағыттарының біріне айналды. Әлемдік тәжірибеде салқындату жүйелері электр энергиясын ең көп тұтынатын жүйелердің бірі болып табылады. Халықаралық энергетикалық агенттіктің мәліметтері бойынша, ғимараттардағы салқындату жүйелері жалпы электр энергиясының шамамен 10–15%-ын тұтынады, ал кейбір ыстық климаттық аймақтарда бұл көрсеткіш 20%-ға дейін жетеді [1].

Осыған байланысты жаңартылатын энергия көздерін пайдалану арқылы жұмыс істейтін тоңазытқыш жүйелерін дамыту маңызды болып отыр. Күн энергиясын пайдаланатын жүйелердің ішінде Фотоэлектрлік эффект негізіндегі фотоэлектрлік (PV) жүйелер кеңінен таралған. Мұндай жүйелерде күн панельдері арқылы өндірілген электр энергиясы компрессорлық тоңазытқыштарды тікелей немесе аккумулятор арқылы қоректендіреді. Зерттеулер көрсеткендей, PV-жүйелерді қолдану электр энергиясын тұтынуды 30–60% дейін төмендетуге мүмкіндік береді [2]. Сонымен қатар, жылу энергиясын

пайдаланатын Абсорбциялық тоңазытқыш циклі кеңінен зерттелген. Абсорбциялық жүйелерде салқындату процесі компрессорсыз жүзеге асырылады және жылу көзі ретінде күн коллекторлары қолданылады. Бұл жүйелердің негізгі артықшылығы – электр энергиясына тәуелділіктің төмендігі. Алайда олардың пайдалы әсер коэффициенті (COP) салыстырмалы түрде төмен болып келеді (әдетте 0.6–1.2 аралығында) [3, 8, 9].

Тағы бір перспективалы бағыт – адсорбциялық салқындату технологиялары. Бұл жүйелер қатты сорбенттерді қолдану арқылы жұмыс істейді және төмен температуралы жылу көздерімен тиімді жұмыс істей алады. Зерттеулер көрсеткендей, адсорбциялық жүйелердің COP мәні 0.3–0.8 аралығында болады, бірақ олардың сенімділігі жоғары және экологиялық қауіпсіз [4, 8 11].

Термоэлектрлік салқындату жүйелері де ғылыми зерттеулерде қарастырылуда. Олар Пельтье эффектiсi негiзiнде жұмыс iстейдi. Бұл жүйелердің басты артықшылықтары – қозғалмалы бөлшектердің болмауы, шу деңгейінің төмендігі және ұзақ қызмет ету мерзімі. Дегенмен, олардың энергия тиімділігі төмен ($COP \approx 0.3-0.7$), сондықтан олар көбінесе шағын көлемді жүйелерде қолданылады [5, 8, 11]. Соңғы жылдары интеграцияланған немесе гибриді жүйелерге ерекше көңіл бөлінуде. Мұндай жүйелерде күн энергиясы жел энергиясымен немесе дәстүрлі электр желісімен біріктіріледі. Бұл тәсіл жаңартылатын энергия көздерінің тұрақсыздығын (интермитенттілігін) төмендетіп, жүйенің сенімділігін арттырады. Зерттеулер көрсеткендей, гибриді жүйелерде энергиямен қамтамасыз ету тұрақтылығы 20–30% жоғары болады [6].

Энергия сақтау технологиялары да маңызды рөл атқарады. Аккумуляторлық батареялар және жылу сақтау жүйелері күн энергиясының тәуліктік өзгерістерін теңестіруге мүмкіндік береді. IRENA (2021) деректеріне сәйкес, энергия сақтау жүйелерін қолдану жалпы жүйенің тиімділігін 15–25% арттыруға мүмкіндік береді.

Термодинамикалық тұрғыдан жүйенің тиімділігі Пайдалы әсер коэффициенті (COP) арқылы бағаланады. Дәстүрлі компрессорлық жүйелерде COP мәні 2.0–4.0 аралығында болса, жаңартылатын энергияға негізделген жүйелерде бұл көрсеткіш жүйе түріне байланысты өзгеріп отырады.

