

**3«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ» МИЛЛИЙ
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/26.05.2022.Т.10.05 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ»**

АБДУЛЛАЕВ ҲУСНИДДИН ҲУСЕН ЎҒЛИ

БИОГАЗ ОЛИШНИНГ АХБОРОТ – БОШҚАРУВ ТИЗИМИ

05.01.02 – Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш

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

Тошкент - 2023

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Абдуллаев Хусниддин Хусен ўғли

Биогаз олишнинг ахборот – бошқарув тизими..... 3

Абдуллаев Хусниддин Хусен ўғли

Информационно-управляющая система получения биогаза..... 21

Abdullayev Khusniddin Khusen o'g'li

Information and control system for biogas production..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works..... 42

**«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ»
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/26.05.2022.Т.10.05 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ»
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

АБДУЛЛАЕВ ҲУСНИДДИН ҲУСЕН ЎҒЛИ

БИОГАЗ ОЛИШНИНГ АХБОРОТ – БОШҚАРУВ ТИЗИМИ

05.01.02 – Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш

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

Тошкент – 2023

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси хузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.4.PhD/T3273 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация «Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти» Миллий тадқиқот университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида (www.tiiame.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Каландаров Палван Искандарович
Техника фанлари доктори, профессор

Расмий опонентлар:

Сиддиқов Илхом Ҳақимович
Техника фанлари доктори, профессор

Ҳайитматов Ўктам Турғунович
Техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Ўзбекистон Республикаси Фанлар
Академияси Энергетика муаммолари
институти

Диссертация ҳимояси «Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти» Миллий тадқиқот университети хузуридаги DSc.03/26.05.2022.Т.10.05 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил «08» Февраль соат 16 00 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, Қори Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел.: (+998-71)237-46-68; факс: (+998-71)237-19-36, e-mail: admin@tiiame.uz).

Диссертация билан «Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти» Миллий тадқиқот университети хузуридаги Ахборот–ресурс марказида танишиш мумкин (253 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, Қори Ниёзий кўчаси кўчаси, 39-уй. Тел.: (99871) 237-46-68).

Диссертация автореферати 2023 йил «26» Февраль куни тарқатилди.
(2023 йил «23» Февраль даги № 41 рақамли реестр баённомаси.)



Н.С. Маматов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
т.ф.д., профессор

Д.Қ. Бекмуратов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

М.А. Исмаилов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳоннинг кўпгина мамлакатларида биогаз истиқболли энергия манбаи сифатида тан олинган бўлиб атроф-муҳит ифлослантириш муаммоларини ҳал қилиш йўлларида бири ҳисобланади. Қишлоқ хўжалиги чиқиндиларини қайта ишлаш орқали энергия олишни саноат миқёсида ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш учун рақамли технологиялар ва сунъий интеллект усулларида фойдаланиш муҳим вазифалардан биридир.

Жаҳонда олинган қайта тикланувчи энергия манбаларидан кенг фойдаланиш билан бирга уларни ишлаб чиқариш ва фойдаланишда бир қатор муаммолар мавжуд эканлиги, хусусан биомассадан биогаз ишлаб чиқариш жараёнидан олинган биогазнинг ёниш даражаси пастлиги, биогаз ишлаб чиқариш узок вақтни талаб қилиши, олинган биогазнинг таркибида метан миқдори камлиги, биомассадан тўлиқ метан ажралмаётгани, биомассани тўғри танланмаслиги, жараёни секинлаштирадиган кўшимча моддалар мавжудлиги ва моддалар газнинг ёнишига ва биогаз ажралиш ҳажмига тўлиқ таъсирлари мавжуд. Ушбу муаммоларни ҳал қилишда биогаз ишлаб чиқиш жараёнининг бошқарув тизимларини таҳлил қилиш, моделлаштириш, ва маълумотларни қайта ишлаш асосида ахборот-бошқарув тизимини яратиш муҳим роль ўйнайди. Диссертация ишида биотехнологик объектларни бошқариш тизимларини таҳлил қилиш муаммоларини ҳал қилишда норавшан мантиқ ва нейрон тармоқ усулларида фойдаланиш бўйича илмий ишларнинг таҳлили ўтказилди.

