

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

ҚОРАҚУЛОВ АСЛИДДИН НУРИДДИНОВИЧ

**ИССИҚЛИК ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИ УЧУН САМАРАЛИ
БИОГАЗ-ИССИҚЛИК НАСОСИ УСКУНАСИ**

05.05.01 - Энергетика тизимлари ва мажмуалари

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2025

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора
философии (PhD) по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Қорақулов Аслиддин Нуриддинович

Иссиқлик таъминоти тизими учун самарали биогаз-иссиқлик насоси
ускунаси.....3

Қорақулов Аслиддин Нуриддинович

Эффективное биогазовое теплонасосное оборудование для системы
теплоснабжения..... 21

Qoraqulov Asliddin Nuriddinovich

Efficient biogas-heat pump equipment for heat supply system..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 43

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

ҚОРАҚУЛОВ АСЛИДДИН НУРИДДИНОВИЧ

**ИССИҚЛИК ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИ УЧУН САМАРАЛИ
БИОГАЗ-ИССИҚЛИК НАСОСИ УСКУНАСИ**

05.05.01 - Энергетика тизимлари ва мажмуалари

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2025

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2022.1.PhD/T2672 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасига (www.energetika.uz) ва «ZiyoNet» ахборот-таълим порталига (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Анарбаев Анвар Изатуллаевич
техника фанлари номзоди, катта илмий ходим

Расмий оппонентлар:

Қодиров Дилшод Ботирович
техника фанлари доктори, профессор
Эшқуватов Лутфулла Мурадуллаевич
техника фанлари бўйича фалсафа доктори, доцент

Етакчи ташкилот:

Қарши давлат техника университети

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2021.T.143.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2025 йил “_____” _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 40. Тел.: (99855) 520-01-52; e-mail: energetika_in@umail.uz).

Диссертация билан Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 40. Тел.: (99855) 520-01-52).

Диссертация автореферати 2025 йил “ _____ ” _____ да тарқатилди.

(2025 йил “ _____ ” _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси).

Х.М. Муратов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, техника фанлари доктори, профессор

Ж. Н. Толипов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари бўйича фалсафа доктори PhD, катта илмий ходим

О.Х. Ишназаров

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (докторлик (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш, ёқилғи-энергетик ресурсларни тежаш ҳамда қайта тикланадиган энергия манбалари асосидаги қурилмалар ёрдамида органик чиқиндилардан муқобил ёқилғилар олишда биогаз олиш технологиялари етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. Сўнгги йилларда дунё миқёсида ишлаб чиқарилаётган энергиянинг 28 фоизи қайта тикланувчи энергия манбалари улушига тўғри келаётганлиги ва шундан 10 фоизини биомассадан олинадиган муқобил ёқилғилар ташкил этаётганлиги¹ ҳамда такомиллашган биогаз олиш қурилмаларини амалиётга жорий этишни тақозо этмоқда. Шу жиҳатдан, органик чиқиндилардан биогаз технология асосида муқобил ёқилғи олишда такомиллашган биогаз олиш қурилмаларидан фойдаланиш муҳим аҳамиятга эга.

Жаҳонда ва республикада органик чиқиндилардан биогаз технологиялари асосида муқобил ёқилғилар олиш жараёнлари ва қурилмаларини такомиллаштиришга қаратилган илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, биогаз қурилмаларида органик чиқиндиларни қайта ишлаш (утилизация қилиш) учун биогаз қурилмаларни такомиллаштириш бўйича олиб борилаётган тадқиқотлар устувор ҳисобланади. Шу сабабли, органик чиқиндиларни кислородсиз муҳитда қайта ишлаш натижасида биогаз ва биоўғит олиш самарадорлигини оширишда биогаз қурилмасининг параметрларини асослашга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда биогаз қурилмаларининг самарадорлигини ошириш, биомасса энергиясидан фойдаланиш имкониятларини кенгайтириш, энергия тежамкор технологиялар асосида такомиллашган биогаз олиш қурилмаларини амалиётга жорий этиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасининг 2019 йил 21 майда қабул қилинган “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида”ги Қонунида “...мамлакатнинг энергетика хавфсизлигини мустаҳкамлаш, ёқилғи-энергетика балансининг қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланган ҳолда электр, иссиқлик энергияси ва биогаз ишлаб чиқаришга доир қисмини диверсификациялаш...”² устувор вазифа сифатида белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, хусусан, қайта тикланувчи энергия манбалари асосида энергетик қурилмаларни яратиш ва мавжудларини модернизация қилиш, жумладан, глобал иқлим ўзгаришларини ҳисобга олган ҳолда сифатини пасайтирмасдан кислородсиз муҳитда қайта ишлаш усуллари ва қурилмаларини ишлаб чиқишга қаратилган илмий-техник ечимларни аниқлаш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг иқтисодий электр энергияси билан узлуксиз таъминлаш ҳамда “Яшил иқтисодий” технологияларини барча соҳаларга фаол жорий этиш, иқтисодийнинг энергия самарадорлигини

¹ <https://yearbook.enerdata.ru/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>

² <https://lex.uz/ru/docs/4346831>

20 фоизга ошириш бўйича қабул қилинган 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон Фармонида “2022–2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси”, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сон “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарори, 2019 йил 22 майда “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида” ги Қонун ва Вазирлар Маҳкамасининг 2015 йил 25 ноябрдаги 343-сон «Республиканинг чорвачилик ва паррандачилик хўжаликларида биогаз қурилмалари қуришни рағбатлан-тириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши бўйича тадқиқотлар республика фан ва технологиялари ривожланишининг 2. “Энергетика, энергия тежамкорлик ва муқобил энергия манбалари” устувор йўналишига мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Биогаз олиш қурилмаларида биомасса ва органик чиқиндиларга ишлов бериш, хусусан органик чиқиндиларининг таркибини ўрганиш ва уни қайта ишлаб биогаз ҳамда биоўғит олишга қаратилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, жумладан Федерал университети (АҚШ), Оффенбург Университети (Германия), Украина техник экология маркази (Украина), Альберти университети (Канада), «Giza» (Италия), Москва энергетика институти ва Санкт-Петербург давлат политехника университети (Россия), Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети, “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” миллий тадқиқот университети (Ўзбекистон) кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда .

Олиб борилган изланишлар натижасида органик чиқиндиларни қайта ишловчи биогаз қурилмаларни энергия манбалари сифатида қайта тикланувчи энергия манбаларидан оқилона фойдаланиш усуллари ва органик чиқиндиларини қайта ишлаб биогаз ҳамда биоўғит олиш масалаларини ўрганиш бўйича хорижлик бир қатор олимлар, жумладан В. Баадер, М.Беккер, Н.Дихтл, В.Дубровскис, К.Зейфрид, Р.Амерханов, Тумченко В.И., Д.Ковалев, В.Павличенко , Чэнь Сун ва Цзысян Сун, Ханс Оушнер, Вайе Лейт, Жонс Мюллер ва бошқалар томонидан илмий изланишлар амалга оширилган бўлиб, органик чиқиндиларни қайта ишловчи биогаз қурилмаларни тадқиқ қилишган ва органик чиқиндиларга кислородсиз муҳитда ишлов беришда ҳарорат режими олинадиган биогаз миқдорида боғлиқлиги ўрганилган.

Республикамизда биогаз олиш қурилмаларини ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш, самарадорлигини ошириш борасида етакчи олимлар Ш.Имомов, Ғ.Узоқов, Б.Раҳматов, У.Эшонқулов, Н.Халилов, М.Султонов томонидан илмий изланишлар олиб борилган. Хусусан, улар томонидан биогаз

олиш қурилмаларини маҳаллий иқлим шароитида самарали ишлатиш, биомассага биореакторнинг ичида қатламли ишлов бериш, биомассани пульсацияли аралаштириш ва поғонали ишлов бериш бўйича илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган.

Кўплаб илмий муваффақиятларга қарамай ҳозирги кунгача Республикамизда мавжуд органик чиқиндиларни қайта ишловчи биогаз қурилмаларининг асосий муаммоларидан бири уларнинг бир маромда узлуксиз ишламаслиги ва назоратга олинмаганлиги, органик чиқиндиларни қайта ишлашда биогаз қурилмаларининг иссиқлик таъминот тизимини такомиллаштириш ва биогаз қурилмалари асосида энергия ишлаб чиқариш тизимларининг энергия самарадорлигини ошириш масалалари етарлича ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтининг 2022-2025 йилларга мўлжалланган илмий-тадқиқот ишлари дастурининг “Қайта тикланувчи энергия манбаларининг нобарқарорлигини ҳисобга олиб гидроэнергетика, шамол энергияси, энергия тежаш тизимлардан биргаликда фойдаланиш асосида кам ўрганилган дарёларни қисмларида комбинацияланган энергетика мажмуаларини яратишнинг илмий ва технологик асосларини тадқиқ қилиш” мавзуси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади иссиқлик таъминоти тизимининг энергия самарадорлигини биогаз-иссиқлик насоси ускунасини қўллаш орқали оширишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

иссиқлик таъминоти тизими учун иссиқлик алмашинув қурилмаси ва иссиқлик насосига кириш ва чиқишидаги иссиқлик ташувчининг ҳароратини аниқлаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

компрессион иссиқлик насоси асосида биогаз қурилмасининг энергия балансини баҳолаш усулини такомиллаштириш;

иссиқлик алмашинув қурилмаси ва иссиқлик насосидан фойдаланган ҳолда иссиқлик таъминоти тизимининг технологик схемасини ишлаб чиқиш;

биогаз-иссиқлик насоси ускунаси асосида иссиқлик таъминоти тизимининг энергия самарадорлигини баҳолаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида иссиқлик таъминоти тизими учун биогаз-иссиқлик насоси ускунаси олинган.

Тадқиқотнинг предмети сифатида биогаз-иссиқлик насоси ускунасини иссиқлик таъминоти тизими учун қўллаш жараёнларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида иссиқлик муҳандислиги назарияси, иссиқлик узатиш жараёнлари, эҳтимоллар назарияси, математик статистика, ҳарорат режимини сақлаш усулларида фойдаланилган

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

иссиқлик таъминоти тизими учун иссиқлик алмашинув қурилмаси ва иссиқлик насосига кириш ва чиқишидаги иссиқлик ташувчининг ҳароратини аниқлаш имконини берувчи алгоритм ишлаб чиқилган;

компрессион иссиқлик насоси асосида биогаз қурилмасининг энергия балансини баҳолаш усули биоўғит аралашмасининг иссиқлик энергиясини қайта тиклаш ҳисобига такомиллаштирилган;

биогаз қурилмаси биоўғит чўкма идишида ҳосил бўлган иссиқлик энергиясининг ҳароратини коаксиал иссиқлик алмашинув қурилмаси ва компрессион иссиқлик насоси асосида ошириш ва иссиқлик таъминоти тизимига узатиш жараёнининг технологик схемаси ишлаб чиқилган;

биогаз-иссиқлик насоси ускунаси асосидаги иссиқлик таъминоти тизимининг энергия самарадорлигини баҳолаш усули қайта ҳосил бўлган иссиқлик энергияси миқдорини ҳисобга олиб такомиллаштирилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилар иборат:

иссиқлик энергиясининг ҳароратини ошириш ва иссиқлик таъминоти тизимига узатиш жараёнининг технологик схемаси ишлаб чиқилган;

иссиқлик таъминоти тизимининг энергия самарадорлигини баҳолаш усули такомиллаштирилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ҳарорат режимини таъминлашнинг замонавий усулларидан фойдаланган ҳолда олинган кўп сонли тажриба натижалари билан асосланади, илмий тажрибаларни ўтказиш ва натижаларни қайта ишлашнинг умум эътироф этилган усуллари қўлланилганлиги, назарий ва тажриба натижаларнинг ўзаро мос келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти иссиқлик энергиясининг ҳароратини ошириш ва иссиқлик таъминоти тизимига узатиш жараёнининг технологик схемаси ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти биогаз қурилмасининг энергия балансини баҳолаш усули такомиллаштирилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Иссиқлик таъминоти тизимининг энергия самарадорлигини биогаз-иссиқлик насоси ускунасини қўллаш орқали ошириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

биогаз-иссиқлик насоси ускунаси асосидаги иссиқлик таъминоти тизимининг технологик схемаси Тошкент вилояти Оққўрғон тумани Маданият МФЙ да жойлашган “Қувват” фермер хўжалигига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлигининг 2024 йил 14 февралдаги 03-11-1004-сон маълумотномаси). Натижада фермер хўжалигини иссиқлик энергияси билан таъминлашга таклиф этилаётган технологик схемадан фойдаланиш ҳисобига йилига 91 110 000 (тўқсон бир миллион бир юз ўн минг) сўм иқтисодий самарадорликка эришилган;

биогаз-иссиқлик насоси ускунаси асосидаги иссиқлик таъминоти тизими энергия самарадорлигини баҳолашнинг такомиллаштирилган усули Тошкент вилояти Оққўрғон тумани Маданият МФЙ да жойлашган “Қувват” фермер

хўжалигига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлигининг 2024 йил 14 февралдаги 03-11-1004-сон маълумотномаси). Натижада қўшимча кунлик 478,45 кВт·соат миқдоридаги иссиқлик энергияси ишлаб чиқаришга эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 4 та илмий-амалий анжуманлар, шу жумладан 2 та халқаро ва 2 та республика анжуманларида апробациядан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 9 та илмий иш, шу жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган журналларда 4 та илмий мақолалар 1 та хорижий ва 3 та маҳаллий илмий журналларда чоп этилган ва 1 та ЭҲМ дастури учун гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 107 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида танланган мавзунинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, уларнинг республика фан ва технологияларини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мувофиқлиги, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти ёритиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган илмий ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Иссиқлик таъминоти тизимларида биогаз ва иссиқлик насоси ускуналарида фойдаланиш жараёнларининг таҳлили”** номли биринчи бобида биогаз қурилмасининг ўз эҳтиёжлари учун энергия харажатлари таҳлили ўтказилди. Бу эса гўннинг намлиги 90÷95% бўлган кислородсиз муҳитда бижғитиш энергия талаб қиладиган жараён бўлиб, уни амалга ошириш учун биогаз энергиясининг катта миқдори сарфланади (биогаз қурилмасида ажраладиган биогазнинг 60% гача ўз эҳтиёжлари учун ишлатилади). Жараёни сақлаш учун энергия сарфини таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, унинг асосий қисми гўнни бижғитиш ҳароратига қадар иситиш учун сарфланади.

