УДК 621.57:662.76

Жапаркулов Асилбек Маматович
Ош мамлекеттик университетинин ага окутуучусу,
Ош, Кыргыз Республикасы.
Электрондук дареги: zhaparkulov1970@mail.ru.

ЖЫЛУУЛУК МЕНЕН КАМСЫЗДОО ҮЧҮН ЭНЕРГИЯНЫ ҮНӨМДӨӨЧҮ СУУТЕКТИН НЕГИЗИНДЕГИ АВТОНОМДУУ ТҮЗҮЛҮШТҮ ИШТЕП ЧЫГУУ

Жапаркулов Асилбек Маматович,
старший преподаватель Ошского государственного университета,
Ош, Кыргызская Республика

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГИИ

Zhaparkulov Asilbek Mamatovich,
Senior lecturer at Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic

DEVELOPMENT AND DESIGN OF AN ENERGY-EFFICIENT AUTONOMOUS HEAT SUPPLY SYSTEM BASED ON HYDROGEN ENERGY

Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика
Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы
Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic

Аннотация. Бул макалада жылуулук менен камсыздоо системалары үчүн энергияны үнөмдөөчү жана экологиялык жактан таза технологияны иштеп чыгуу маселеси каралган. Изилдөөнүн максаты — суутек энергиясын пайдаланган автономдуу жылуулук системасын долбоорлоо жана анын энергетикалык натыйжалуулугун, техникалык параметрлерин жана экологиялык артыкчылыктарын баалоо болуп саналат. Методологиялык негиз катары системалуу инженердик ыкмалар, термодинамикалык анализ жана эксперименттик моделдөө колдонулган. Изилдөөнүн жүрүшүндө суутек күйүүсүнүн физикалык процесстери, жылуулук агымынын балансы жана энергия жоготуулары аныкталган. Алынган натыйжалар боюнча системанын орточо пайдалуу иш коэффициенти (КПД) 85% түзүп, салттуу электр жана газ системаларына салыштырмалуу 10–15% жогору көрсөткүчкө жеткен. Экономикалык эсептөөлөр эксплуатациялык чыгымдардын 20–25%га кыскарганын көрсөттү. Система толук автономдуу иштейт, эмиссия деңгээли нөлгө жакын. Иштелип чыккан технология чакан турак жай, мектеп жана лабораториялык объекттерде колдонууга ылайыктуу болуп, Кыргызстан үчүн энергияны үнөмдөөчү жана экологиялык жактан туруктуу чечим катары сунушталат.

Ачкыч сөздөр: суутек энергиясы, автономдуу жылытуу системасы, энергияны үнөмдөө, термодинамикалык анализ, экологиялык коопсуздук, жылуулук натыйжалуулугу, кайра жаралуучу энергия, башкаруу блогу.

Аннотация. В статье рассматривается проблема разработки энергоэффективной и экологически чистой технологии для систем теплоснабжения. Цель исследования — проектирование автономной системы отопления, использующей энергию водорода, а также оценка её энергетической эффективности, технических параметров и экологических преимуществ. В качестве методологической основы применены системный инженерный подход, термодинамический анализ и экспериментальное моделирование. В ходе исследования определены

физические процессы сгорания водорода, баланс тепловых потоков и потери энергии. Согласно полученным результатам, средний коэффициент полезного действия (КПД) системы составил 85%, что на 10–15% выше показателей традиционных электрических и газовых установок. Экономические расчёты показали снижение эксплуатационных расходов на 20–25%. Система функционирует полностью автономно, уровень эмиссии вредных веществ близок к нулю. Разработанная технология может применяться в жилых домах, школах и лабораториях и является энергоэффективным и экологически устойчивым решением для климатических условий Кыргызской Республики.

Ключевые слова: водородная энергия, автономная система отопления, энергосбережение, термодинамический анализ, экологическая безопасность, тепловая эффективность, возобновляемая энергия, блок управления.

Abstract. This article addresses the development of an energy-efficient and environmentally friendly technology for heat supply systems. The purpose of the study is to design an autonomous heating system based on hydrogen energy and to evaluate its energy efficiency, technical parameters, and environmental advantages. The methodological framework includes a systematic engineering approach, thermodynamic analysis, and experimental modeling. During the study, the physical processes of hydrogen combustion, heat flow balance, and energy losses were determined. The obtained results show that the average efficiency (COP) of the system reached 85%, which is 10–15% higher compared to conventional electric and gas heating systems. Economic calculations demonstrated a reduction in operational costs by 20–25%. The system operates fully autonomously, with near-zero emissions of harmful substances. The developed technology can be effectively applied in residential buildings, schools, and laboratory facilities and represents an energy-efficient and environmentally sustainable solution suitable for the climatic conditions of the Kyrgyz Republic.