Ўзбекистонда биоэнергетика муқобил энергия турларидан бири сифатида инновацион ривожланишнинг сўзсиз омилига айланмоқда. Хусусан, бу электр ва иссиқлик ишлаб чиқаришнинг янги технологик базасини шакллантиришга олиб келади, янги иш ўринлари яратади, одамларнинг турмуш тарзини яхшилайдди. Ўзбекистон Республикаси Президентининг «2017-2021 йилларда қайта тикланувчан энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»¹ ПҚ-3012-сонли қарори қабул қилинган. Ушбу 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сонли қарорини ижросини таъминлаш мақсадида, қайта тикланувчан энергиялардан бири бўлган биогаз ишлаб чиқариш технологияларини қўллаш ва жараёндаги муҳим маълумотларни олиш, қайта ишлаш ва таҳлил қилиш усуллари, алгоритмлари ҳамда ахборот – бошқарув тизимларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш, улар асосида тезкор маълумот йиғиш, муқобил ва қайта тикланган энергия манбаларини ривожлантириш имкониятлари яратилади. Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш соҳасидаги муносабатларни тартибга солиш ва қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланиш соҳасидаги давлат сиёсатининг асосий йўналишларини амалга

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон 2017-2021 йилларда қайта тикланувчан энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида Қарори

ошириш юзасидан “Қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида”ги 2019 йил 21 май, ЎРҚ-539-сонли Ўзбекистон Республикасининг қонуни қабул қилинган.

Ушбу қарорлар ва мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда, ушбу диссертация ишида биотехнологик объектлар мураккаб тизимларга тегишли эканлиги кўрсатилган, буни қўллаб-қувватлаш учун биотехнология объектларига хос бўлган маълумотларнинг ноаниқлиги турлари ва манбалари берилган. Ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада юқорида келтирилган масалаларни бажаришга хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

Муаммони ўрганилганлик даражаси. Биогаз ишлаб чиқариш жараёни мураккаб технологик жараёнлар сифатида қаралади, шу мақсадда мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни бошқаришни тузилмавий ва параметрик синтезлаш, тизимли таҳлил, ахборотни қайта ишлаш ва қурилмаларни бошқариш масалаларини ечиш ва уларни амалиётга жорий этиш бўйича хорижий олимлардан: S.Aiba, J.Aragona, D.Bourdand, A.Cheryu, A.Constantinides, C.L.Cooney, A.Durand, C.Foulard, E.L.Gaden, A.E.Humphrey, R.E.King, J.L.Spencer, H.Y.Wang, B.B.Кафаров, Т.Г.Волова, В.П.Мешалкин, Ф.В.Егоров, В.С.Балакиров, Е.Г.Дудников, А.И.Бояринов, мамлакатимиз олимларидан: В.К.Кабулов, Н.Р.Юсупбеков, М.М.Камилов, Т.Ф.Бекмуратов, Т.Д.Ражабов, Х.З. Игамбердиев, Ш.М.Гулямов, Р.Х.Хамдамов, М.А.Исмаилов, Д.Т.Мухаммадиева, Ш.Имомов, А.Ш.Арифжанов, А.С.Кабильджанов, Л.Ф.Сулюкова ва бошқалар ўзларининг ҳиссаларини қўшиб келмоқдалар.

Бироқ, илмий адабиётларда кўплаб мақолалар мавжудлигига қарамадан, биогаз ишлаб чиқаришда биогаз сифатини унинг ёниш килокалориясини оширишга ва унга салбий таъсир этадиган омилларни ўрганиш ҳамда юқори сифатли биогаз олиш учун жараёнларни интеллектуал бошқариш тизимларини яратиш ва бошқаришнинг ахборот тизимлари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти «Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш ва муҳандислари институти» Миллий тадқиқот университети («ТИҚХММИ» МТУ) илмий тадқиқот ишлари режасининг «Агросаноат мажмуаси тармоқларида энергия самарадорлик ва қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш технологияларини ривожлантириш муаммолари» 2021 йил 28 январдаги «ТИҚХММИ» МТУ 6-сонли Илмий Кенгашининг қарори ва 2021 йиллар илмий-тадқиқот ишларининг режасига биноан бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади: Қишлоқ хўжалиги чиқиндиларини қайта ишлаш орқали биогаз олиш жараёнини ахборот – бошқарув тизимини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

маълумотларни қайта ишлаш асосида бошқарув қарорларини қабул қилишнинг ахборот – бошқарув тизимини ва усулларини тизимли таҳлил қилиш;

биогаз чиқишига таъсир этувчи факторларни танлаш ва баҳолаш;

биогаз ишлаб чиқариш жараёнининг норавшан ва нейро-норавшан моделини ишлаб чиқиш;

биогаз олиш жараёнини компьютерли моделлаштириш ва ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш;

ахборот-бошқарув тизимида биогаз олиш маълумотларини қайта ишлаш усулини танлаш асосида кўмаклашув бошқарув қарор қабул қилиш алгоритминини ишлаб чиқиш;

қишлоқ хўжалиги чиқиндиларидан биогаз олишда ахборотларнинг ноаниқлиги шароитида бошқарув алгоритминини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот объекти сифатида қишлоқ хўжалиги чиқиндиларидан биогаз олиш жараёнининг ахборот – бошқарув тизими олинган.