Кислородсиз муҳитда бижғитиш жараёнининг интенсивлиги кўп жиҳатдан метан идишдаги ҳарорат режимига боғлиқ. Ҳарорат режимини сақлаш усулларининг схематик кўриниши 1-расмда келтирилган ва биогаз қурилмасининг иссиқлик таъминоти тизимида фойдаланиш учун энг мақули биореактор ичида жойлашган коаксиял иссиқлик алмашинув қурилма тури танланган.

Ҳозирги вақтда биогаз қурилмаларида ҳарорат режимини сақлаш учун турли хил усуллар қўлланилади, уларни 4 гуруҳга бўлиш мумкин

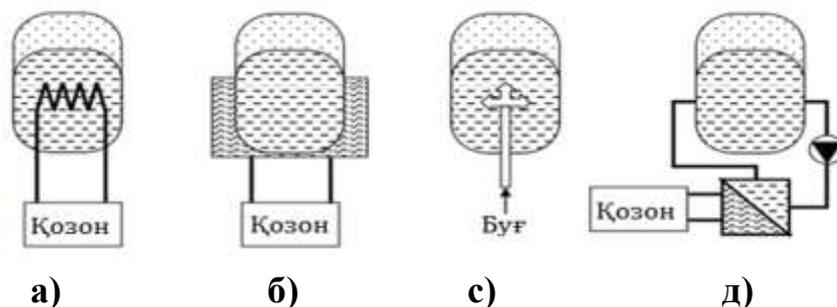
а) метан идиш ичига ўрнатилган иссиқлик алмашинув қурилмалар

ёрдамида иситиш;

б) метан идиш юзаси орқали иситиш;

с) метан идишда гўнгни контактли иситиш;

д) метан идишда гўнгни ташқи иссиқлик алмашинув қурилмалар ёрдамида иситиш.



1-расм. Ҳарорат режимини сақлаш усуллариининг схематик кўриниши

Биогаз қурилмаларининг энергия самарадорлигини оширишнинг мавжуд усуллариининг таҳлили шуни кўрсатдики, биогаз қурилмасининг тижорат маҳсулотларининг кўпайишига эришиш учун иссиқлик энергиясини қайта тиклаш воситаси сифатида компрессион иссиқлик насоси билан иссиқлик таъминоти тизимининг комбинацияланган схемасидан фойдаланиш керак.

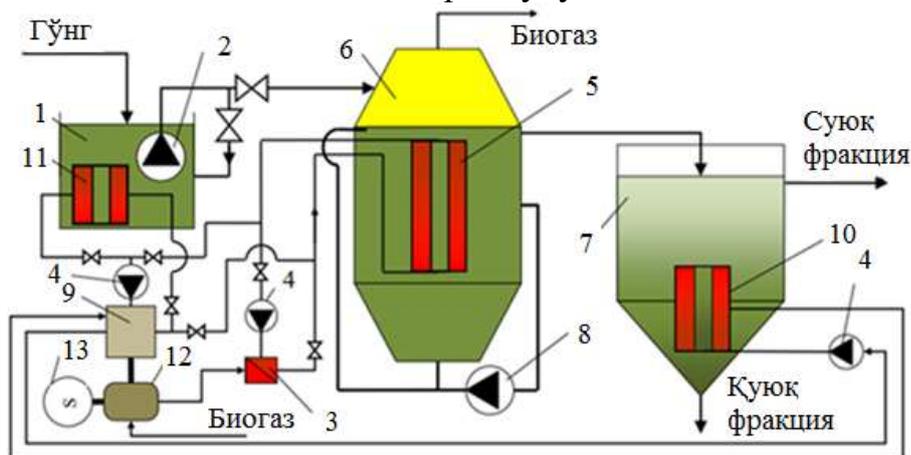
Шунга асосланиб, 2-расмда кўрсатилган биогаз қурилмасини иссиқлик билан таъминлашнинг такомиллаштирилган технологик схемасини таклиф қилдик.

Схемага кўра, биогаз қурилмаси 1- иситиш идиши, унда 11-иссиқлик алмашинув қурилма ўрнатилган; 5-ички иссиқлик алмашинув қурилма 6-биореактор бижғитиш ҳарорати режимини сақлаш ва 7 - биоўғит чўкмаси идишига уланган тушириш мосламалари.

Қишда (декабрдан февралгача) 3-ички ёнув двигателидан иссиқликни қайта тиклаш блокидан олинган иссиқлик 6-биореакторнинг ўраб турган сиртлари орқали иссиқлик йўқотилишини қоплаш учун (9-компрессион иссиқлик насоси фақат гунгни иситиш учун ишлайди) ва ёзда-истеъмолчилар эҳтиёжлари учун ишлатилади.

7-биоўғит чўкма идишида биоўғит аралашмасидан иссиқлик энергиясини олиш учун 10-иссиқлик алмашинув қурилма ўрнатилган. 10-иссиқлик алмашинув қурилма 9-иссиқлик насосининг бўғлатгичига қувурлар орқали уланади. 9-иссиқлик насосининг бўғлатгичида, тайёрланган сув ва паст потенциал совутгич ўртасида иссиқлик алмашинуви содир бўлади, бу 9-иссиқлик насоси компрессоридаги энергия потенциалини оширгандан сўнг, 9-иссиқлик насосининг конденсаторига юборилади. 1-иситиш идишида жойлашган 11-иссиқлик алмашинув қурилма 9-иссиқлик насосининг конденсаторига қувурлар орқали уланган. 9-иссиқлик насосининг конденсаторида, юқори потенциал совутгич ва тайёрланган сув ўртасида иссиқлик алмашинуви содир бўлади, сўнгра 11-иссиқлик алмашинув қурилмага, 1- иситиш идишида жойлашган, бу ерда тайёрланган сув ва гунг ўртасида иссиқлик алмашинуви содир бўлади. Бунинг натижасида гунг бижғитиш жараёнининг иш ҳароратига қадар иситилади ва навбат билан 6-биореакторга берилади. Барча ишлаб

чиқарилган биогаз 12-ички ёнув двигателида 13-электр генераторини ва 9-компрессион иссиқлик насосини бошқариш учун ишлатилади.



2-расм. Биогаз қурилмасининг иссиқлик таъминоти тизимининг технологик схемаси

1-иситиш идиши; 2-айланма насоси; 3-ички ёнув двигателидан иссиқликни қайта тиклаш блоки; 4-иссиқлик ташувчи айланма насоси; 5-биореактор иссиқлик алмашинув қурилмаси; 6-кислородсиз муҳитли биореактор; 7-биоўғит чўкма идиши; 8-гўнг аралаштириш насоси; 9-компрессион иссиқлик насоси; 10-иссиқлик алмашинув қурилма; 11-иссиқлик алмашинув қурилма; 12-ички ёнув двигатели; 13-электр генератори.

Биогазда ишлайдиган ички ёнув двигателидан тўғридан-тўғри бошқариладиган иссиқлик насосининг биогаз қурилмасининг иссиқлик таъминоти тизимига қайта тиклаш воситаси сифатида компрессион иссиқлик насосининг киритилиши ўз эҳтиёжлари учун энергия харажатларини тўлиқ қоплайди ва натижада биогаз қурилмасидан биогаз олишда тижорат маҳсулотларининг кўпайишига эришилади.

Биогаз қурилмалари учун бундай технологик иссиқлик таъминоти схемасидан фойдаланиш тажрибаси аҳамиятсиз ва тавсия этилган турдаги иссиқлик алмашинув қурилмада, ҳам ламинар, ҳам турбулент режимларда гўнгнинг иссиқлик алмашинуви соҳасида тадқиқотларни талаб қилади.

Масаланинг юқоридаги ҳолатидан келиб чиқиб, назарий ва экспериментал тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгиланди ҳамда ҳимояга тақдим этилган диссертациянинг асосий қоидалари шакллантирилди.

Диссертациянинг **“Иссиқлик таъминоти тизими учун биогаз- иссиқлик насоси ускунасидан фойдаланишнинг назарий асослари”** номли иккинчи бобида иссиқлик насосини ишлашининг назарий тамойилларини, биогаз қурилмасининг таклиф этилаётган иссиқлик таъминоти тизимидан фойдаланишнинг назарий шартларини кўриб чиқади ва иссиқлик алмашинув қурилма ва иссиқлик насосининг параметрларини танлаш орқали ҳисоблаш алгоритмининг ишлаб чиқиш.

Шунга кўра, иссиқлик насосининг турли хил фреонларини қиёсий баҳолаш амалга оширилди ва биогаз қурилмасининг энергия баланси аниқланди, унга

кўра биогаз қурилмасида самарали энергия ишлаб чиқариш фақат ишлаб чиқарилган биогазнинг умумий энергияси уни ишлаб чиқариш учун энергия сарфидан сезиларли даражада ошиб кетганда қўйидаги 1-ифода ўринли, яъни шарт бажарилиши керак

$$\frac{V_r \cdot \lambda}{(E_{\dot{y}\dot{z}}/\eta_{\dot{y}\dot{z}} + Q_{\dot{y}\dot{z}}/\eta_{\text{из}}) \cdot 3600} \gg 1 \quad (1)$$

бу ерда: V_r - ишлаб чиқарилган биогазнинг умумий миқдори, м³/кун;

λ - биогазнинг иссиқлик қиймати, кДж/ м³;

$E_{\dot{y}\dot{z}}$ - биогаз қурилмасининг ўз эҳтиёжлари учун электр энергияси истеъмоли, кВт·соат;

$\eta_{\dot{y}\dot{z}}$ - биогаз энергиясини электр энергиясига айлантириш самарадорлиги;

$Q_{\dot{y}\dot{z}}$ - биогаз қурилмасининг ўз эҳтиёжлари учун иссиқлик энергияси истеъмоли, кВт·соат;

$\eta_{\text{из}}$ - биогаз энергиясини иссиқлик энергиясига айлантириш самарадорлиги.

Ишлаб чиқарилган (БК нинг ўз эҳтиёжлари учун фойдаланилмайдиган) биогаз миқдори қуйидагича ифодаланиши мумкин, м³/кун.

$$V_T = V_r - \frac{E_{\dot{y}\dot{z}}/\eta_{\dot{y}\dot{z}} + Q_{\text{сн}}/\eta_{\text{из}}}{\lambda} \cdot 3600 \quad (2)$$

Биогаз қурилмасининг ўз эҳтиёжлари учун иссиқлик энергияси истеъмоли қуйидагиларга тенг:

$$Q_{\dot{y}\dot{z}} = Q_{\Gamma} + Q_{\text{и}} - Q_{\text{к,т}} \quad (3)$$

бу ерда: Q_{Γ} -гўнгни бижғитиш жараёни ҳароратига қадар иситиш учун энергия сарфи, кВт·соат;

$Q_{\text{и}}$ -ўраб турган тузилмалар ва қувурлардан иссиқлик исрофини қоплаш учун кунлик энергия сарфи, кВт·соат;

$Q_{\text{к,т}}$ - қайта тикланган энергия миқдори, кВт·соат

Гўнгни иситиш учун иссиқлик сарфи қуйидагича аниқланади, кВт·соат

$$Q_{\Gamma} = \frac{C_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot V_{\Gamma} \cdot (T_{\Gamma} - T_1) \cdot n}{24 \cdot 3600} \quad (4)$$

бу ерда: C_{Γ} - гўнгнинг иссиқлик сифими, кДж/(кг·°С);

ρ_{Γ} -гўнг зичлиги, кг/м³;

V_{Γ} - кунлик юклаш дозаси, м³/кун;

T_{Γ} - гўнгнинг охирги иситиш ҳарорати, °С;

T_1 -гўнгнинг бошланғич ҳарорати °С;

n -иссиқлик насосининг кунлик иш соатлари сони, соат/кун;

Биореакторнинг ўраб турган сиртлари орқали ўртача йиллик ташқи ҳаво ҳароратида иссиқлик исрофини қоплаш учун зарур бўлган ўртача кунлик иссиқлик сарфи ,кВт·соат:

$$Q_K = k \cdot F (T_{\Gamma} - T_x) \cdot 10^{-3} \cdot 24 \quad (5)$$

бу ерда: k -иссиқлик узатиш коэффиценти, Вт/м²К;

F -биореакторнинг ўраб турган майдонларнинг юзаси, м²;

T_{Γ} -биореактордаги гўнг ҳарорати, °С;

T_x -ташқи ҳаво ҳарорати, °С;

Биоўғитнинг паст потенциал иссиқлигининг максимал кунлик миқдори ,кВт:

$$Q_{\text{биоў.}}^{\text{max}} = \frac{C_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot V_{\Gamma} \cdot (T_{\Gamma} - T_{\text{бў min}}) \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 3600} \quad (6)$$

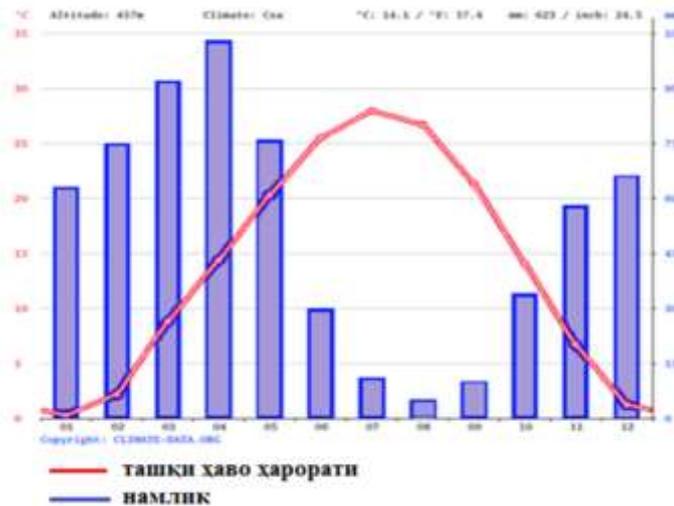
бу ерда: $T_{\text{бў min}}$ - қолдиқ газ чиқишини тўхтатиш учун зарур бўлган чўкма ичидаги биоўғит ҳарорат $^{\circ}\text{C}$.