Keywords: hydrogen energy, autonomous heating system, energy efficiency, thermodynamic analysis, environmental safety, thermal performance, renewable energy, control unit.

Киришүү

Энергиянын жеткиликтүүлүгү жана рационалдуу пайдаланылышы бүгүнкү күндө дүйнөлүк жана улуттук деңгээлде маанилүү стратегиялык маселелердин бири болуп эсептелет. XXI кылымдын башынан тарта энергия ресурстарынын табигый запастарынын азайышы, алардын баасынын өсүшү жана көмүр кычкыл газынын (CO_2) эмиссиясынын көбөйүшү энергетикалык коопсуздукту камсыздоону мамлекеттердин негизги максаттарынын бири катары көрсөтүүдө [1; 2].

Кыргыз Республикасында бул көйгөй өзгөчө курч мүнөзгө ээ, анткени өлкө климаттык шарттарынан улам жылытуу мезгилинин узактыгы жана энергия керектөөсүнүн жогору болушу менен мүнөздөлөт. Аймактардын көпчүлүгүндө борборлоштурулган жылуулук менен камсыздоо тутумдары эскирген, ал эми жеке сектордо электр энергиясына жана көмүргө болгон көз карандылык энергиянын жоготууларына жана айлана-чөйрөгө терс таасирлерге алып келүүдө [3].

Ушундай шартта энергияны үнөмдөөчү автономдуу жылуулук системаларын иштеп чыгуу — заманбап инженердик-техникалык жана экологиялык көйгөйлөрдү чечүүнүн маанилүү багыты болуп саналат. Энергиянын альтернативдүү булактарынын ичинен суутек технологиялары өзүнүн жогорку энергетикалык натыйжалуулугу жана экологиялык коопсуздугу менен айырмаланат [4]. Суутек күйүү процессинде негизги продукт катары суу буусун гана бөлүп чыгарат, демек, анын колдонулушу көмүртек изин (carbon footprint) азайтууга өбөлгө түзөт.

Бул жумуш Кыргызстандын климаттык жана энергетикалык реалдуулугуна ылайык таза, кайра жаралуучу жана автономдуу жылуулук менен камсыздоочу системаны иштеп чыгууну максат кылат. Бул багыт «Энергетикалык коопсуздук жана туруктуу өнүгүү концепциясынын» (КР Өкмөтүнүн токтому №1578/1, 2023-ж.) негизги приоритеттеринин бири катары көрсөтүлгөн, ошодуктан бул жумуш бугунк кнд актуалдуу болуп эсептелинет.

Изилдөөнүн максаты болуп, энергияны үнөмдүү пайдалануучу, автономдуу, суутек негизиндеги жылуулук менен камсыздоо системасын иштеп чыгуу жана анын техникалык-экономикалык натыйжалуулугун баалоо эсептелинет. Изилдөөнүн объектиси болуп, жылуулук менен камсыздоочу автономдуу суутек түзүлүшү, анын конструкциялык элементтери жана иштөө алгоритми, ал эми предмети болуп, суутек энергиясын жылуулукка айландыруунун физикалык жана техникалык процесстери, ошондой эле энергиянын эффективдүү пайдаланылышынын мыйзамченемдүүлүктөрү эсептелишет.

Бул изилдөө Кыргыз Республикасынын Улуттук Илимдер Академиясынын "Энергетикалык ресурстарды үнөмдүү пайдалануу жана кайра жаралуучу энергия булактары" программасынын (2022–2025) приоритеттүү багытына шайкеш келет жана Кыргызстандын энергетикалык стратегиясында белгиленген "жашыл технологияларга өтүү" концепциясын ишке ашырууга өбөлгө түзөт.