Тадқиқот предметини қишлоқ хўжалиги чиқиндиларидан биогаз олиш жараёнининг моделлари ва бошқариш алгоритмлари ташкил қилади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тизимли таҳлил, қарорларни қабул қилиш, бошқариш назарияси, моделлаштириш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

қишлоқ хўжалиги чиқиндиларидан қайта ишлаганда биогаз чиқишига таъсир этувчи факторлар аниқланган ва тизимли таҳлиliga асосида баҳоланган;

биогаз ишлаб чиқариш жараёнининг норавшан ва нейроноравшан математик моделлари ишлаб чиқилган;

ахборот-бошқарув тизимида биогаз олиш маълумотларини қайта ишлаш усулини танлаш асосида интеллектуал қарор қабул қилишни қўллаб-қувватлаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

қишлоқ хўжалиги чиқиндиларидан биогаз олишда ахборотларнинг ноаниқлиги шароитида биогаз олишнинг бошқарув алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

биогаз ишлаб чиқаришда технологик параметрларни ўлчаш, ахборот – бошқарув тизими ишлаб чиқилган;

чиқиндилар биомассасининг электр ўтказувчанлиги ўрганиш ҳамда кўп факторли боғлиқликни аниқлайдиган тажрибавий қурилма ишлаб чиқилган;

биогаз ва унинг таркибида метан концентрациясини оширишда ва ферментация ҳамда технологик жараёнларини бошқаришда қарор қабул қилиш алгоритми ишлаб чиқилган;

биогаз ишлаб чиқаришда метан концентрациясини кўпайиши учун, биореакторда намлик миқдорини назорат қилиш ва уни бошқариш дастурий таъминоти ишлаб чиқилган;

ахборот – бошқарув тизимини қўллаганда биогаз чиқиш ҳажми ва таркибидаги метан концентрациясини ошишининг компьютерли модели ишлаб чиқилган ва лаборатория шароитида тажрибадан ўтказилган;

метан миқдорини ошишини кўриб чиқилган усулнинг иқтисодий самарадорлиги, биогаз ишлаб чиқаришда ёнувчи газлардан метан ҳажмини ошириш мақсадида таъсир этувчи факторлар аниқланган, баҳоланган ва интенсивлаштириш асосланган;

Тадқиқот натижаларини ишончлилиги. Тадқиқот натижаларини ишончлилиги математик аппаратнинг қўлланилишига асосланган ва технологик жараёнларни бошқариш тизимларини назарий ва тажрибада олинган натижаларининг ўзаро мувофиқлиги ва лаборатория – синов тажрибалари натижаларининг ижобийлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти биогаз ишлаб чиқаришда технологик параметрларни ўлчаш, ахборот – бошқарув тизим ишлаб чиқилиши ҳамда биогаз ишлаб чиқаришда метан концентрациясини кўпайишига ферментация жараёнларини бошқариш усулини ва қарор қабул қилиш алгоритми ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ахборот – бошқарув тизимини қўллаганда биогаз чиқиш ҳажми ва таркибидаги метан концентрациясини ошишининг компьютерли модели ишлаб чиқилганлиги ва лаборатория шароитида тажрибадан ўтказилганлиги, биореакторда сув миқдорини назорат қилиш, бошқариш дастурий таъминоти ва метан миқдорини ошириш, ёнувчи газлардан метан ҳажмини оширишда таъсир этувчи факторлар аниқланганлиги, баҳоланганлиги ҳамда интенсивлаштириш натижасида қўлланилган усулнинг иқтисодий самарадорлиги асосланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Диссертация тадқиқотлари доирасида қишлоқ хўжалиги чиқиндиларидан биогаз олишнинг ахборот-бошқарув модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