Қайта тикланган иссиқликнинг ўртача кунлик миқдори, кВт·соат:

$$0 \leq Q_{\text{Қ.Т}} < Q_{\text{биоў.}}^{\text{max}} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \right) \cdot n \quad (7)$$

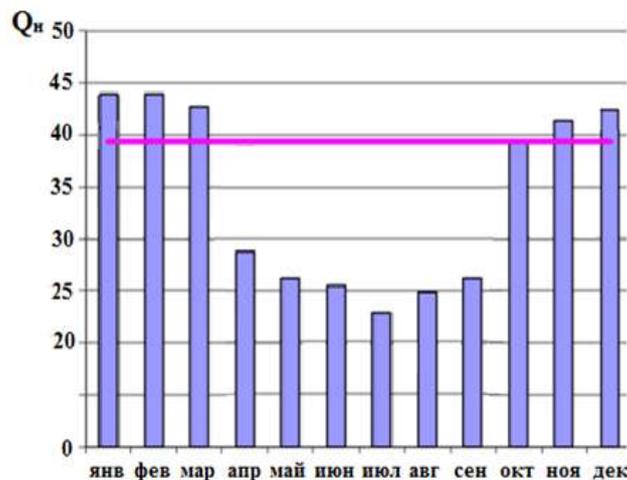
бу ерда: ε -иссиқлик насоси компрессорининг изентропик ва механик самарадорлигини ҳисобга олган ҳолда иссиқлик насосининг айлантириш коэффициентини. Бундан келиб чиқадики, қайта тикланадиган энергия миқдори иссиқлик насосининг конвертация коэффициентига боғлиқ.

Қўйида келтирилган 3-расмда Тошкент вилояти бўйича йил давомида ташқи ҳаво ҳарорат ва намлик ўзгариши кўрсатилган.

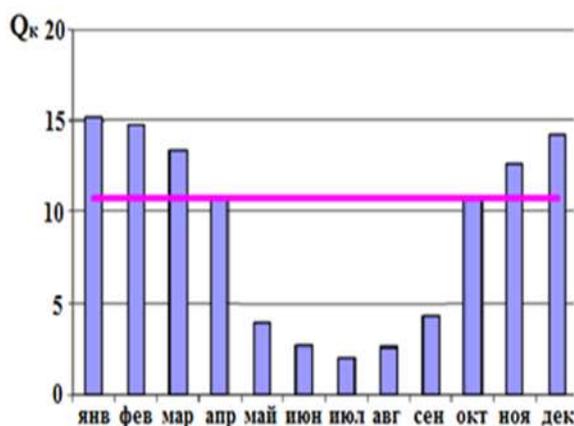


3-расм. Тошкент вилояти бўйича йил давомида ташқи ҳаво ҳарорат ва намлик ўзгариши

Тошкент вилоятида жойлашган биогаз қурилмасининг ҳисоблашлар асосида ўз эҳтиёжлари таркибий қисмларининг йил давомида ўзгариши 4- ва 5-расмларда кўрсатилган.



4-расм. Йил давомида 1м³ органик чиқиндиларни кунлик юклаш дозасини иситиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдорини ўзгариши



5-расм. Йил давомида ўраб турган тузилмалар ва қувурларидан иссиқлик исрофларини қоплаш учун зарур бўлган иссиқлик миқдорининг ўзгариши

Биогаз қурилмалари иссиқлик таъминоти тизимининг иссиқлик алмашинув қурилмалари ва компрессион иссиқлик насосининг параметрларини моделлаштиришдан мақсад биогаз қурилмасининг турли хил иш ҳарорат режимлари, иссиқлик алмашинув қурилмалар ва компрессорнинг параметрлари, кунлик юклаш дозалари ва қайта ишланган гўнг ва иссиқлик ташувчининг физик хусусиятларига нисбатан баҳолашдир.

Иссиқлик насоси компрессорининг минимал қувватини, иситиш идишида ва чўкма идишда жойлашган иссиқлик алмашинув қурилмаларнинг юзасини аниқлаш учун асосий ҳисоблаш боғлиқликлари.

$$N_k = f(\text{параметрлар}) \quad (8)$$

$$F_{\text{ии иа}} = f(\text{параметрлар}) \quad (9)$$

$$F_{\text{бчи иа}} = f(\text{параметрлар}) \quad (10)$$

Компрессорнинг ҳисобланган минимал қуввати турли параметрларга боғлиқ, жумладан иссиқли ташувчининг физик хусусиятлари, биореактор юкланишининг кунлик дозасига, кислородсиз муҳитда бижғитиш жараёнининг ҳароратига, иситиш идишида аралаштириш насосини етказиб беришга (биореакторнинг юклаш насоси) айланма насосларни етказиб беришга, иссиқлик ташувчиларига, иситиш ва чўкма идишида жойлашган иссиқлик алмашинув қурилмалар турига ва гунгнинг физик хусусиятларига.

Бу ҳолда иккинчи асосий ҳисобланган боғлиқликлар қуйидагича бўлади:

$$F_{\text{ии иа}} = \frac{Q_n}{k_{\text{ии иа}} \cdot \Delta t_1} \quad (11)$$

бу ерда $F_{\text{ии иа}}$ -иситиш идиши иссиқлик алмашинув қурилмасининг юзаси, м²
 $k_{\text{ии иа}}$ - иситиш идиши иссиқлик алмашинув қурилмасининг иссиқлик узатиш коэффициентини, Вт/м² К;
 Δt_1 - иситиш идиши иссиқлик алмашинув қурилмасининг ўртача ҳароратлар фарқи, °С.

Бу ҳолда учинчи асосий ҳисобланган боғлиқлик қуйидагича бўлади:

$$F_{\text{бчи иа}} = \frac{Q_o}{k_{\text{бчи иа}} \cdot \Delta t_2} \quad (12)$$

бу ерда $F_{\text{бчи иа}}$ - биоўғит чўкма идишининг иссиқлик алмашинув қурилма юзаси, м²;

$k_{бчи\ иа}$ -биоўғит чўкма идиши иссиқлик алмашинув қурилмаининг иссиқлик узатиш коэффициенти, Вт/м² К;

Δt_2 - биоўғит чўкма идиши иссиқлик алмашинув қурилмасининг ўртача ҳароратлар фарқи, °С

Иссиқлик балансидан:

$$Q_0 = Q_H - N_k + Q_{иср1} + Q_{иср2} + Q_k \quad (13)$$

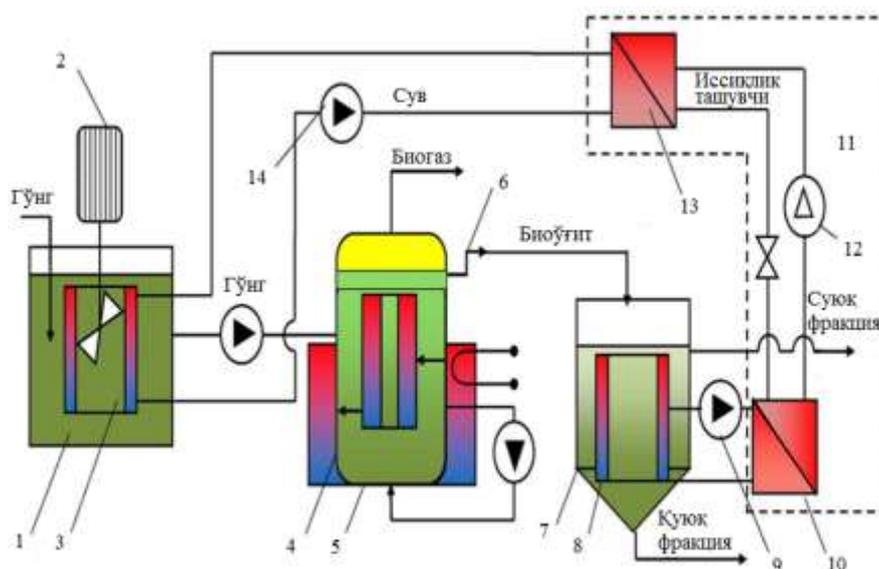
бу ерда $Q_{иср}$ - қувурлардан атроф-муҳитга иссиқлик исрофи, Вт.

Q_k -биореакторнинг ўраб турган юзаларидан атроф-муҳитга иссиқлик исрофини қоплаш учун ишлатиладиган иссиқлик, Вт.

Шундай қилиб, берилган боғлиқликлардан фойдаланиш учун паст потенциалли иссиқлигининг максимал кунлик миқдори ва унга мос келадиган биогазнинг солиштирма ишлаб чиқарувчанлигининг рақамли қийматларини экспериментал равишда аниқлаш керак.

Диссертациянинг **“Иссиқлик таъминоти тизимида биогаз-иссиқлик насоси ускунасини қўллаш асосида тажриба тадқиқотларини ўтказиш”** номли учинчи бобида назарий тадқиқотлар мақсадларига мувофиқ дастур, тадқиқот методикаси ва зарур тадқиқотлар олиб бориладиган экспериментал қурилма ишлаб чиқилди.

Гунгнинг паст потенциал иссиқлиғни ва максимал кунлик миқдорини аниқлаш бўйича 6-расмда кўрсатилган схема бўйича тажрибалар ўтказилди.



6-расм. Экспериментал биогаз қурилмасининг технологик схемаси

1-иситиш идиши; 2-механик пичоқли аралаштиргич; 3-гунгни иситиш учун иссиқлик алмашинув қурилма; 4-биореактор; 5-биореактор иссиқлигини сақлаш қопламаси; 6-биоўғит тушириш мосламаси; 7-биоўғит чўкмаси идиши; 8-биоўғит иссиқлик алмашинув қурилмаси; 9-иссиқлик ташувчини айланттирувчи насос; 10-иссиқлик насоси буғлатгичи; 11-компрессион иссиқлик насоси; 12-иссиқлик насоси компрессори; 13-иссиқлик насоси конденсатори; 14-иссиқлик ташувчини айланттирувчи насос.