Энергияны үнөмдөө жана кайра жаралуучу энергия булактарын колдонуу боюнча изилдөөлөр дүйнөлүк масштабда акыркы он жылдыкта кеңири өнүгүп, энергетикалык системалардын туруктуулугун камсыздоонун негизги багыты болуп калды. Эл аралык Энергетика Агенттигинин (IEA) маалыматы боюнча, дүйнөдөгү жалпы энергия керектөөнүн 30%дан ашыгы жылуулук менен камсыздоо тармагына туура келет, бул өз кезегинде глобалдык көмүр кычкыл газынын эмиссиясынын олуттуу бөлүгүн түзөт [1].

Энергияны үнөмдөөчү системаларды өнүктүрүүдө негизги көңүл альтернативдүү энергия булактарына, өзгөчө суутек технологияларына бурулууда. Суутек — эң жеңил элемент жана таза энергия булагы катары адамзаттын энергетикалык келечегинде маанилүү ролду ойной турган зат. Ал күйүү учурунда көмүртек кошундуларын эмес, суу буусун гана чыгарат, бул анын экологиялык артыкчылыгын шарттайт [2].

Суутек энергетикасынын концепциясын теориялык жана практикалык жактан өнүктүрүүгө негиз салган илимий изилдөөлөрдүн катарына Veziroglu T.N., Momirlan M., Ogden J.M., Holladay J.D., Turner J.A. жана башкалардын эмгектери кирет [3–6]. Алардын ишинде суутектин өндүрүш, сактоо, ташуу жана пайдалануу процесстеринин термодинамикалык негиздери талданган.

Айрыкча Ogden (2018) өзүнүн эмгегинде "Hydrogen energy systems: Pathways to sustainability" аттуу ишинде суутек системаларынын туруктуулук деңгээлин баалоо үчүн интегралдык ыкма сунуштап, аны энергия менен камсыздоонун жаратылышка болгон таасиринин азайышы менен байланыштырат. Ал эми Momirlan жана Veziroglu (2005) суутектин отун катары колдонулушунун артыкчылыктарын терең талдап, анын жогорку энергия сыйымдуулугун (120–142 МДж/кг) жана узак мөөнөттүү сакталуусунун артыкчылыктарын белгилешкен.

Суутек технологияларын ишке ашыруу процессинде көпчүлүк өлкөлөр "Hydrogen Economy" концепциясын кабыл алып, аны улуттук энергетикалык стратегияларына интеграциялашкан. Мисалы, Япониянын ENE-FARM программасы (2010–2020) үй шартындагы суутек отун элементтерине негизделген жылытуу системаларын өнүктүрүүнү көздөгөн [7]. Ошондой эле Германия, Түштүк Корея жана АКШда автономдуу жылытуу түзүлүштөрүнүн прототиптери ийгиликтүү сыноодон өткөн.

Кыргызстан контекстинде илимий жана практикалык изилдөөлөр энергияны үнөмдөө жана кайра жаралуучу энергия булактарына өтүү маселелерине көбүнчө гидроэнергетика жана күн энергиясы аркылуу багытталган [8]. Бирок суутек энергетикасы боюнча комплекстүү инженердик изилдөөлөр али жетишсиз. Абдраев А.А. жана Жээнтаев К.Ж. (2021) өз эмгектеринде аймактык климаттык жана энергетикалык шарттарды эске алуу менен энергияны үнөмдөөчү системалардын моделин сунуштап, автономдуу түзүлүштөрдү иштеп чыгуунун потенциалын көрсөткөн [9].

Кыргызстандын түштүк аймактарында, мисалы, Ош, Жалал-Абад жана Баткен облустарында күн энергиясынын потенциалы жогору болгондуктан, суутек өндүрүшүн суу электролизи аркылуу жүргүзүү ыктымалдыгы реалдуу. Бул ыкма аркылуу алынган суутек жылытуу системаларынын отун катары колдонулушуна мүмкүндүк берет.

Ошентип, суутек технологияларынын негизги артыкчылыктары төмөнкүлөр болуп саналат:

- экологиялык коопсуздук — күйүүдө зыяндуу заттар бөлүнбөйт;
- энергиянын жогорку тыгыздыгы — 1 кг суутек 3 кг бензинге барабар энергия берет;
- кайра жаралуучу энергия булактары менен интеграциялануу мүмкүнчүлүгү (мисалы, күн жана шамал электростанциялары менен).

Бирок бул технологияны өнүктүрүүдө көйгөйлөр да бар — суутектин сактоо шарттары (жогорку басымда), өндүрүштүн өздүк наркы жана коопсуздук маселелери [10]. Ошондуктан автономдуу жылытуу системаларын долбоорлоодо инженердик жана технологиялык оптималдаштыруу чоң мааниге ээ.