турли хил қишлоқ хўжалиги чиқиндиларидан биогаз олиш жараёнида маълумотларнинг ноаниқлиги, параметрларнинг ўзгарувчанлиги ҳамда метан миқдорини оширишни ҳисобга олган ҳолда параметрларни бошқариш жараёнини нейро-норавшан моделлари Қашқадарё вилояти «Биогаз» масъулияти чекланган жамиятида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлигининг 2022 йил 20 октябридаги №02-07-6168 сон маълумотномаси). Натижада биогаз таркибидаги метан концентрациясига таъсир кўрсатадиган параметрлар ўзгаришига мос равишда бошқариш объектининг оптимал функционал режимларини танлаш имконини берган;

ахборот-бошқарув тизимида биогаз олиш маълумотларини қайта ишлаш усулини танлаш асосида қарор қабул қилишни қўллаб-қувватлаш

алгоритмлари Қашқадарё вилояти «Биогаз» масъулияти чекланган жамиятида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлигининг 2022 йил 20 октябридаги №02-07-6168 сон маълумотномаси). Натижада метан концентрацияси 55-60% дан 65-75% гача ошириш имконини берган;

қишлоқ хўжалиги чиқиндиларидан биогаз олишда ахборотларнинг ноаниқлиги шароитида биогаз олишнинг бошқарув алгоритми Қашқадарё вилояти «Биогаз» масъулияти чекланган жамиятида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлигининг 2022 йил 20 октябридаги №02-07-6168 сон маълумотномаси). Натижада йиллик иқтисодий самарадорлик 503.766 минг сўмни ташкил қилди, биогазнинг чиқиш давомийлиги 18 кунга оширишга эришилди ҳамда биогазнинг ёниши энергия самарадорлиги 10-12% га кўпайиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқотнинг натижалари 2 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқот мавзуси бўйича жами 18 та илмий иш чоп этилган бўлиб, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан тавсия этилган илмий нашрларда 9 та илмий мақола, жумладан 4 та мақола ОАК рўйхатига киритилган Республика журналларида, 5 та мақола SCOPUS халқаро маълумотлар базасига кирувчи журналларда нашр қилинган ҳамда 2 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларини қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат.

Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация тадқиқотининг долзарблиги ва зарурияти асослаган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Биогаз олишда интеллектуал бошқарув тизими таҳлили**» деб номланган биринчи бобида илмий-техник муаммонинг замонавий ҳолати танқидий таҳлил этилган. Биогаз ишлаб чиқаришда ферментация жараёни хусусиятлари ва жараёнларда қўлланиладиган бир нечта математик моделлари ва интеллектуал бошқаришни норавшан ва нейро-бошқарув ёндашувлар ҳамда ахборот-бошқарув тизимларда бошқарув қарорларини қабул қилиш усуллари таҳлилий кўриб чиқилган.

Бўлимда биогаз ишлаб чиқаришни ферментациялашнинг технологик жараёнларини моделлаштиришда маълумотларнинг ноаниқлигини ҳисобга олиш зарурлиги кўрсатилган. Ушбу муаммони ҳал қилиш учун ферментация пайтида юзага келадиган жараёнларнинг математик моделлари таклиф этилган.

Бугунги кунга қадар жуда кўп соддалаштирилган математик моделлар ишлаб чиқилган бўлиб, уларнинг мақсади турли хил бошланғич параметрларга қараб биогаз чиқишига қаратилган. Улар метан ферментациясининг кўп босқичли жараёнининг барча мураккабликларини акс эттирмайдилар ва нисбатан қисқа вақт ичида унинг алоҳида босқичларини ифодалайдилар. Мураккаб жараёнларни тезкор бошқарув тизимларида ростлагичларнинг функцияларини бажарадиган дастурлаштириладиган мантиқий контроллерларнинг ишлаш алгоритмлари таҳлил этилганда, бошқарув қарорларни қабул қилишни қўллаб-қувватлаш тизимларида тақсимланган адаптив нейро-норавшан архитектура олти қатламли нейрон тузилма кўринишида бўлиб, бунда кирувчи сигналлар алоҳида нейро-норавшан тузилмалар бўйича тақсимланади ҳамда ҳар бири алоҳида остмодел ролини бажарадиган нейро-норавшан тузилмалар тармоғи яратилади ва йиғма (умумлаштирилган ёки глобал) модел q остмоделлар тўпламидан ташкил топади. Норавшан қоидалар сони $N = m^p$ ифодаси билан аниқланади. Кўриб чиқилган модел учун тенглама (1) қуйидагича ифодаланади:

$$N = m_1^{p_1} + m_2^{p_2} + \dots + m_q^{p_q} \quad . \quad (1)$$

Моделнинг қатламлари қуйидагича ишлайди:

1-даража: Ушбу даражадаги нейронлар кирувчи сигналларини қабул қилиб, кейинги босқичга ўтказадилар.