Ҳар бир эксперимент учун иссиқлик насосининг иссиқлик алмашинув қурилмаларидаги иссиқлик юкламаси, иссиқлик насосининг айланттириш

коэффициенти қийматлари 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Иссиқлик насосининг экспериментлари натижалари

Кўрсаткичлар	№1	№2	№3	№4	№5
Буғлатгич иссиқлик юкламаси $Q_{буғ}$, кДж/кг	242,78	244,88	247,36	239,51	243,32
Конденсатор иссиқлик юкламаси Q_k , кДж/кг	350,78	352,88	355,36	347,51	351,32
Иситгич иссиқлик юкламаси $Q_{ист}$, кДж/кг	87,48	87,48	87,48	87,48	87,48
Иссиқлик насосининг айлантириш коэффициенти (COP)	4,38	4,40	4,43	4,35	4,39

Иссиқлик узатиш коэффициентларининг қийматлари ҳар бир экспериментда деярли ўзгармас бўлади, чунки иссиқлик алмашинув қурилмаларнинг ўлчамлари ва материаллари, шунингдек иссиқлик ташувчиларнинг оқим тезлиги ўзгармаган. Бироқ, иссиқлик ташувчиларнинг ҳарорати ўзгариши билан уларнинг физик хусусиятлари ўзгаради, бу мезонларга боғлиқлик ва иссиқлик узатиш коэффициентларининг қийматларига таъсир қилади. Иссиқлик узатиш коэффициентларининг қийматлари 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

Иссиқлик узатиш коэффициентлари

Кўрсаткичлар	№1	№2	№3	№4	Ўртача қийматлар
Иситиш идишидаги ички иситгич, Вт/м ² К	932,10	913,42	922,01	899,54	916,46
Иситиш идишидаги ташқи иситгич, Вт/м ² К	712,54	697,97	705,22	687,90	700,58
Чўкма идишдаги ички иссиқлик ташувчи, Вт/м ² К	299,04	310,40	330,06	343,08	320,18
Чўкма идишдаги ташқи иссиқлик ташувчи, Вт/м ² К	186,35	192,30	204,03	212,92	197,88

3-жадвал

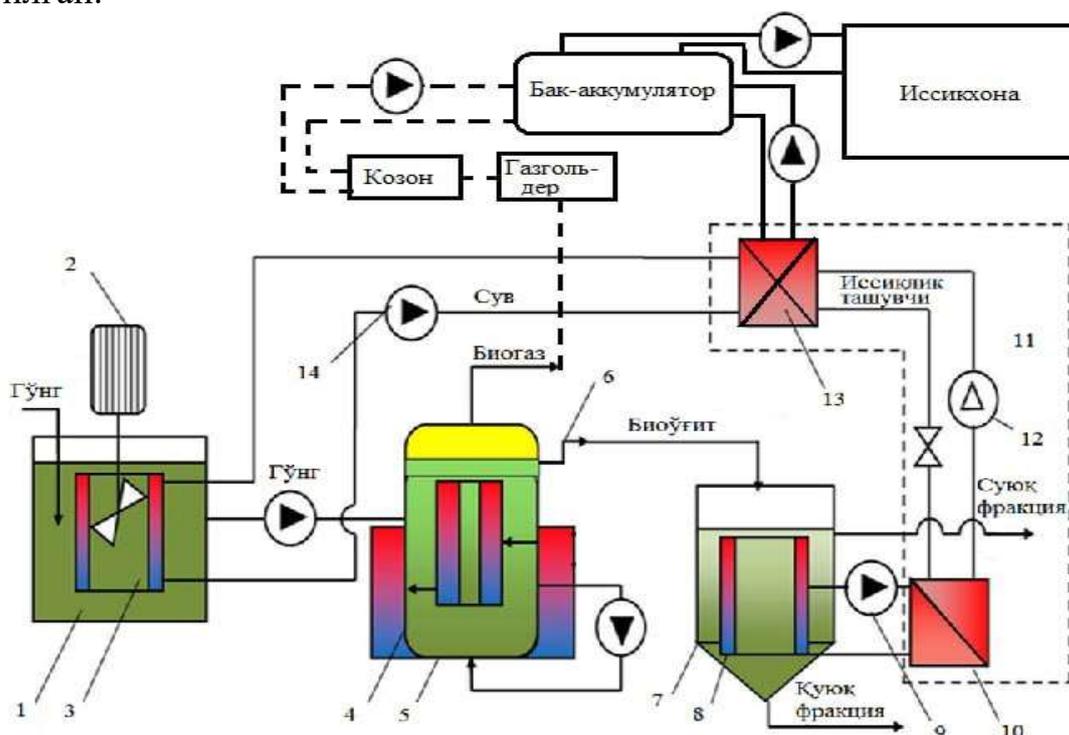
Биоўғитнинг паст потенциалли иссиқлиги ва қайта тикланадиган иссиқлик миқдорлари

Кўрсаткичлар	№1	№2	№3	№4	Ўртача қийматлар
Биоўғитнинг максимал кунлик иссиқлик миқдори, $Q_{биоў}^{max}$, кВт·соат	0,31	0,24	0,35	0,28	0,29
Қайта тикланадиган иссиқлик миқдори, Q_p , кВт·соат	0,39	0,30	0,44	0,35	0,37
Ҳисобланган қайта тикланадиган иссиқлик миқдори, кВт·соат	0,41	0,31	0,46	0,37	0,39

Олинган маълумотлардан кўришиб турибдики, қайта тикланган иссиқлик миқдорининг қийматлари (7) формула билан тасдиқланган гунг иссиқлигининг максимал кунлик миқдоридан каттароқдир.

Қайта тикланган иссиқлик миқдорининг экспериментал равишда аниқланган қийматларининг ҳисобланган қийматларидан ўртача оғиши 6% дан ошмайди.

Шу билан бирга биогаз қурилмаси биоўғит чўкма идишида ҳосил бўлган иссиқлик энергиясининг ҳароратини коаксиал иссиқлик алмашинув қурилмаси ва компрессион иссиқлик насоси асосида ошириш ва иссиқлик таъминоти тизимига узатиш жараёнининг технологик схемаси ишлаб чиқилган ва 7-расмда кўрсатилган.



7-расм. Биогаз қурилмаси биоўғит чўкма идишида ҳосил бўлган иссиқлик энергиясининг ҳароратини коаксиал иссиқлик алмашинув қурилмаси ва компрессион иссиқлик насоси асосида ошириш ва иссиқлик таъминоти тизимига узатиш жараёнининг технологик схемаси

Иссиқхона ишлаб чиқариши - бу замонавий қишлоқ хўжалигининг самарали ва фаол ривожланаётган тармоғи бўлиб, очик ердан маҳсулотлар олинмаса, мавсумдан ташқари сабзавот ва кўкатларни етиштириш учун ушбу турдаги қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини йилнинг совуқ мавсум учун иссиқхоналардан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Иссиқхоналарда сабзавотлар ҳосилини йиғиб олиш кўп жиҳатдан профилактика ва тайёргарлик ишлари ўз вақтида ва юқори сифатли амалга оширилиши, зарур ускуналар, ишлаб чиқариш воситалари ва материаллар билан жиҳозланишига боғлиқ.

Ишлаб чиқиладиган тизим қишлоқ хўжалигида ёпиқ ер иншоотлари ва иссиқлик энергетикаси билан боғлиқ.



8-расм. Иссиқхонага иссиқлик энергиясини узатиш учун биогаз-иссиқлик насоси ускунасидан фойдаланишнинг ҳалқали иссиқлик таъминот тизими схемаси

Иссиқхонани иссиқлик энергияси билан таъминлаш учун иссиқлик насоси ўрнатилган биогаз қурилмасида ортиқча иссиқликни тўплаш самарадорлигини аниқлаш бўйича тажриба натижалари олинган ва 4-жадвалда келтирилган.

4-жадвал

Ортиқча иссиқликни тўплаш самарадорлигини аниқлаш бўйича тажриба натижалари.

Вақт, мин	0	10	20	30	40	50	60
Бак-аккумуляторнинг юқори қатламларнинг ҳарорати, °С	21	22	26	27	26	25	23
Бак-аккумуляторнинг пастки қатламларнинг ҳарорати, °С	21	22	23	23	24	23	23
Аралашмадан кейинги ҳарорат, °С	21	22	23	23	24	23	23
Иссиқхонадаги ҳарорат, °С	16	21	27	29	28	24	21
	иситиш				Совутиш		
Аралашма тутқичининг ҳолати, %.	Иссиқ 0% совуқ 100%						

Тажриба шуни кўрсатадики, иссиқхонадаги энг юқори ҳаво ҳароратини 15% га камайтириш кундузи юқори қуёш фаоллиги билан ўсимликларнинг қизиб кетишининг олдини олади ва микроклимни тартибга солишнинг мавжуд усуллари билан йўқолган ортиқча иссиқлик 70% гача тўпланади.

Диссертациянинг **“Иссиқлик таъминоти тизимига иссиқлик энергиясини узатиш учун биогаз-иссиқлик насоси ускунасидан фойдаланишнинг энергия ва иқтисодий самарадорлигини баҳолаш”** деб номланган тўртинчи бобида биогаз ишлаб чиқаришнинг технологик схемаларини таҳлил қилишнинг термодинамик ва эксергия усуллари билан фойдаланиб схеманинг асосий аппарати метан идиш, шунинг учун унинг

иссиқлик ва эксергия самарадорлигини ва биоўғит аралашмасининг иссиқлигини қайта тиклаш билан биогаз қурилмасининг иссиқлик самарадорлиги ҳисобланди. Иссиқлик таҳлили метан идишда бижғитиш жараёни технологиясининг энергия самарадорлигини баҳолаш учун етарли эмас. Иссиқлик йўқотишларининг эксергетик таҳлили иссиқлик балансини тўлдиради, бу эса технологик схемада энергия йўқотишларининг сифатли куринишини аниқроқ баҳолашга имкон беради.

Анъанавий биогаз қурилмасининг энергия самарадорлиги 42% ни, иссиқлик насоси орқали биоўғит аралашмасининг иссиқлик энергиясини қайта тиклайдиган биогаз қурилмасининг энергия самарадорлиги эса 48% ни ташкил этиши аниқланган. Анъанавий биогаз қурилмаси ва иссиқлик насоси билан биоўғит аралашмасининг иссиқликни қайта тиклайдиган биогаз қурилмасининг техник-иқтисодий кўрсаткичлар таққосланди ва 5-жадвалда келтирилди.

5-жадвал

Якуний техник-иқтисодий кўрсаткичлар

№ т/р	Кўрсаткичлар номи	Шартли белгилар	I вариант, минг.сўм	II вариант, минг.сўм
1	Капитал харажатлар К, сўм	$K_{хар}$	244 500	329 100
1.1	Қурилиш учун капитал қўйилмалар	$K_{қ}$	199 500	284 100
1.2	Бошқа бир марталик харажатлар	$K_{б}$	45 000	45 000
2	Ишлаётган вақтдаги сарф харажатлар	$\mathcal{E}_{хар}$	80 518	74 979
2.1	Амортизация ажратмалари ($K_{хар}$ дан 0,15), сўм	$\mathcal{Z}_{ам}$	36 675	49 365
2.2	Таъмирлаш фондига ажратмалар ($K_{хар}$ дан 0,08), сўм	$\mathcal{Z}_{т}$	19 560	23 314
2.3	Электр энергия харажатлари, сўм/йил	$\mathcal{Z}_{эл}$	-	2 300
3	Энергия иқтисодий самарадорлиги	\mathcal{E}_1	30 135	79 856
4	Агробио иқтисодий самарадорлиги	\mathcal{E}_2	1 642 500	1 762 950
5	Якуний самарадорлиги	$\mathcal{E}_{йил}$	1 672 635	1 842 806
6	Йиллик иқтисодий самарадорлиги	$\mathcal{Y}_{сам}$	1 347 617	1 438 727

Чорвачилик фермаларини газ билан таъминлаш учун ишлаб чиқилган биогаз қурилмасини жорий этишнинг йиллик иқтисодий самараси йиллик эксплуатация харажатларини ҳисобга олган ҳолда белгиланади.

Биореактор ҳажми 100 м³ бўлган биогаз қурилмасини жорий этиш самарадорлигини ҳисоблаш натижалари 5-жадвалда келтирилган. Иссиқлик насоси ёрдамида биоўғит аралашмасининг иссиқлик энергиясини қайта тиклашнинг йиллик иқтисодий самарадорлиги қуйидагича.

$$\mathcal{Y}_{сам} = \mathcal{Y}_{сам}^{II} - \mathcal{Y}_{сам}^I = 1\,438\,727 - 1\,347\,617 = 91\,110 \text{ минг сўм}$$

Биогаз-иссиқлик насоси ускунаси асосидаги иссиқлик таъминоти тизимининг технологик схемаси “Қувват” фермер хўжалигига жорий этилди.

Натижада фермер хўжалигини иссиқлик энергияси билан таъминлашга таклиф этилаётган технологик схемадан фойдаланиш ҳисобига йилига 91 110 000

(тўқсон бир миллион бир юз ўн минг) сўм иқтисодий самарадорликка эришилди.

ХУЛОСА

“Иссиқлик таъминоти тизими учун самарали биогаз-иссиқлик насоси ускунаси” мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Иссиқлик энергиясини қайта тиклаш воситаси сифатида иссиқлик насосидан фойдаланган ҳолда иссиқлик таъминоти тизими таркибий қисмларининг параметрларини аниқлаш бўйича назарий тадқиқотлар ўтказилган. Натижада иссиқлик таъминоти тизими учун иссиқлик алмашинув қурилмаси ва иссиқлик насосига кириш ва чиқишидаги иссиқлик ташувчининг ҳароратини аниқлаш имконини берувчи алгоритм ишлаб чиқилган.

2. Биогаз қурилмаси ва компрессион иссиқлик насоси ёрдамида биоўғит аралашмасининг иссиқлик энергиясини қайта тиклаш бўйича назарий тадқиқотлар олиб борилган. Натижада компрессион иссиқлик насоси асосида биогаз қурилмасининг энергия балансини баҳолаш усули биоўғит аралашмасининг иссиқлик энергиясини қайта тиклаш ҳисобига такомиллаштирилган.

3. Биогаз қурилмаси энергия балансини баҳолашнинг такомиллаштирилган усули ёрдамида ҳисоблаш ишлари амалга оширилган. Натижада биоўғит аралашмасининг максимал кунлик иссиқлик энергияси миқдори 0,35 кВт·соат, иситиш тезлиги 0,49 °С/дақ ва қайта тикланган иссиқлик энергияси миқдори кунига 0,44 кВт·соат эканлиги аниқланган.

4. Биогаз қурилмаси биоўғит чўкма идишида ҳосил бўлган иссиқлик энергиясининг ҳароратини коаксиал иссиқлик алмашинув қурилмаси ва компрессион иссиқлик насоси асосида ошириш ва иссиқлик таъминоти тизимига узатиш жараёнининг технологик схемаси ишлаб чиқилган ва жорий этилган. Натижада кунига 543,69 кВт·соат миқдордаги иссиқлик энергиясини олишга эришилган.