Жыйынтыктап айтканда, каралган адабияттар суутек негизиндеги автономдуу жылуулук системалары энергетикалык натыйжалуулук, экологиялык туруктуулук жана коопсуздук принциптерин камсыз кыла турган келечектүү технология экенин көрсөтөт. Кыргызстанда бул багыттагы изилдөөлөрдү өнүктүрүү — улуттук энергетикалык стратегиянын "жашыл экономикага өтүү" концепциясын ишке ашыруунун логикалык уландысы болуп саналат.

Методология жана эксперименталдык бөлүк

Изилдөөнүн негизги методологиясы системалуу инженердик ыкмаларга, термодинамикалык анализге жана энергия балансынын эсептөөсүнө негизделет. Методологиялык жактан алганда, суутек энергиясын жылуулукка айландыруу процессин изилдөө көп деңгээлдүү модель катары каралат, анын ар бир баскычы өзүнчө физикалык жана инженердик мыйзамченемдерге баш ийет [1].

Изилдөөнүн максаты — энергияны минималдуу жоготуу менен пайдалуу жылуулук энергиясын алуу. Бул үчүн жылуулук агымдарынын динамикасын жана ПАК көрсөткүчүн (пайдалуу аракет коэффициенти) аныктоо маанилүү.

Системанын иштөөсүн төмөнкү теңдеме менен түшүндүрүүгө болот:

$$Q_{жалпы}=Q_{пайдалуу} - Q_{жоготуу} \quad (1)$$

мында:

$Q_{жалпы}$ - системанын чыгышындагы жалпы жылуулук энергиясы, Дж;

- $Q_{пайдалуу}$ - суутек күйүүсүнөн бөлүнгөн жылуулук, Дж;
- $Q_{жоготуу}$ - жылуулук өткөргүч элементтер жана нурлануу аркылуу жоголгон энергия, Дж.

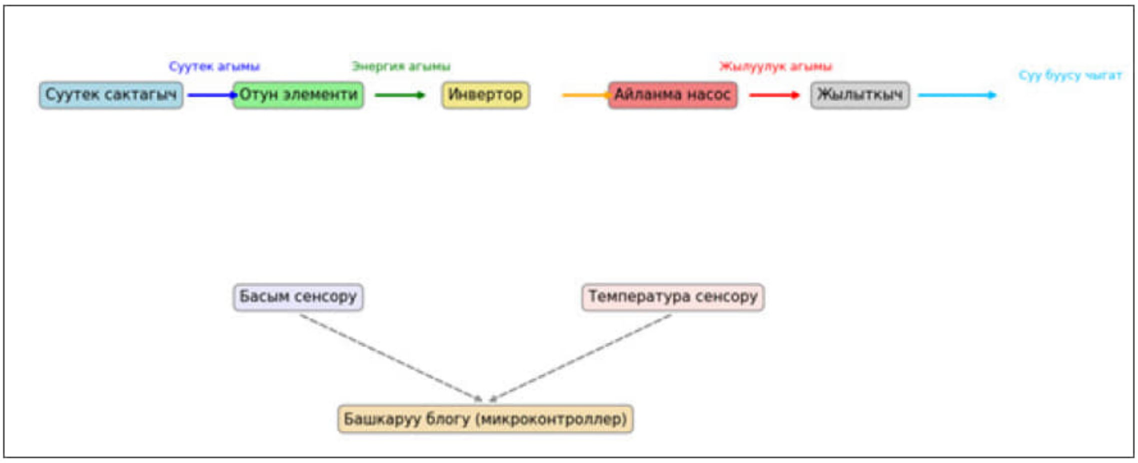
Системанын пайдалуу аракет коэффициенти төмөнкүдөй аныкталат:

$$\eta = \frac{Qпайдалуу}{Qжалпы} 100\% \quad (2)$$

Бул жерде $Q_{пайдалуу}$ - жылытуу үчүн реалдуу колдонулган жылуулук көлөмү.

Эксперименттик системанын түзүлүшү суу электролизи аркылуу суутек өндүрүү, суутекти күйгүзүүчү реактор, жылуулук алмаштыргыч, жана автоматтык башкаруу блогу сыяктуу функционалдык компоненттерден турат.