2-даража: Норавшанланиш операцияси бажарилади, бу ишлатиладиган ёрдамчи функциялар тури ва сонини аниқлашни талаб қилади. Бу ҳолда (2) ифода ўринли бўлади:

$$\mu_{x_{p,m}}^{(n)} = \exp \frac{-(X_p - C_{x_{p,m}})}{2\sigma_{x_{p,m}}^2} \quad . \quad (2)$$

(2) формулада тавсифланган Гаусс функциясидан фойдаланилади.

3 -даража: Бу қатлам продукцион қоидаларнинг генераторидир, чунки бу ерда $f_y^{(N)}(k+j) = b_0^{(N)}$ туридаги норавшан қоидалар ҳосил бўлади.

4-даража: $\mu_{y_q}^{(n)}(k+j) = \mu_{x_1,m}^{(n)}(k+j) \cdot \mu_{x_2,m}^{(n)}(k+j) \cdot \dots \cdot \mu_{x_p,m}^{(n)}(k+j)$ ифода амалга оширилади.

5-даража: $y_{m1}, y_{m2}, \dots, y_{mq}$ алоҳида остмоделларнинг чиқишлари

$$\hat{y}_M(k+j) = \frac{\sum_{i=1}^q f_y^{(i)}(k+j) \mu_y^{(i)}(k+j)}{\sum_{i=1}^q f_y^{(i)}(k+j)} \quad . \quad (3)$$

(3) ифодаси мос равишда тузилади, бунда q ишлатилган остмоделлар сонини билдиради.

6-даража: Умумлашган моделнинг натижаси $y_{m1}, y_{m2}, \dots, y_{mq}$ алоҳида

остмоделларининг йиғиндисиде сифатида олинади.

Шунингдек, моделнинг бир нечта қатламлари ва уларнинг ишлашлари келтирилган. Ферментация жараёнилари учун нейро-норавшан бошқарув тизимларини синтез қилиш натижалари ва уларга эришиш бўйича тавсиялар таҳлил этилган.

Диссертациянинг «Биогаз олишда ахборотларни қайта ишлаш» деб номланган иккинчи бобида биогаз олишнинг ахборот – бошқарув тизими жорий этишда, бошқариш объектидан чиқувчи маълумотларни (метан концентрацияси) кузатишга халақит берувчи факторларнинг тартибини баҳолаш мақсадида ўтказилган илмий тадқиқотлар натижалари келтирилган.

Биогаз олишнинг ахборот – бошқарув тизимини амалга ошириш учун тизимли таҳлил асосида, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш ҳамда асосий факторларни танлаш ва баҳолаш учун, анаэроб жараёнида қишлоқ хўжалиги чиқиндиларини ва биогаз чиқишига таъсир этувчи факторлари таҳлил этилди. Ферментация жараёни пайтида биореактордаги ҳароратига қараб, учта режими қўлланилди, булар: психрофил (10-20°C), мезофил (30-45°C), термофил (50-65 °C).

Ўтказилган тадқиқотлар ва уларнинг натижаларига биноан биомасса билан юклама миқдорини аниқлаш учун биореакторнинг умумий ҳажми 100% деб олинади, юклаш миқдори ферментация учун олинган массанинг кунлик ҳажми бўлиб, биореакторнинг ҳажмининг улуши сифатида ифодаланади, бу кўп параметрларга боғлиқ бўлиб, уларнинг асосийси намлик бўлиб, мезофил жараён учун 7-11% ва термофил учун 14-22% орасида ўзгаради (1-жадвал).

1-жадвал

Биомассанинг биореакторга суткалик юклама миқдори

Ферментация режими	Биореактор ҳажмига нисбатан масса ва намлик миқдорлари кўрсаткичлари (%)				
	90	94	95	96	97
Мезофил	7	8	9	10	11
Термофил	14	16	18	20	22

Биогаз чиқиши интенсивлигига таъсир қилувчи яна бир факторлардан бу чўкмадаги кислота миқдори (pH даражаси). Метан ҳосил бўлишининг асосий реакциясини қуйидагича ёзиш мумкин (4-5-ифода келтирилган).