5. Биогаз-иссиқлик насоси ускунаси асосидаги иссиқлик таъминоти тизимининг энергия самарадорлигини баҳолаш усули қайта ҳосил бўлган иссиқлик энергияси миқдорини ҳисобга олиб такомиллаштирилган. Натижада иссиқлик таъминоти тизимининг энергия самарадорлигини биогаз-иссиқлик насоси ускунасини қўллаш орқали 6 % гача оширишга эришилган.

6. Биогаз-иссиқлик насоси ускунаси асосидаги иссиқлик таъминоти тизимининг технологик схемаси Тошкент вилояти Оққўрғон тумани Маданият МФЙ да жойлашган “Қувват” фермер хўжалигига жорий этилган. Натижада фермер хўжалигини иссиқлик энергияси билан таъминлашга таклиф этилаётган технологик схемадан фойдаланиш ҳисобига йиллик 91 110 000 (тўқсон бир миллион бир юз ўн минг) сўм иқтисодий самарадорликка эришилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ДОКТОРА НАУК DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 ПРИ ИНСТИТУТЕ
ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

КОРАКУЛОВ АСЛИДДИН НУРИДДИНОВИЧ

**ЭФФЕКТИВНОЕ БИОГАЗОВОЕ ТЕПЛОНАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

05.05.01 – Энергетические системы и комплексы

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2022.1.PhD /T2672.

Диссертация выполнена в Институте проблем энергетики Академии Наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации размещён на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) на сайте Научного совета (www.energetika.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель: **Анарбаев Анвар Изатуллаевич**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты: **Кодиров Дилшод Ботирович**
доктор технических наук, профессор
Эшкуватов Лутфулла Мурадуллаевич
доктор философии по техническим наукам, доцент

Ведущая организация: **Каршинский государственный технический университет**

Защита диссертации состоится на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2021.T.143.01 при Институте проблем энергетики АН РУз в 2025 г. « ____ » _____ в ____ часов. (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 40. Тел.: (+99855) 520-01-52, e-mail: energetika_in@umail.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Института проблем энергетики АН РУз (зарегистрирован под номером ____). (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 40. Тел.: (+99855) 520-01-52).

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2025 года.

(реестр протокола рассылки № ____ от « ____ » _____ 2025 года).

Х.М. Муратов

Председатель научного совета по присуждению ученой степени, доктор технических наук, профессор

Ж.Н. Толипов

Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, доктора философии (PhD) по техническим наукам, старший научный сотрудник.

О.Х. Ишназаров

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученой степени, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертационной работы. В мире расширяется использование возобновляемых источников энергии. При этом для экономии топливно-энергетических ресурсов технологии производства биогаза занимают одно из ведущих мест в получении альтернативного топлива из органических отходов относительно использования устройств на основе возобновляемых источников энергии. В последние годы 28% энергии, производимой в мировом масштабе, приходится на долю возобновляемых источников энергии, а 10% ее составляет альтернативное топливо, полученное из биомассы¹, что требует усовершенствования внедряемых устройств для извлечения биогаза из отходов. В связи с этим важно использовать усовершенствованные установки получения альтернативного топлива при производстве биогаза из органических отходов.

В мире и в республике проводятся научные исследования, направленные на совершенствование процессов и устройств получения альтернативного топлива из органических отходов на основе биогазовых технологий. В этом направлении в биогазовых установках по переработке (утилизации) органических отходов исследования по совершенствованию биогазовых устройств являются приоритетными. Поэтому повышение эффективности получения биогаза и биоудобрений в результате переработки органических отходов в бескислородной среде особое внимание уделено обоснованию параметров биогазовой установки.

В нашей республике принимаются комплексные меры по повышению эффективности биогазовых установок, расширению возможностей использования энергии биомассы, внедрению усовершенствованных устройств добычи биогаза на основе энергосберегающих технологий и достигнуты определенные результаты. В Законе Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии», принятом 21 мая 2019 года, «...укрепление энергетической безопасности страны, диверсификация части топливно-энергетического баланса для производства электроэнергии, тепловая энергия и биогаз с использованием возобновляемых источников энергии...»² ставится в качестве приоритетной задачи. При реализации этих задач, в частности, важное внимание уделяется созданию и модернизации энергетических объектов на основе возобновляемых источников энергии, включая научно-технические решения, направленные на разработку методов и устройств обработки в анаэробной среде без снижения их качества, с учетом глобальных изменений климата.

Указ Президента Республики Узбекистан №ПФ-60 от 28 января 2022 года ставит целью бесперебойное обеспечение экономики электроэнергией и активном внедрении технологий «Зеленой экономики» во все отрасли, повышении энергоэффективности экономики на 20%. Данное диссертационное

¹<https://yearbook.enerdata.ru/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>

²<https://lex.uz/ru/docs/4346831>

исследование служит в определенной степени реализации задач, определенных в следующих нормативно-правовых документах, относящихся к данной деятельности: «Стратегия развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», № PQ-4422 от 22 августа 2019 года «Экономические отрасли и социальная сфера» «Об срочных мероприятиях по повышению энергоэффективности, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», Закон от 22 мая 2019 года «Об использовании возобновляемых источников энергии» и Постановление Кабинета Министров №343 от 25 ноября 2015 года «О мерах по стимулированию строительства биогазовых установок в животноводческих хозяйствах и птицефабриках республики».

Соответствие исследования перспективным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан 2. «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

Степень изученности проблемы. Переработка биогаза и органических отходов на установках биогазового производства, в частности, исследования по составу органических отходов и их переработке для получения биогаза и биоудобрений проводятся в ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, в том числе в Федеральном университете (США), Университете Оффенбурга (Германия), Украинском технико экологическом центре (Украина), Университете Альберта (Канада), «Гиза» (Италия), Московском энергетическом институте и Санкт-Петербургском государственном политехническом университете (Россия). В Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова, в Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (Узбекистан) проводятся научные исследования в данной области.

Ряд зарубежных ученых изучали вопросы переработки органических отходов и получения биогаза и биоудобрений с помощью возобновляемых источников энергии, в том числе В. Баадер, М. Беккер, Н. Дихтль, В. Дубровскис, К. Зейфрид, Р. Амерханов, Тумченко В.И., Д.Ковалёв, В.Павличенко, Чэнь Сунь и Цзысянь Сунь. Ханс Оушнер, Уэй Лейт, Джонс Мюллер и другие провели научные исследования по биогазовым установкам для переработки органических отходов и очистки органических отходов в бескислородной среде, проводили исследования зависимости температурного режима от количества биогаза, получаемого при переработке отходов.

Ведущие ученые Ш.Имомов, Ғ.Узоков, Б.Рахматов, У.Эшонкулов, Н.Халилов, М.Султонов провели в нашей республике научные исследования по разработке и совершенствованию установок для извлечения биогаза, повышению их эффективности. В частности, ими проводились научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по эффективному использованию установок извлечения биогаза в местных климатических

условиях, послышной переработке биомассы в биореакторе, пульсирующему перемешиванию биомассы и ступенчатой переработке.

Несмотря на многие научные успехи, одной из основных проблем биогазовых установок, перерабатывающих органические отходы в нашей Республике, является то, что они не работают непрерывно в течение года и не управляются для решения вопросов совершенствования эффективности системы теплоснабжения биогазовых установок по переработке органических отходов и повышения производительности. Энергоэффективность систем производства энергии на базе биогазовых установок недостаточно изучена.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование в рамках программы научно-исследовательских работ Института проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан на 2022-2025 годы «Исследование научных технологических основ создания комбинированных энергокомплексов на участках малоизученных рек на основе совместного использования гидроэнергоресурсов, энергии ветра, систем накопления энергии с учетом изменчивости возобновляемых энергоресурсов»

Целью исследования заключается в повышении энергоэффективности системы теплоснабжения с использованием комбинированной биогазовой установки с теплонасосом.

Задачи исследования:

разработка алгоритма определения температуры теплоносителя на входе и выходе теплообменного устройства и теплового насоса для системы теплоснабжения;

совершенствование метода оценки энергетического баланса биогазового устройства на основе компрессионного теплового насоса;

разработка технологической схемы системы теплоснабжения с использованием теплообменника и теплового насоса;

оценка энергоэффективности системы теплоснабжения на базе биогазово-теплонасосного оборудования.

Объектом исследования является биогазовое и теплонасосное оборудование для системы теплоснабжения.

Предметом исследования являются процессы применения биогазово-теплонасосного оборудования в системе теплоснабжения.

Методы исследования. Для решения этих задач были использованы методы математической обработки теории теплотехники, планирования эксперимента, вероятностей, физического моделирования и математической статистики.

Научная новизна результатов состоит в следующем:

разработан алгоритм определения температуры теплоносителя на входе и выходе теплообменника и теплового насоса системы теплоснабжения;

усовершенствован метод оценки энергетического баланса биогазовой установки на базе компрессионного теплового насоса за счет рекуперации тепловой энергии смеси биоудобрений;

разработана технологическая схема на базе коаксиального теплообменника и компрессионного теплового насоса процесса повышения температуры тепловой энергии, вырабатываемой в отстойнике биоудобрений биогазовой установки, и передачи ее в систему теплоснабжения;

усовершенствован метод оценки энергоэффективности системы теплоснабжения на базе биогазово-теплонасосного оборудования за счет учета количества рекуперированной тепловой энергии.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана технологическая схема процесса повышения температуры тепловой энергии и передачи ее в систему теплоснабжения;

усовершенствована методика оценки энергоэффективности системы теплоснабжения.

Достоверность полученных результатов исследования основана на результатах большого количества экспериментов, полученных с использованием современного оборудования и методов исследования в естественных условиях, использовании общепризнанных методов проведения научных экспериментов и обработки результатов, результатов производственных экспериментов, объясняется совпадением результатов расчетов и эксперимента при одинаковых исходных условиях.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке технологической схемы процесса повышения температуры тепловой энергии и передачи ее в систему теплоснабжения.

Практическая значимость исследования заключается в совершенствовании метода оценки энергетического баланса биогазовой установки.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных научных результатов по повышению энергоэффективности системы теплоснабжения за счет использования биогазового и теплонасосного оборудования:

технологическая схема системы теплоснабжения на базе биогазового и теплонасосного оборудования внедрена в фермерском хозяйстве «Кувват», расположенном в Маданиятском МСГ Аккурганского района Ташкентской области (Регистрационный номер 03-11-1004 Министерства энергетики Республики Узбекистан от 14 февраля 2024 года).

Усовершенствованная методика оценки энергоэффективности системы теплоснабжения на базе биогазово-теплонасосного оборудования внедрена в фермерском хозяйстве «Кувват», расположенном в Маданиятском МСГ Аккурганского района Ташкентской области (справка № 03-11-1004 Министерства энергетики Республики Узбекистан от 14 февраля 2024 года). В результате была достигнута дополнительная ежедневная выработка тепловой энергии в объеме 478,45 кВт·ч.

Апробация результатов исследования: Результаты исследования были апробированы на 4 научно-практических конференциях, в том числе на 2 международных и 2 республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации было опубликовано 9 научно исследованных работ, включая 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации (1 статьи в зарубежных журналах и 3 статьи в республиканских журналах), а также получен 1 сертификат на ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертационной работы составляет 107 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и необходимость выбранной темы, а также выражаются цель и задачи проведенного исследования. Описаны объект и предмет исследования, показана совместимость с приоритетными направлениями развития науки и техники республики, описаны научная новизна и практические результаты исследования.

В первой главе диссертации **«Анализ процессов использования биогазового и теплонасосного оборудования в системах теплоснабжения»** проведен анализ энергозатрат биогазовой установки на собственные нужды. Это означает, что при влажности навоза 90÷95% ферментация в анаэробной среде является энергоемким процессом. На его реализацию затрачивается большое количество энергии биогаза (до 60% биогаза, выделяющегося на биогазовой установке, используется на собственные нужды). Анализ затрат энергии на поддержание процесса показывает, что основная ее часть расходуется на нагрев навоза до температуры брожения.

Интенсивность процесса ферментации в анаэробной среде во многом зависит от температурного режима в метантенке. На рисунке 1 представлена классификация способов поддержания температурного режима, на основе которой выбран наиболее подходящий тип коаксиального теплообменника, расположенного внутри биореактора, для использования в системе теплоснабжения биогазовой установки.

В настоящее время для поддержания температурного режима на биогазовых установках используются различные методы, их можно разделить на 4 группы.

- а) в метантенке обогрев с помощью встроенных теплообменников;
- б) нагрев через поверхность метантенке;
- у) контактный подогрев навоза в метантенке;
- г) подогрев навоза в метантенке с помощью внешних теплообменников

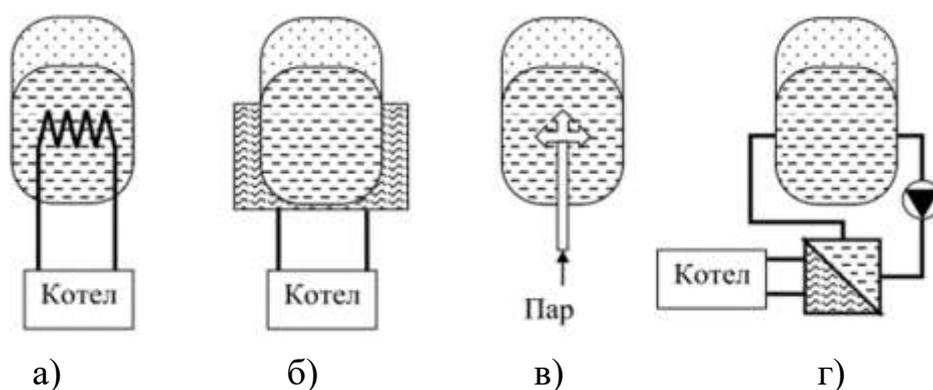


Рис. 1. Схемы методов поддержания температурного режима в биореакторе

Анализ существующих методов повышения энергоэффективности биогазовых установок показал, что для достижения увеличения производительности биогазовой установки необходимо использовать комбинированную схему системы теплоснабжения с компрессионным тепловым насосом в качестве средства рекуперации тепловой энергии.