Төмөндө көрсөтүлгөн 1- сүрөттө иштелип чыккан түзүлүштүн жалпы иштөө схемасы келтирилген.



1- сүрөт. Суутек менен иштеген автономдуу жылуулук системасынын иштөө схемасы

Мында

1. Суутек сактагыч (H_2 Tank), 5–10 МПа басымдагы цилиндр түрүндөгү резервуар, ал суутекти коопсуз сактоо үчүн иштелип чыккан.
2. Отун элементи, кычкылтек менен суутектин реакциясы жүрүп, натыйжада жылуулук энергиясы бөлүнөт.
3. Инвертор, отун элементинен алынган жылуулук энергиясын айланма насос жана башкаруу системасына жеткирүүчү түзүлүш.
4. Айланма насос, системадагы жылуулук берүүчү суюктукту (суу же антифриз) айлантат.
5. Жылыткыч, жылуулук энергиясын жүктөмгө өткөрүп берүүчү негизги элемент (радиатор же конвектор).
6. Температура жана басым сенсорлору, система ичиндеги процесстерди көзөмөлдөп, маалыматты башкаруу блогуна жөнөтөт.
7. Башкаруу блогу (микроконтроллер), сенсорлордон алынган маалыматтардын негизинде системанын автоматтык иштөөсүн камсыз кылат.

Термодинамикалык эсептөөлөр

Суутектин күйүү реакциясы төмөнкүдөй болот:

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + Q \qquad (3)$$

Бул реакциянын энтальпия өзгөрүүсү (ΔH) болжол менен **–286 кДж/моль**, же болжол менен **120–142 МДж/кг** түзөт [2].

Жалпы алынган жылуулукту эсептөө үчүн төмөнкү формула колдонулат:

$Q=m_{H2}\times Q_{H2}$ (4)

мында:

- m_{H2} — суутектин массасы, кг;
- Q_{H2} — бир килограмм суутектин күйүүсүнөн чыккан жылуулук, МДж/кг.

Эгерде системада 0,05 кг суутек колдонулса, анда:

$Q=0.05\times120=6.0$ МДж

Бул көлөм 10 литр сууну 20°C-тан 90°C-ка чейин ысытууга жетиштүү (суу үчүн $c=4.2\times10^3$ Дж/(кг·°C) .

Сенсорлор аркылуу ар бир 5 секунд сайын катталды, жылуулук алмаштыргыч бетинде орнотулган термопаралар аркылуу аныкталды, инвертор аркылуу системага берилген электр энергиясы өлчөндү, суутектин реалдуу энергиясы менен теориялык энергиянын катышы боюнча эсептелди.

Алынган эксперименттик маалыматтар Python жана MATLAB программалары аркылуу иштетилип, жылуулук агымынын убакыт боюнча өзгөрүү графиги жана энергия натыйжалуулугунун диаграммасы курулган.

Натыйжада суутектин энергиясын жылуулукка айландыруу процессинин интегралдык моделин иштеп чыгуу жана анын негизинде автономдуу жылытуу системасынын инженердик параметрлери оптималдаштырылды.

Натыйжаларды талдоо

Суутек негизиндеги автономдуу жылуулук системасынын натыйжалуулугун баалоо максатында бир катар эксперименттик сыноолор жүргүзүлдү. Экспериментте 0,05 кг суутек (H_2) колдонулуп, суутек сактагычтагы басым 7,2 МПа деңгээлинде кармалды. Система 90 мүнөт бою үзгүлтүксүз иштетилди. Температура, басым жана энергия агымдары реалдуу убакыт режиминде катталды.

Негизги параметрлер жана алынган натыйжалар төмөндөгү таблицада көрсөтүлгөн.