Тадқиқотларда биомасса намлигини аниқлаш учун иккита: бевосита термогравиметрик (қуритиш) усулидан ҳамда билвосита усулидан фойдаланилди. Биомасса намлигини ўлчаш натижасида олинган маълумотларни математик ишлов бериш орқали ифодалаб чиқилди.

Ишончилиги $P = 0,95$. Стъюдент коэффиценти 1,96 га тенг. Ўлчов натижаларининг ўртача арифметик қийматини (6) ифода орқали аниқлаймиз:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1040,35388}{50} = 20,807. \quad (6)$$

Ўртача квадрат четланишни (7) ифода орқали аниқлаймиз. Олинган натижалар ва уларга математик ишлов бериш ҳисоб-китоблари амалга оширилди. Ўртача квадрат четланишни баҳолаш:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,319. \quad (7)$$

Кузатишлар сони $n=50$ Стъюдент тақсимот жадвалидан фойдаланиб, эҳтимоллик $P=0,95$ ва эркинлик даражалари сонига $n-1=49$; $t_p=1,96$ мос келадиган t_p қиймати аниқланди. Олинган натижаларда мунтазам хатолик (8) ифода ҳамда (9) ифодадан муҳимлик даражаси мавжудлигини аниқлаб чиқамиз. Бу мақсадлар учун Аббе мезонларидан (10) ифодадан фойдаланиб, фарқни (дисперсия) икки усул билан аниқлаймиз:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{50-1} \cdot 5,0102 = 0,102 \quad (8)$$

$$\Omega^2 = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1})^2 = \frac{1}{2 \cdot 50} \cdot 70,575 = 0,70575 \quad (9)$$

Аббе мезони:

$$v = \frac{\Omega^2}{\sigma^2} = \frac{0,70575}{0,102} = 6,919 \quad (10)$$

Аббе мезонининг барча аҳамият даражалари $n=50$ учун жадвалига кўра, $v_{\text{ҳисоб}} < v_{\text{жадвал}}$ боғлиқлик бажарилмайди, шунинг учун ўлчашда мунтазам хатолик мавжуд бўлади.

Тажрибалар “Биогаз” МЧЖ тасарруфидаги чорвачилик фермер хўжалигидан олинган аралашмасиз қорамол гўнгида иборат бўлган биомасса ферментация қилишдан олдин унинг таркибидаги намлик миқдори аниқлаш учун қуритиш усулидан фойдаланиб тажрибалар ўтказилди, тажрибалар ТИҚХММИ Миллий тадқиқот университети лабораторияси шароитида намунавий UN30 қуритиш мосламасида, биомасса намлиги термогравиметрик усул билан аниқланди.

Олинган тажриба натижаларига биноан биомасса таркибидаги мавжуд бўлган намлик миқдори нормал қонунга бўйсунуши маълум бўлди, ўлчанган биомасса намлигининг миқдори ҳақиқий қиймати $P=0,95$ оралиғи интервал ишончлилиги билан баҳолаш учун ишонч оралиғи аниқланди.

Ушбу ишда қўлланилган адаптив бошқарув алгоритмлари ферментация жараёнини бошқариш тизимларининг турли хил иш режимларида барқарор ва биогаз чиқишини таъминлайдиган масалалар ечимларини тақдим этади. Бу жараён параметрларини барқарорлаштириш, намлик ва ҳароратни назорат қилиш имкон яратади.

Диссертациянинг «**Намлик-иссиқлик жараёнларининг модел ва алгоритмлари**» деб номланган учинчи бобда математик моделлаштириш илмий тадқиқотнинг муҳим босқичи эканлигини ифодалайди, чунки у муайян объектда содир бўладиган жараён физикасини тасаввур қилиш

имконини беради. Энг тўғри ва тўлиқ моделлар ўрганиш объектида содир бўладиган физик ҳодиса ёки жараённинг динамик хусусиятларини таҳлил қилиш жараёнини соддалаштиришга ёрдам беради.

Математик моделни қуриш учун таҳлил этилаётган материалларнинг диэлектрик хоссаларини билиш керак. Илмий адабиёт манбаларининг таҳлили шуни кўрсатмоқдаки, қорамол гўнгининг диэлектрик хусусиятлари ҳақида маълумот мавжуд эмаслиги аниқланди. Диэлектрик хусусиятларини аниқлашда, диэлектрик ўтказувчанлик (ϵ) ва қорамол гўнги диэлектрик йўқотиш бурчагининг тангенци ($tg\delta$) ўрганилаётган материалнинг турли намликларда (W), юқори частоталарда (40 МГц) ўлчашлар ўтказилишига белгиланган, шу мақсадда ўлчаш усули сифатида диэлькометрик бирламчи ўзгартиргичнинг юқори частотали усули танланди.