На основании этого предложена усовершенствованная технологическая схема обеспечения тепловой энергией биогазовой установки, представленная на рис. 2.

По схеме биогазовая установка представляет собой нагревательный бак 1, в котором установлен теплообменник 11; внутренний теплообменник-5, биореактора-6, где поддерживается температурный режим ферментации и разгрузочные устройства -7, подключаемые к отстойнику биоудобрений.

Зимой (с декабря по февраль) тепло, полученное от установки рекуперации тепла от двигателя внутреннего сгорания-3, используется для покрытия теплотерь через окружающие поверхности биореактора 6 (компрессионный тепловой насос 9 работает на нагрев навоза и теплицы), а летом-для нужд потребителей горячей воды.

В отстойнике биоудобрений 7 установлен теплообменник 10 для получения тепловой энергии из смеси биоудобрений. Теплообменник 10 соединен с дросселем теплового насоса 9 посредством труб. В дросселе теплового насоса 9 происходит теплообмен между подготовленной водой и низкопотенциальным хладагентом, который после повышения энергетического потенциала в компрессоре теплового насоса 9 направляется в конденсатор теплового насоса 9. Теплообменник 11, расположенный в нагревательном баке 1, соединен трубками с конденсатором теплового насоса 9. В конденсаторе 9 теплового насоса происходит теплообмен между высокопотенциальным хладагентом и подготовленной водой, затем в теплообменном устройстве 11, расположенном в нагревательном баке 1, где происходит теплообмен между подготовленной водой и навозом. В результате пистолетсоставитьнагревается до рабочей температуры процесса и по очереди подается в 6-й биореактор. Весь производимый биогаз используется в двигателе внутреннего сгорания 12 для привода электрогенератора 13 и компрессионного теплового насоса 9.

Внедрение компрессионного теплового насоса как средства регенерации теплового насоса, непосредственно управляемого от двигателя внутреннего

сгорания, работающего на биогазе, в систему теплоснабжения биогазовой установки позволяет полностью покрыть энергетические затраты на ее нужды и, как следствие, добиться увеличения производства биогаза из биогазовой установки.

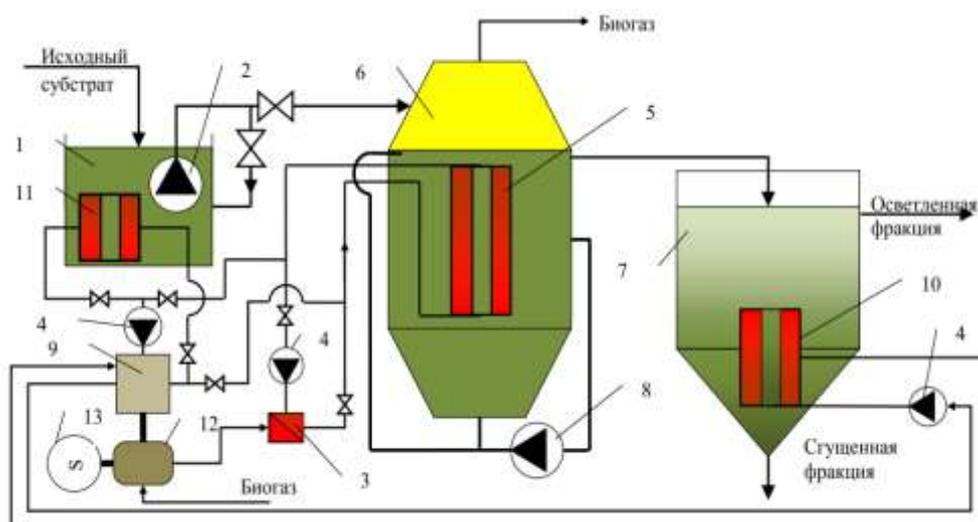


Рис 2. Технологическая схема системы теплоснабжения биогазовой установки

1-емкость с подогревом; 2- циркуляционный насос; 3- блок рекуперации тепла от двигателя внутреннего сгорания; 4-циркуляционный насос теплоносителя; 5-биореактор-теплообменник; 6-биореактор с анаэробной средой;7-отстойник биоудобрений; 8-насос для смешивания навоза; 9-компрессорный тепловой насос; 10-теплообменник; 11-теплообменник; 12-двигатель внутреннего сгорания; 13-электрогенератор.

Опыт применения такой технологической схемы теплоснабжения на основе биогазовых устройств незначителен и требует проведения исследований в области теплообмена устройства как в ламинарном, так и в турбулентном режимах в предлагаемом типе теплообменника.

Исходя из изложенной проблемы, были определены цели и задачи теоретического и экспериментального исследования и сформированы основные задачи диссертации, представляемой на защиту.

Во второй главе диссертации под названием **«Теоретические основы использования биогазового и теплонасосного оборудования в системах теплоснабжения»** рассмотрены теоретические основы работы теплового насоса, теоретические условия использования предлагаемой системы теплоснабжения биогазовой установки, а также разработка алгоритма расчета путем выбора параметров теплообменного устройства и теплового насоса.

Соответственно, была проведена сравнительная оценка различных хладагентов тепловых насосов и определен энергетический баланс биогазовой установки, согласно которому эффективное производство энергии на биогазовой установке происходит только тогда, когда общая энергия производимого биогаза значительно превышает энергопотребления для его производства должно выполняться условие

$$\frac{V_r \cdot \lambda}{(E_{сн}/\eta_{ээ} + Q_{сн}/\eta_{тэ}) \cdot 3600} \gg 1 \quad (1)$$

где: V_r - общий объем производимого биогаза, м³/сутки;

λ -теплотворная способность биогаза, кДж/м³;

$E_{сн}$ - потребление электроэнергии биогазовой установкой на собственные нужды, кВт·ч;

$\eta_{ээ}$ - эффективность преобразования энергии биогаза в электроэнергию;

$Q_{сн}$ – потребление тепловой энергии биогазовой установки на собственные нужды, кВт·ч;

$\eta_{тэ}$ - эффективность преобразования энергии биогаза в тепловую энергию.

Объем производимого биогаза (который не используется для собственных нужд биогазовая установка) можно выразить следующим образом, м³/сут.

$$V_T = V_r - \frac{E_{сн}/\eta_{ээ} + Q_{сн}/\eta_{тэ}}{\lambda} \cdot 3600 \quad (2)$$

Расход тепловой энергии биогазовой установки на собственные нужды равен:

$$Q_{сн} = Q_H + Q_{инф} - Q_{рек} \quad (3)$$

где: Q_H - затраты энергии на нагрев навоза до температуры процесса брожения, кВтч;

$Q_{инф}$ - суточный расход энергии на покрытие потерь тепла от окружающих конструкций и труб, кВтч;

$Q_{рек}$ - количество рекуперированной энергии, кВтч

Расход тепла на подогрев навоза определяют следующим образом, кВт·ч

$$Q_H = \frac{C_H \cdot \rho_H \cdot V_H \cdot (T_H - T_1) \cdot n}{24 \cdot 3600} \quad (4)$$

где: C_H - теплоемкость навоза, кДж/(кг·°C);

ρ_H - плотность навоза, кг/м³;

V_H - суточная доза загрузки, м³/сут;

T_H - конечная температура нагрева навоза, °C;

T_1 - начальная температура навоза, °C;

n - количество суточных часов работы теплового насоса, часов/сутки;

Среднесуточный расход тепла, кВт·ч, необходимый для покрытия теплопотерь через окружающие поверхности биореактора при среднегодовой температуре наружного воздуха:

$$Q_K = k \cdot F \cdot (T_H - T_B) \cdot 10^{-3} \cdot 24 \quad (5)$$

где: k - коэффициент теплопередачи, Вт/м²К;

F - поверхность прилегающих к биореактору помещений, м²; T_H - температура навоза в биореакторе, °C; T_B - температура наружного воздуха, °C;

Максимальное суточное количество низкопотенциальной теплоты биоудобрения, кВт:

$$Q_{биоу}^{max} = \frac{C_H \cdot \rho_H \cdot V_H \cdot (T_H - T_{бу min}) \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 3600} \quad (6)$$

где: $T_{бу min}$ - температура биоудобрения в осадке, необходимая для прекращения газовой выделению, равна °C.

Среднесуточное количество рекуперированного тепла, кВтч:

$$0 \leq Q_{рек} < Q_{биоу}^{max} * \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \right) * n \quad (7)$$

где: - коэффициент преобразования теплового насоса, учитывающий изоэнтропический и механический КПД компрессора теплового насоса. ε

Отсюда следует, что количество возобновляемой энергии зависит от коэффициента преобразования теплового насоса.

На рисунке 3 ниже показаны изменения температуры и влажности наружного воздуха в течение года в Ташкентской области.



Рис 3. Изменение температуры и влажности наружного воздуха в течение года в Ташкентской области

Круглогодичные изменения компонентов биогазовой установки, расположенной в Ташкентской области, на основе расчетов показаны на рисунках 4 и 5.

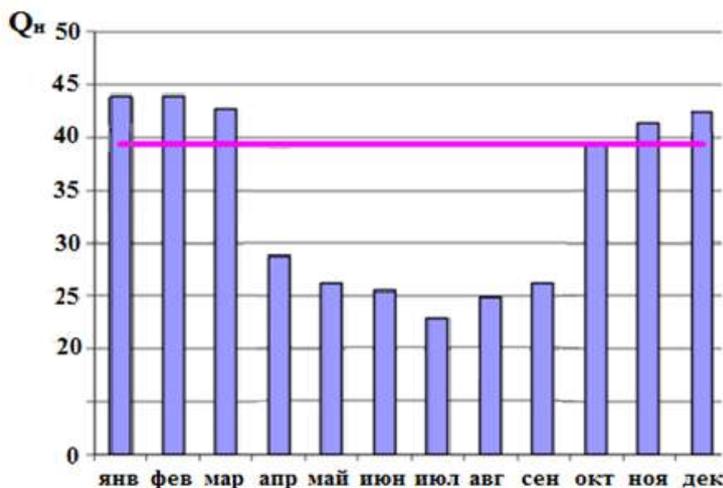


Рис 4. Изменение количества тепла, необходимого для обогрева суточной загрузочной дозы 1 м³ органических отходов в течение года

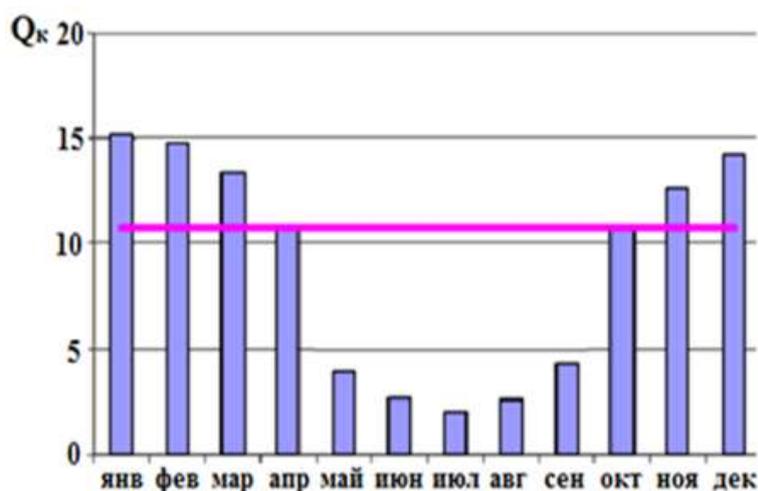


Рис 5. Изменение количества тепла, необходимого для покрытия тепловых потерь от окружающих конструкций и труб в течение года

Проведена оценка различных температурных режимов работы биогазовой установки, параметры теплообменников и компрессоров, суточные дозы нагрузки и физические свойства переработанного навоза и теплоносителя теплообменные устройства системы теплоснабжения с целью моделирования параметров компрессионного теплового насоса.

Основные расчетные соотношения для определения минимальной мощности компрессионного теплового насоса, поверхности теплообменников, расположенных в нагревательном баке и отстойнике биоудобрений.

$$N_k = f(\text{параметры}) \quad (8)$$

$$F_{\text{ии иа}} = f(\text{параметры}) \quad (9)$$

$$F_{\text{бчи иа}} = f(\text{параметры}) \quad (10)$$

Расчетная минимальная мощность компрессора зависит от различных параметров, в том числе физических свойств теплоносителя, суточной дозы загрузки биореактора, в анаэробной среде к температуре процесса брожения, к подаче смесительного насоса в нагревательном баке (загрузочному насосу биореактора), к подаче циркуляционных насосов, к теплоносителям, к типу теплообменников, расположенных в нагревательном баке и отстойнике, а также к физическим свойствам навоза.

В данном случае вторые основные расчетные зависимости таковы:

$$F_{\text{ба та}} = \frac{Q_n}{k_{\text{ба та}} \cdot \Delta t_1} \quad (11)$$

где $F_{\text{ба та}}$ - поверхность теплообменника бака отопления, м^2

$k_{\text{ба та}}$ - коэффициент теплопередачи теплообменника бака отопления, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$;

Δt_1 - средняя разница температур теплообменника отопительного бака, $^{\circ}\text{C}$.