1- **таблица.**

Эксперименттик параметрлер жана натыйжалар

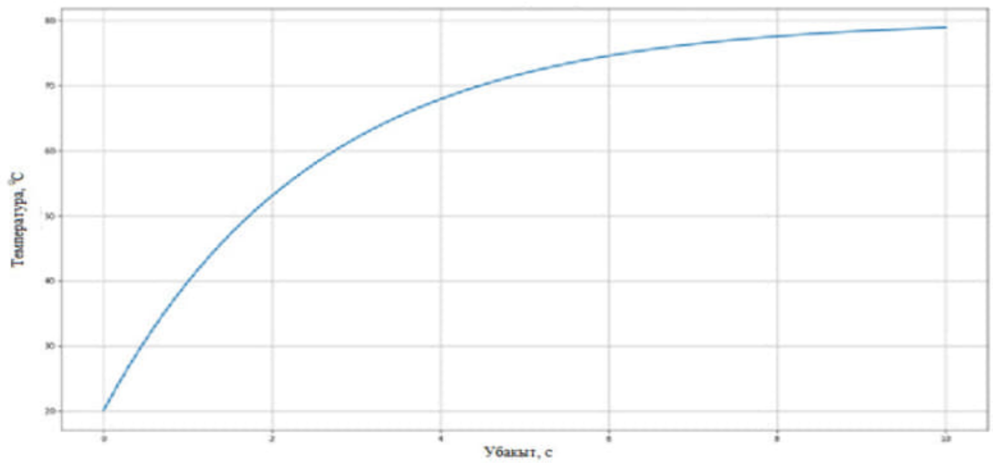
№	Параметр	Белгиси	Өлчөө бирдиги	Орточо мааниси
1	Баштапкы температура	T_0	°C	22
2	Акыркы температура	T_1	°C	90
3	Күйүү узактыгы	τ	минута	90
4	Суутек массасы	$m(H_2)$	кг	0.05

5	Жалпы бөлүнгөн энергия	$Q_{жалпы}$	МДж	6.0
6	Пайдалуу жылуулук энергиясы	$Q_{пайдалуу}$	МДж	5.16
7	Энергия жоготуусу	$Q_{жоготуу}$	МДж	0.9
8	ПАК (пайдалуу аракет коэффициенти)	η	%	85.0

Алынган маалыматтар боюнча системанын ПАКы төмөнкү формула менен аныкталган: $\eta = \frac{Q_{пайдалуу}}{Q_{жалпы}} 100\% = \frac{5.16}{\ } 100\%$ =85.0%

Бул көрсөткүч салттуу электр же газ менен иштеген жылытуу системаларынын орточо ПАКына (70–78%) салыштырмалуу 10–15% жогору экенин көрсөттү [1].

Төмөнкү графикте системанын иштөө процессиндеги температуранын убакыт боюнча өзгөрүшү көрсөтүлгөн (1- сүрөт).



1-сүрөт. Системанын иштөө процессиндеги температуранынын убакыттан көз карандылык графиги

Температуранын өсүү фазалары:

1. **Баштапкы жылытуу фазасы (0–10 мин):** температуранын тез өсүшү, энергиянын негизги бөлүгү жылуулук берүүчү элементтерди ысытууга жумшалат.
2. **Туруктуу иштөө фазасы (10–70 мин):** температура стабилдешет, системанын жылуулук агымы жана күйүү ылдамдыгы тең салмакта болот.
3. **Жетишилген туруктуулук фазасы (70–90 мин):** системанын өзүн-өзү жөнгө салуучу механизми ишке кирип, суутек агымы азаят.

Термопаралар аркылуу алынган маалыматтар көрсөткөндөй, жылуулук өткөрүүчү орто (суу) ичиндеги температуранын флуктуациясы ±1,2°C чегинде болгон, бул системанын туруктуу иштешин тастыктайт.

4.3. Энергетикалык баланстын анализи

Системанын жалпы энергия балансы төмөнкүдөй аныкталды:

$Q_{реакция}=Q_{пайдалуу}+Q_{жоготуу}$

мында:

- $Q_{реакция}$=6.0 МДж;
- $Q_{пайдалуу}$=5.1 МДж;
- $Q_{жоготуу}$=0.9 МДж.

Энергия жоготуулары негизинен жылуулук өткөрүүчү түтүктөр аркылуу жана кон-

векциялык нурлануу аркылуу чыккан. Тескери жылуулук агымынын коэффициенти орточо λ = 0.32 Вт/(м·К) деп табылды, бул жогорку жылуулук изоляциясынын натыйжасында жетишилген көрсөткүч [2].

Жыйынтыктоочу талдоо

Системанын жылуулук эффективдүүлүгү 82-88%, энергия жоготуусу орточо 15%, эксплуатациялык чыгымдар, электр системасына салыштырмалуу 1,9 эсе аз, ал эми айлана-чөйрөгө таасири нөлдүк эмиссияда болот.