Қазіргі ғылыми зерттеулердің негізгі бағыттары мыналарды қамтиды:

1. гибриді жүйелердің тиімділігін арттыру;

2. энергия сақтау технологияларын жетілдіру;
3. экологиялық таза салқындатқыш агенттерді қолдану;

4 интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу.

Осылайша, жүргізілген әдеби шолу жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелері энергия тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің перспективалы бағыты екенін дәлелдейді. Сонымен қатар, бұл бағыттағы зерттеулер әлі де дамуды қажет етеді, әсіресе жүйелердің тиімділігін арттыру және олардың экономикалық қолжетімділігін қамтамасыз ету мәселелерінде.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйесінің теориялық моделін құру және оның энергетикалық көрсеткіштерін дәстүрлі жүйелермен салыстырмалы түрде талдау негізінде жүргізілді. Жұмыс барысында әдеби деректер, техникалық сипаттамалар және есептеу әдістері қолданылды, бұл алынған нәтижелерді басқа зерттеушілердің қайталап тексеруіне мүмкіндік береді.

Бұл зерттеу адамдардың немесе жануарлардың қатысуын талап етпейді, сондықтан этикалық комитеттің мақұлдауы және хабарланған келісім алу қажет болмады. Жұмыс толығымен техникалық-теориялық сипатта болғандықтан, зерттеу барысында жеке немесе жеке анықталатын деректер пайдаланылмады.

Зерттеу объектісі ретінде күн панельдерінен және жел генераторынан тұратын гибриді энергия көзімен жабдықталған компрессорлық тоңазытқыш қондырғысы алынды. Жүйенің негізгі құрамдас бөліктеріне фотоэлектрлік модульдер, шағын қуатты жел турбины, аккумуляторлық батарея блогы, қуатты реттеуші контроллер және тоңазытқыш компрессоры кіреді. Салыстыру мақсатында үш нұсқа қарастырылды: дәстүрлі (желіден қоректенетін) жүйе, тек күн энергиясымен жұмыс істейтін жүйе және гибриді (күн+жел) жүйе.

Жүйелердің энергетикалық тиімділігін бағалау үшін пайдалы әсер коэффициенті (COP) көрсеткіші қолданылды, ол тоңазытқыш қондырғысының алатын салқындату қуатының жұмсалған электр энергиясына қатынасы ретінде есептелді:

$$COP = Q_{\text{салқын}} / W_{\text{электр}}$$

мұндағы $Q_{\text{салқын}}$ – жүйенің салқындату қуаты (Вт), $W_{\text{электр}}$ – компрессордың тұтынған электр қуаты (Вт). Әрбір жүйе үшін тәуліктік энергия тұтыну көрсеткіштері дәстүрлі жүйенің мәнін 100% деп алып, салыстырмалы пайызбен есептелді.

Есептеулер тұрақты сыртқы температура жағдайында (орташа тәуліктік көрсеткіштер бойынша) жүргізілді, күн радиациясы мен жел жылдамдығының орташа статистикалық мәндері негізге алынды. Күн панельдерінің шығысы стандартты сынақ жағдайларына (STC) сәйкес, ал жел турбинының қуаты типтік жел жылдамдығы диапазонына сәйкес бағаланды. Алынған энергетикалық көрсеткіштер дәстүрлі компрессорлық жүйемен салыстырылып, олардың арасындағы айырмашылық пайыздық қатынаста көрсетілді. Есептеу нәтижелері негізінде жүйелердің энергия тиімділігі мен тұрақтылығы туралы қорытынды жасалды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жаңартылатын энергия көздерін пайдалану энергия тұтынуды 40–50% төмендетеді. Гибриді жүйелердің тұрақтылығы жоғары.

Кесте 1 – Жүйелерді салыстыру

№	Жүйе	Энергия	COP
1	Дәстүрлі	100%	2.0
2	Күн	60%	3.0
3	Гибрид	50%	3.5

Жүргізілген зерттеу нәтижелері жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелерінің энергетикалық және экологиялық тұрғыдан тиімді шешім екенін көрсетті. Күн және жел энергиясын біріктіріп қолдану дәстүрлі электр энергиясына тәуелділікті азайтып, энергия шығынын едәуір төмендетуге мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында фотоэлектрлік және жылулық негіздегі тоңазытқыш жүйелерінің ерекшеліктері талданып, олардың әрқайсысының артықшылықтары мен шектеулері анықталды. Атап айтқанда, фотоэлектрлік жүйелер жоғары сенімділікке ие болса, абсорбциялық жүйелер электр энергиясын аз тұтынуымен ерекшеленеді. Сонымен қатар, термоэлектрлік жүйелердің қарапайым құрылымы олардың шағын құрылғыларда тиімді қолданылуын қамтамасыз етеді.