В данном случае третье основное расчетное соотношение:

$$F_{\text{отс та}} = \frac{Q_o}{k_{\text{отс та}} \cdot \Delta t_2} \quad (12)$$

где $F_{\text{отс та}}$ - поверхность теплообменника отстойника биоудобрений, м^2 ;

$k_{\text{отс та}}$ - коэффициент теплопередачи теплообменника отстойника биоудобрений,

Вт/м²·К; Δt_2 - средняя разница температур теплообменника отстойника биоудобрений, °С

Из теплового баланса:

$$Q_0 = Q_n - N_k + Q_{иср1} + Q_{иср2} + Q_{инф} \quad (13)$$

где $Q_{т.пот}$ – теплотери из труб в окружающую среду, Вт.

$Q_{инф}$ - теплота, затрачиваемая на покрытие потерь тепла от окружающих поверхностей биореактора в окружающую среду, Вт.

Таким образом, для использования приведенных соотношений необходимо экспериментально определить числовые значения максимального суточного количества низкопотенциального тепла и соответствующего ему удельного выхода биогаза.

В третьей главе диссертации **«Проведение экспериментальных исследований по использованию биогазового и теплонасосного оборудования в системе теплоснабжения»** согласно целям теоретического исследования, показана алгоритм программы, методики исследования и экспериментальная установка для проведения необходимых исследований.

Эксперименты были проведены в устройстве, показанном на рисунке 6, для определения низкого потенциального тепла и максимального суточного количества выбросов.

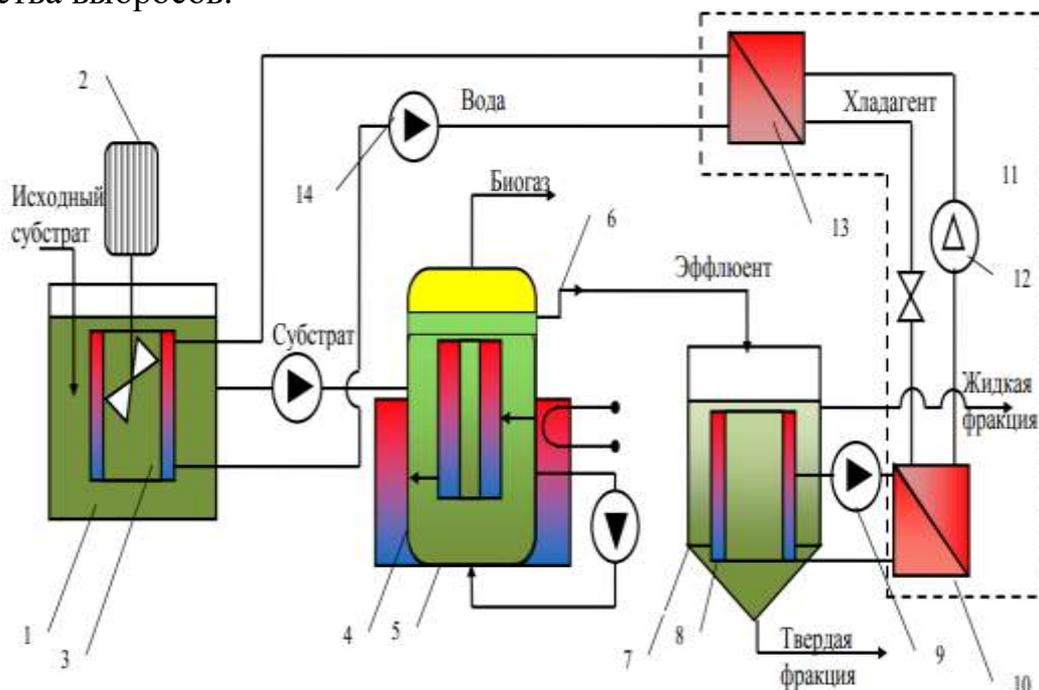


Рис 6. Технологическая схема экспериментальной биогазовой установки

1- нагревательный бак; 2- мешалка механическая лопастная; 3- теплообменник для нагрева навоза; 4-биореактор; 5- теплообменное устройство компенсации теплотерь; 6-разгрузочное устройство; 7-отстойник биоудобрений; 8-теплообменник биоудобрений; 9-циркуляционный насос теплоносителя; 10-испаритель теплового насоса; 11-компрессионный тепловой насос; 12-компрессор теплового насоса; 13-конденсатор теплового насоса; 14- циркуляционный насос нагретого теплоносителя.

Тепловая нагрузка на теплообменники теплового насоса, значения коэффициента преобразования теплового насоса для каждого эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты экспериментов с тепловым насосом

Индикаторы	№1	№2	№3	№4	№5
Тепловая нагрузка испарителя $Q_{буф}$, кДж/кг	242,78	244,88	247,36	239,51	243,32
Тепловая нагрузка конденсатора Q_k , кДж/кг	350,78	352,88	355,36	347,51	351,32
Тепловая нагрузка нагревателя $Q_{ист}$, кДж/кг	87,48	87,48	87,48	87,48	87,48
Коэффициент преобразования теплового насоса COP	4,38	4,40	4,43	4,35	4,39

Значения коэффициентов теплопередачи указаны для каждого в эксперименте почти будет неизменным, потому что размеры и материалы теплообменников, а также расход теплоносителей не изменились. Однако при изменении температуры теплоносителей изменяются их физические свойства, что влияет на зависимость от критериев и значений коэффициентов теплоотдачи. Значения коэффициентов теплопередачи приведены в таблице 2.

Таблица 2

Коэффициенты теплопередачи

Индикаторы	№1	№2	№3	№4	Средние значения
Внутренний нагреватель в нагревательном баке, Вт/м ² К	932,10	913,42	922,01	899,54	916,46
Внешний нагреватель в нагревательном м баке, Вт/м ² К	712,54	697,97	705,22	687,90	700,58
Внутренний теплоноситель в отстойнике навоза, Вт/м ² К	299,04	310,40	330,06	343,08	320,18
Внешний теплоноситель в отстойнике навоза, Вт/м ² К	186,35	192,30	204,03	212,92	197,88

Таблица 3

Низкопотенциальное тепло биоудобрений и количества передаваемого тепла

Индикаторы	№1	№2	№3	№4	Средние значения
Максимальная суточная теплосодержание биоудобрения, $Q_{биоу}^{max}$, кВт·ч	0,31	0,24	0,35	0,28	0,29
Количество рекуперированного тепла, Q_r , кВт·ч	0,39	0,30	0,44	0,35	0,37
Расчетное количество возобновляемого тепла, кВт·ч	0,41	0,31	0,46	0,37	0,39

Из полученных данных видно, что значения количества рекуперированного тепла превышают максимальное суточное количество теплоты, подтвержденное формулой (7).

Среднее отклонение экспериментально определенных значений количества рекуперированного тепла от расчетных значений не превышает 6%.

В то же время разработана технологическая схема процесса повышения температуры тепловой энергии, вырабатываемой в отстойнике биоудобрений биогазовой установки на базе коаксиального теплообменника и компрессионного теплового насоса, и передачи ее в систему теплоснабжения, которая показана на рис. 7.

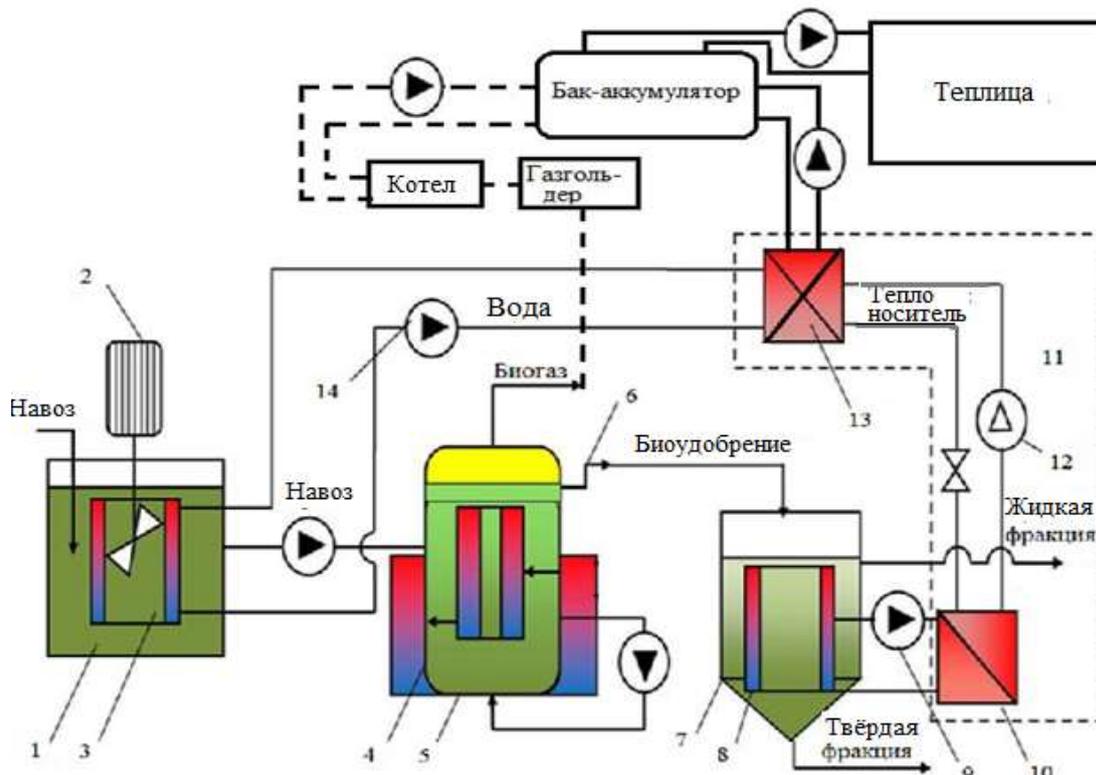


Рис. 7. Технологическая схема процесса повышения температуры тепловой энергии, вырабатываемой в отстойнике биоудобрений биогазовой установки на базе коаксиального теплообменника и компрессионного теплового насоса, и передачи ее в систему теплоснабжения

Тепличное производство является эффективной и активно развивающейся отраслью современного сельского хозяйства, и если продукция не получается при открытом грунте, то для выращивания овощей и зелени в межсезонье целесообразно использовать теплицы для холодного сезона сельскохозяйственной продукции.

Уборка овощей в теплицах во многом зависит от своевременных и качественных подготовительных работ, оснащения необходимым оборудованием, производственными инструментами и материалами.

Разработанная система относится к закрытым земельным сооружениям в сельском хозяйстве и тепловой энергетике.

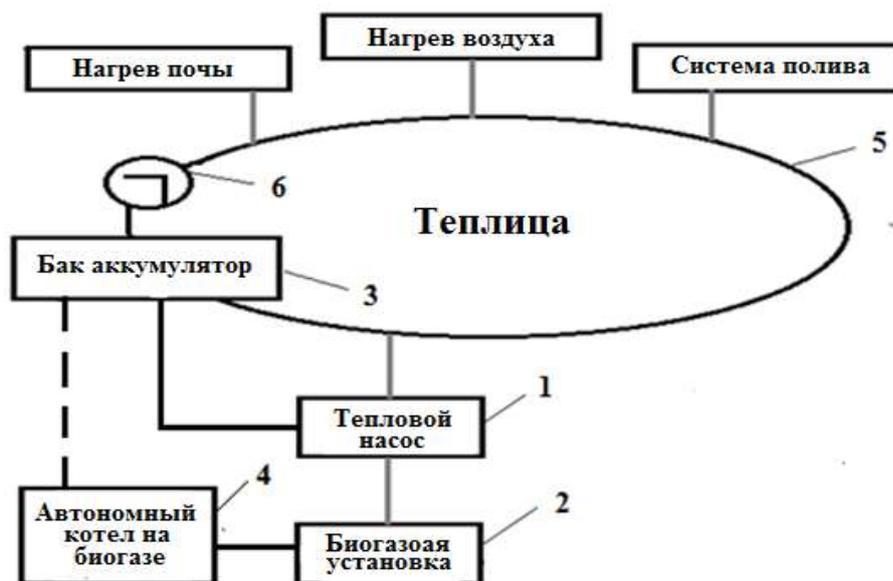


Рис. 8. Кольцевая система теплоснабжения с использованием биогазового устройства с тепловым насосом для подачи тепловой энергии в теплицу

Получены экспериментальные результаты по определению эффективности сбора избыточного тепла в биогазовой установке с тепловым насосом, установленным для обеспечения тепловой энергией теплицы, которые представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты экспериментов по определению эффективности сбора избыточного тепла.

Время, мин	0	10	20	30	40	50	60
Температура верхних слоев бака-аккумулятора, °С	21	22	26	27	26	25	23
Температура нижних слоев бака-аккумулятора, °С	21	22	23	23	24	23	23
Температура после смешивания, °С	21	22	23	23	24	23	23
Температура в теплице, °С	16	21	27	29	28	24	21
	Обогрев				охлаждение		
Положение ручки смеси, %.	Горячий 0% Холодный 100%						

Опыт показывает, что снижение максимальной температуры воздуха в теплице на 15 % предотвращает перегрев растений при высокой солнечной активности в течение дня, а избыточное тепло, теряемое существующими методами регулирования микроклимата, накапливается до 70 %.