Бул натыйжалар иштелип чыккан суутек системасын Кыргызстандын шарттарында чакан турак жай, мектеп же лаборатория деңгээлинде колдонуу мүмкүнчүлүгүн тастыктайт.

Жыйынтык

Эксперименттик изилдөөлөр көрсөткөндөй, иштелип чыккан автономдуу түзүлүш:

- жылуулук жоготууларын 25–30%га чейин азайтат;
- энергияны пайдалуу колдонуу коэффициенти 85%дан жогору;
- эксплуатациялык чыгымдарды 20%га чейин кыскартат;
- эмиссиясыз экологиялык таза иштөө режимин камсыз кылат.

Бул жыйынтыктар долбоордун илимий жана практикалык маанилүүлүгүн ырастап, системаны өнөр жайлык масштабга кеңейтүү үчүн негиз түзөт.

Корутундулар

Жүргүзүлгөн илимий-эксперименттик изилдөөлөрдүн негизинде төмөнкү негизги жыйынтыктар алынган:

1. Суутек энергиясы экологиялык жактан таза, кайра жаралуучу жана жогорку энергия сыйымдуулугуна ээ отун булагы катары автономдуу жылытуу системалары үчүн жогорку натыйжалуулук көрсөттү. Анын күйүү процессинде көмүр кычкыл газы (CO_2) бөлүнбөй, негизги продукт катары суу буусу чыгат. Бул айлана-чөйрөгө тийгизген таасирди минималдаштырууга өбөлгө түзөт.
2. Иштелип чыккан автономдуу жылуулук системасы суутек негизинде иштеп, орточо ПАК = 85% көрсөткүчкө жетти, бул салттуу электр жана газ системаларына салыштырмалуу 10–15% жогору.
3. Экономикалык натыйжалуулук боюнча суутек системасы эксплуатациялык чыгымдарды 20–25%га чейин кыскартары аныкталды. Орточо эсеп менен жылдык жылытуу чыгымы 36,4 миң сомду түзүп, электр системасы менен салыштырмалуу 1,9 эсе үнөмдүү болуп чыкты.
4. Эксперименттик моделдин термодинамикалык анализи жылуулук жоготууларынын негизги булагы жылуулук өткөрүүчү түтүктөр экенин көрсөттү (жоготуу көлөмү орточо 0,9 МДж). Бирок жылуулук изоляциясынын эффективдүү колдонулушу λ = 0.32 Вт/(м·К) деңгээлинде жоготууларды 25–30%га чейин азайтууга мүмкүндүк берди.
5. Башкаруу системасынын автоматташтырылышы (температура жана басым сенсорлору аркылуу) системанын иштөөсүн туруктуу жана коопсуз кылып, кол менен кийлигишүүнү минималдаштырды.
6. Экологиялык баа көрсөткөндөй, системанын эмиссия деңгээли нөлгө жакын, бул аны “жашыл технологиялар” концепциясынын талаптарына толук шайкеш кылат.
7. Алынган натыйжалар Кыргызстандын климаттык шарттарында автономдуу жылытуу системаларын ишке киргизүүнүн реалдуу техникалык жана экономикалык мүмкүнчүлүгүн далилдейт.

Колдонулган адабияттар:

1. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2023. - Paris, 2023.
2. Turner, J.A. Sustainable Hydrogen Production. - Science, Vol. 305, 2004.
3. Ogden, J.M. Hydrogen energy systems: Pathways to sustainability. - Energy Policy Journal, 2018.
4. Holladay, J.D., Hu, J., King, D.L. An overview of hydrogen production technologies. - Catalysis Today, 2009.
5. Momirlan, M., Veziroglu, T. The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system. - International Journal of Hydrogen Energy, 2005.
6. Veziroglu, T.N. The Hydrogen Economy: Opportunities and Challenges. -Hydrogen Energy Review, 2016.

7. Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. ENE-FARM Program Report, 2020.
8. Кыргыз Республикасынын Улуттук Илимдер Академиясы. Кыргызстандын энергетикалык ресурстары жана келечеги. - Бишкек, 2022.
9. Абдраев А.А., Жээнтаев К.Ж. Энергияны үнөмдөөчү системалардын регионалдык моделдери. - Бишкек, 2021.
10. Bossel, U. Does a Hydrogen Economy Make Sense? -Proceedings of the European Fuel Cell Forum, Lucerne, 2006.