Танланган тўрт қутубли электромагнит тўлқиннинг нормал қутбланишидаги мавжуд Брюстер бурчаги учун, охириги тўлқин иккинчи муҳитга ўтганда, қуйидаги (11) тенгсизлик бажариши керак.

$$\epsilon_{01} \neq \epsilon_{02} \text{ ва } \mu_{01} \neq \mu_{02}$$

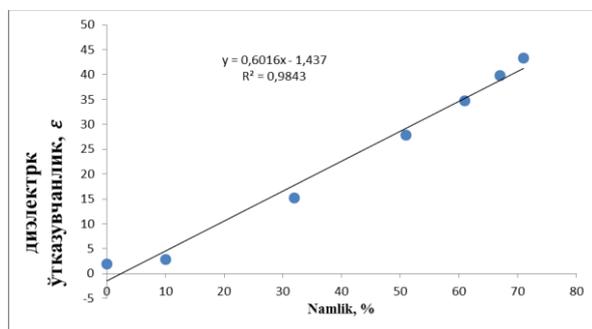
ёки умумий ҳолда

$$0 < \frac{(1 - \mu_1 \epsilon_{02} / \mu_2 \epsilon_{01})}{(1 - \mu_1 / \mu_2)} < 1. \quad (11)$$

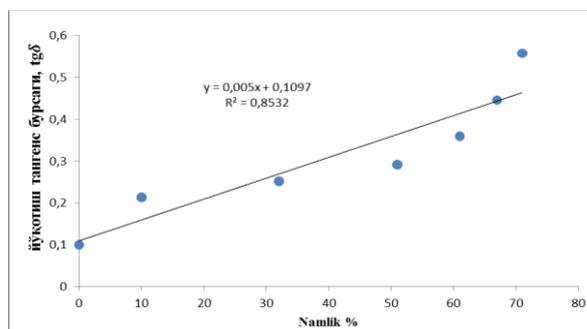
бу ерда ϵ ва μ - муҳитнинг диэлектрик ва магнит ўтказувчанлиги.

Ушбу ГОСТ ўлчов натижасининг кенгайтирилган ноаниқлигининг қийматлари қуйидагилардан иборат: ϵ ва $tg\delta$ (0,00005 дан 0,01 гача), ГОСТ Р54500.3 га мувофиқ 0,95 ишонч интервали даражасида ва 2 дан ошмайдиган оралик коэффициенти билан қабул қилинади.

Ўрганилаётган биомасса ва унинг намлиги Agilent E5071C электрон занжир анализатори ёрдамида комплекс диэлектрик ўтказувчанлик (ϵ) ва диэлектрик йўқотиш бурчагининг тангенци ($tg\delta$) ўлчаш орқали ўлчанди. 40 МГц частотада чиқиндиларни диэлектрик ўтказувчанлигини аниқланган натижалари дисертацияда келтирилди.



1 – расм диэлектрик ўтказувчанлик (ϵ) намлик билан боғлиқлик графиги



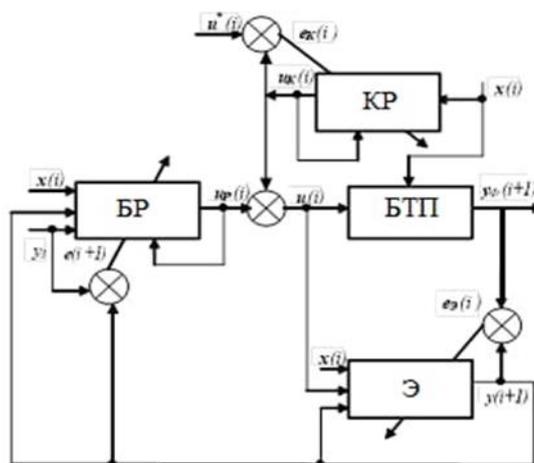
2 – расм. Диэлектрик йўқотиш бурчагининг тангенци ($tg\delta$) намлик билан боғлиқлик графиги

Олинган маълумотларига биноан, 1 ва 2 расмларда биомасса диэлектрик ўтказувчанлик (ϵ) ва диэлектрик йўқотиш бурчагининг тангенци ($tg\delta$) намлик билан боғлиқлик графиги кўрсатилган.