В четвертой главе диссертации «Оценка энергетической и экономической эффективности использования биогазово-теплонасосного оборудования для передачи тепловой энергии в систему теплоснабжения» показано использование термодинамических и эксергетических методов анализа технологических схем производства биогаза. Основным аппаратом схемы

является метантенк, поэтому его тепловая и эксергетическая эффективность и термический КПД биогазовой установки рассчитывалось с учетом рекуперации тепла смеси биоудобрений. Термический анализ в метантенке процесс отверждения недостаточно для оценки энергоэффективности технологии. Эксергетический анализ тепловых потерь дополняет тепловой баланс, что позволяет более точно оценить качественный вид потерь энергии в технологической схеме.

Выявлено, что теплоэнергетический КПД традиционной биогазовой установки составляет 42%, а теплоэнергетический КПД биогазовой установки, которая утилизирует тепло смеси биоудобрений с тепловым насосом, составляет 48%. Техничко-экономические показатели традиционной биогазовой установки и биогазовой установки с рекуперацией тепла биоудобрений с тепловым насосом сопоставлены и приведены в таблице 5.

Таблица 5

Итоговое технико-экономическое обоснование

№ т/р	Название параметра	Условн. обозн.	Вариант I, тыс. сумов	Вариант II, тыс. сумов
1	Капитальные затраты, сум	$K_{затр}$	244 500	329 100
1.1	Капитальные вложения в строительство	$K_{к}$	199 500	284 100
1.2	Прочие единовременные расходы	$K_{б}$	45 000	45 000
2	Операционные расходы	$\mathcal{E}_{затр}$	80 518	74 979
2.1	Амортизационные отчисления (0,15 от $K_{затр}$), сум	$\mathcal{E}_{ам}$	36 675	49 365
2.2	Отчисления в ремонтный фонд (0,08 от $K_{затр}$), сум	$\mathcal{E}_{т}$	19 560	23 314
2.3	Затраты на электроэнергию, сум/год	$\mathcal{E}_{эл}$	-	2 300
3	Энергияэкономическая эффективность	\mathcal{E}_1	30 135	79 856
4	Агробиоэкономическая эффективность	\mathcal{E}_2	1 642500	1 762950
5	Конечная эффективность	$\mathcal{E}_{год}$	1 672 635	1 842 806
6	Годовая экономическая эффективность	$\mathcal{E}_{эф}$	1 347 617	1 438 727

Годовой экономический эффект от внедрения биогазовой установки, предназначенной для снабжения газом животноводческих ферм, определяется с учетом годовых эксплуатационных затрат.

В таблице 5 представлены результаты расчета эффективности внедрения биогазовой установки с объемом биореактора 100 м³. Годовая экономическая эффективность теплоснабжения теплицы на основе рекуперации тепла смеси биоудобрений с помощью теплового насоса выглядит следующим образом.

$$\mathcal{E}_{эф} = \mathcal{E}_{эф}^{II} - \mathcal{E}_{эф}^I = 1\,438\,727 - 1\,347\,617 = 91\,110 \text{ тысяч сумов}$$

В фермерском хозяйстве «Кувват» внедрена технологическая схема системы теплоснабжения на базе биогазово-теплонасосного оборудования. В результате за счет использования предложенной технологической схемы обеспечения хозяйства

тепловой энергией достигнута экономическая эффективность в размере 91 110 000 (девяносто один миллион сто десять тысяч) сумов в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследований в диссертационной работе доктора философии (PhD) по техническим наукам, проведенных по теме По диссертации на получение степени доктора философии (PhD) на тему «Эффективное биогазовое теплонасосное оборудование для системы теплоснабжения» представлены следующие выводы:

1. Проведены теоретические исследования по определению параметров компонентов системы теплоснабжения с использованием теплового насоса как средства рекуперации тепловой энергии. В результате был разработан алгоритм определения температуры теплоносителя на входе и выходе теплообменника и теплового насоса системы теплоснабжения.

2. Проведены теоретические исследования по рекуперации тепловой энергии биогазовой смеси с использованием биогазового устройства и компрессионного теплового насоса. В результате усовершенствован метод оценки энергетического баланса биогазовой установки на базе компрессионного теплового насоса за счет рекуперации тепловой энергии смеси биоудобрений.

3. Расчеты проводились с использованием усовершенствованного метода оценки энергетического баланса. В результате было установлено, что максимальное суточное потребление тепловой энергии биотопливной смесью составляет 0,35 кВт·ч, скорость нагрева - 0,49 °С/мин, а количество восстановленной тепловой энергии - 0,44 кВт·ч в сутки.

4. Разработана и внедрена технологическая схема процесса повышения температуры тепловой энергии, вырабатываемой в отстойнике биоудобрений биогазовой установки на основе коаксиального теплообменника и компрессионного теплового насоса, и передачи ее в систему теплоснабжения. В результате достигается выработка 543,69 кВт·ч тепловой энергии в сутки.

5. Усовершенствован метод оценки энергоэффективности системы теплоснабжения на базе биогазово-теплонасосного оборудования с учетом количества регенерируемой тепловой энергии. В результате за счет использования биогазово - теплонасосного оборудования энергоэффективность системы теплоснабжения можно повысить до 6%.

6. Технологическая схема системы теплоснабжения на базе биогазово-теплонасосного оборудования внедрена в фермерском хозяйстве «Кувват», расположенном в Маданиятском МСГ Аккурганского района Ташкентской области. В результате за счет использования предложенной технологической схемы обеспечения хозяйства тепловой энергией достигнута экономическая эффективность в объеме 91 110 000 (девяносто один миллион сто десять тысяч) сумов в год.

**ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN
INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS GRANT OF SCIENTIFIC DEGREES
IN THE PRESENCE DSc.02/30.12.2021.T.143.01
DIGITAL SCIENTIFIC COUNCIL**

**INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

QORAQULOV ASLIDDIN NURIDDINOVICH

**EFFICIENT BIOGAS-HEAT PUMP EQUIPMENT FOR HEAT
SUPPLY SYSTEM**

05.05.01 – Energy systems and complexes

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The topic of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2022.1.PhD/T2672.

Dissertation has been prepared at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific council (ww.energetika.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: **Anarbayev Anvar Izatullayevich**
Candidate of technical sciences, senior researcher

Official opponents: **Qodirov Dilshod Botirovich**
Doctor of technical sciences, Professor

Eshkuvatov Lutfulla Muradullayevich
Philosophy of doctor in technical sciences, Docent

Leading organization: **Karshi State Technical University**

The defense will take " ____ " _____ 2025 y. in _____ at the meeting of Scientific Council DSc 02/30.12.2021.T.143.01 at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. (Address: 40, Durmon yuli str., Tashkent, 100125, Uzbekistan. Phone number: (+99855) 520-01-52, e-mail: energetika_in@umail.uz).

The dissertation can be found at the Information Resource Centre of the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Registration number ____). (Address: 40, Durmon yuli str., Tashkent, 100125, Uzbekistan. Phone number: (+99855) 520-01-52).

Abstract of the dissertation was distributed on " ____ " _____ 2025 year.
(mailing report No " ____ " on _____ 2025 year).

Kh.M. Muratov
Chairman of the Scientific Council for the award of scientists degrees, Doctor of technical sciences, Professor

J.N. Tolipov
Scientific secretary of the scientific council for awarding scientific degrees, Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Senior researcher

O.Kh. Ishnazarov
Scientific Secretary of the Scientific Council for the Award of Scientists degrees, Doctor of technical sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The purpose of the study consists of increasing the energy efficiency of the heat supply system by using biogas-heat pump equipment.

Tasks of research:

development of an algorithm for determining the temperature of the coolant at the inlet and outlet of the heat exchanger and heat pump for the heat supply system;

improvement of methods for assessing the energy balance of a biogas device based on a compression heat pump;

development of a technological scheme of a heat supply system using a heat exchanger and a heat pump;

assessment of the energy efficiency of the heat supply system based on biogas-heat pump equipment.

The object of the study is heat pump equipment for heat supply system.

The subject of the study is the processes of application of biogas-heat pump equipment in the heat supply system.

Scientific novelty of the research consists in the following:

an algorithm for the Heat Supply System, which allows to determine the temperature of the heat carrier at the input and output of the heat exchanger and heat pump, has been developed;

the method of assessing the energy balance of a biogas device based on a compression heat pump has been improved due to the recovery of the thermal energy of the biogas mixture;

a technological scheme of the process of increasing the temperature of the heat energy generated in the biogas device biogas sink tank on the basis of a coaxial heat exchange device and a compression heat pump and transfer to the Heat Supply System has been developed;

the method for assessing the energy efficiency of a heat supply system based on a heat pump equipment is improved by taking into account the amount of regenerated heat energy.

The practical results of the research are as follows:

a technological scheme of the process of increasing the temperature of heat energy and transferring it to the heat supply system has been developed;

the method of assessing the energy efficiency of the heat supply system has been improved.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained to increase the energy efficiency of the Heat Supply System through the use of biogas-heat pump equipment:

the technological scheme of the heat supply system based on biogas-heat pump equipment was introduced into the farm "Kuvvat", which is located in the madaniyat MFY of the Akkurgan District of Tashkent region. (Reference number 03-11-1004 of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated February 14, 2024). As a result, the economic efficiency of 91,110,000 (ninety-one million one hundred and ten thousand) per year has been achieved due to the use of the technological scheme proposed to provide the farm with heat energy;

an improved method of assessing the energy efficiency of the heat supply system based on biogas-heat pump equipment was introduced to the "Kuvvat" located in the Madaniyat MFY of the Akkurgan District of the Tashkent Region (Reference number 03-11-1004 of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated February 14, 2024). As a result, an additional daily heat energy production of 478.45 kWh was achieved.

Approval of the results of the study. The research results were approved at 4 scientific and practical conferences, including 2 international and 2 national conferences.

Publication of the research results. A total of 9 scientific works have been published on the subject of the dissertation, including 4 articles (in 1 international and 3 republican journals) in scientific publications recommended by the Republic of Uzbekistan for publishing the main scientific results of doctoral theses. 1 certificates were obtained for the computer program.

Structure and scope of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 107 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I-бўлим (I часть; I part)

1. Захидов Р.А., Анарбаев А.И., Қорақулов А.Н. Использование тепловых насосов в теплоснабжении при добыче и утилизации биогаза на полигонах твердых бытовых отходов // Информатика ва энергетика муаммолари илмий-техника журнали. Тошкент ш., 2022 йил, 3-сон, 61-70-б. (05.00.00.;№5)

2. Анарбаев А.И., Қорақулов А.Н., Султонов Р.А. Иссиқлик насоси ёрдамида биогаз ишлаб чиқаришнинг технологик схемаларини таҳлил қилиш // Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. Фарғона ш., 2023 йил, 27-том, 10-махсус сон 105-108-б. (05.00.00.;№20)

3. Anarbaev A.I., Korakulov A.N. Analysis of technological schemes for biogas production using a heat pump // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (India).Vol. 10, Issue 5, May 2023.pp.20713-20717 (05.00.00.;№8)

4. Анарбаев А.И., Қорақулов А.Н., Султонов Р.А. Иссиқлик насоси ёрдамида каттик маиший чиқинди (қмч) полигонларида биогазни утилизация қилиш // Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. Фарғона ш., 2024 йил, 28-том, 7-махсус сон 94-99-б. (05.00.00.;№20)

II-бўлим (II часть; II part)

1.Анарбаев А.И., Қорақулов А.Н. Тепловой насос в биогазовой установка “Энергия ва ресурс тежамкор инновацион технологияларни ривожлантиришнинг долзарб муаммолари” мавзусида республика илмий-амалий анжуман. Қарши ш., 2022-йил 23-24 сентябрь 503-505-б.

2.Захидов Р.А., Анарбаев А.И., Қорақулов А.Н. Чиқиндиларни иссиқликни қайта тиклаш билан биогаз қурилмасининг энергия самарадорлигини таҳлил қилиш // “Энергия ва ресурс тежамкор инновацион технологияларни ривожлантиришнинг долзарб муаммолари” мавзусида республика илмий-амалий анжуман. Қарши ш., 2022-йил 23-24 сентябрь 263-265-б.

3.Қарақулов А.Н., Анарбаев А.И. Динамическая система нагрева многофазного проточного биогазового реактора от солнечно-теплонасосной системы с низкопотенциальным источником тепла от сточных вод // Международная научно - практическая конференция на тему “Энергетика: состояние и перспективы развития”, Республика Таджикистан, г.Душанбе. 20 декабря 2023 г., стр. 395-401

4.Қарақулов А.Н., Анарбаев А.И., Тепло- и массообменные процессы в реакторе анаэробного сбраживания биогазовой установки // Международная научно-практическая конференция на тему “Энерго- и ресурсосберегающие технологии: опыты и перспективы” Республика Казахстан, г.Кызылорда. 18 апреля 2024 г., стр. 415-420

5.Қорақулов А.Н., Анарбаев А.И., Biogaz olishning texnologik sxemalarini tahlil qilishning issiqlik usuli asosida hisoblash // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги “Интеллектуал мулк маркази” давлат муассасаси № DGU 25793, рўйхатдан ўтказилган сана 22.06.2023 й.

Босишга рухсат этилди: 10.04.2025 йил
Бичими 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 3. Адади:50. Буюртма: № 69.
Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат босмахонасида чоп этилган.
Манзил: 100100, Тошкент ш., Шохжаҳон кўчаси, 5- уй.