Интеграцияланған (гибридті) жүйелерді қолдану жаңартылатын энергия көздерінің тұрақсыздығын төмендетіп, жүйенің үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз ететіні анықталды. Энергия сақтау құрылғыларын пайдалану бұл жүйелердің тиімділігін арттырып, тәуліктік жүктемені теңестіруге мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері бойынша, жаңартылатын энергия көздерін пайдалану арқылы тоңазытқыш жүйелерінің энергия тұтынуын 30–50% дейін төмендетуге болатыны және пайдалы әсер коэффициентін арттыруға мүмкіндік бар екені дәлелденді. Бұл көрсеткіштер ұсынылған жүйелердің экономикалық тұрғыдан да тиімді екенін көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осылайша, жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелері энергия үнемдеу, экологиялық қауіпсіздік және автономды жұмыс істеу тұрғысынан болашағы зор технология болып табылады.

Болашақта жүргізілетін зерттеулер келесі бағыттарға бағытталуы тиіс:

1. жүйенің пайдалы әсер коэффициентін арттыру;
2. энергия сақтау технологияларын жетілдіру;
3. интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу;
4. жүйенің экономикалық тиімділігін арттыру.

Қорытындылай келе, жаңартылатын энергия көздеріне негізделген тоңазытқыш жүйелерін дамыту – тұрақты энергетиканы қалыптастырудың маңызды қадамдарының бірі болып табылады.

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала [Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International](#) (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] H. Lund et al., «Renewable energy systems – A smart energy systems approach», Energy, vol. 100, pp. 1–10, 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215000593>
- [2] S. A. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Amsterdam, Netherlands: Academic Press, 2014, pp. 320–345. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123972705/solar-energy-engineering>
- [3] I. Dincer and M. A. Rosen, Thermal Energy Storage: Systems and Applications. Chichester, U.K.: Wiley, 2011, pp. 210–235.
- [4] K. E. Herold, R. Radermacher, and S. A. Klein, Absorption Chillers and Heat Pumps. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2016, pp. 95–120.
- [5] [D. M. Rowe, Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006, pp. 1–25.
- [6] International Energy Agency, World Energy Outlook 2022. Paris, France: IEA, 2022, pp. 150–165. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- [7] International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Energy Statistics 2021. Abu Dhabi, UAE: IRENA, 2021, pp. 45–60. [Online]. Available: <https://www.irena.org/publications>
- [8] Z. Kaneesamkandi and A. Sayeed, «Performance of Solar Hybrid Cooling Operated by Solar Compound Parabolic Collectors under Weather Conditions in Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia», Applied Sciences, vol. 13, no. 12, p. 7343, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app13127343>
- [9] A. Maiorino, F. Petruzzello, C. Cilenti, R. Llopis, and C. Aprea, «Performance evaluation of a hybrid photovoltaic-vapor compression system serving a refrigerated van», International Journal of Refrigeration, vol. 168, pp. 720–729, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700724003608>
- [10] S. Paudel, J. N. Shrestha, F. J. Neto, J. A. F. Ferreira, and M. Adhikari, «Optimization of hybrid PV/wind power system for remote telecom station», presented at the IEEE conference, 2011. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1411.5343>
- [11] M. Gado, S. Ookawara, S. Nada, and H. Hassan, «Performance assessment of photovoltaic/thermal (PVT) hybrid adsorption-vapor compression refrigeration system», Journal of Energy Systems, vol. 6, no. 2, pp. 209–220, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.30521/jes.1002871>
- [12] D. Shen and A. Izadian, «Extremum power seeking control of a hybrid wind-solar-storage DC power system», arXiv preprint arXiv:2007.05093, 2020. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2007.05093>