3-расм. Чорвачиликнинг органик чиқиндиларини қайта ишлаш учун микротўлқинли технологик линиянинг мослашувчан бошқарув блок схемаси

Биогаз олиш жараёнини компьютер моделлаштиришда чорвачиликнинг органик чиқиндиларини қайта ишлаш учун, микротўлқинли технологик линиянинг мослашувчан бошқарув блок схемаси 3-расмда кўрсатилган. Схемادا марказий ўринни автоматик бошқарув тизими (АБТ) эгаллайди, у бошқарув контроллери ва жараён моделига эга математик ишлов бериш блокидан иборат. Бошқарув тизими бошқарув таъсир учун бошқариш сигналлари ва қўшимча бошқариш таъсирларидан иборат, бошқарув тарқатиш қуйи тизимини (БТҚТ) ҳосил қилади.



4-расм. Адаптив нейро-норавшан бошқарув тизимининг схемаси

Биогаз олиш объектини бошқаришда чиқишдаги маҳсулот параметрларига ҳалақит берувчиларни назорат қилишни қайта ишлаш ва қарорлар қабул қилиш учун ахборот аналитик тизимни қуриш алгоритми

ишлаб чиқилди, натижада объект нейро-норавшан моделини қўллаш имконига эришилди.

Биогаз олиш тизимини бошқаришда, адаптив нейро-норавшан бошқарув тизими ишлаб чиқилди, унинг умумлаштирилган схемаси 4-расмда кўрсатилган.

Муаммо қўйилиши. Бошқариладиган биотехнологик жараёнларни бошқариш фарқ тенгламаси билан (12) тавсифланган динамик объект сифатида қаралади.

$$y(i+1) = f\left(\begin{matrix} y(i+1), y(i), y(i-1), \dots, y(i-g), x(i), x(i-1), \dots, x(i-k), \\ u(i), u(i-1), \dots, u(i-l) \end{matrix}\right), \quad (12)$$

бу ерда $i = 0, 1, 2, \dots, N$ - жорий дискрет вақт, $y(i+1), y(i), y(i-1), \dots, y(i-g)$ - биотехнологик жараёнларни бошқариш чиқиш параметрининг қийматлари, $x(i), x(i-1), \dots, x(i-k)$ - биотехнологик жараёнларни бошқаришнинг ғалаёнлантирувчи параметрлари векторининг қийматлари; $u(i), u(i-1), \dots, u(i-l)$ - бошқариш ҳаракатлари векторининг қийматлари; $f(y(i+1), y(i), y(i-1), \dots, y(i-g), x(i), x(i-1), \dots, x(i-k), u(i), u(i-1), \dots, u(i-l))$ - g, k, l маълум тартибли чизиқли бўлмаган функция.

Биотехнологик жараёнларни бошқаришнинг ғалаёнлантирувчи параметрлари ва бошқарув таъсирлари бўйича тўғридан-тўғри чекловлар ўрнатилди, яъни ҳар қандай дискрет вақт учун қуйидаги (13) муносабатлар амал қилади:

$$\begin{matrix} u_{\min} \leq u(i) \leq u_{\max}, \\ x_{\min} \leq x(i) \leq x_{\max}, i = 1, 2, \dots, N \end{matrix} \quad (13)$$

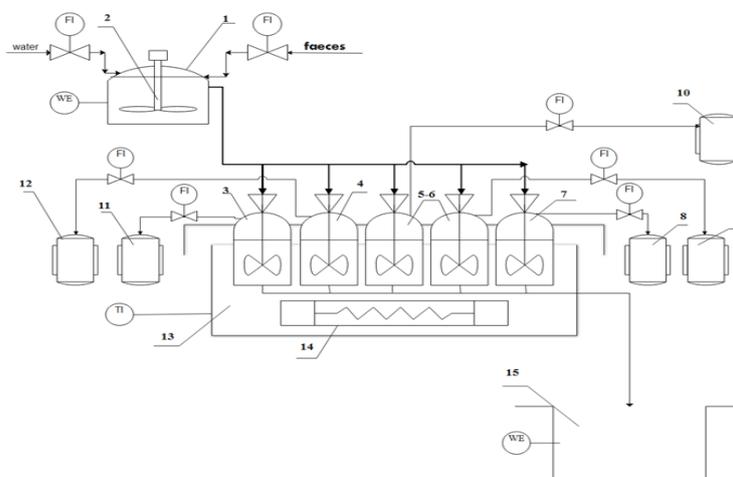
Дискрет биотехнологик жараёнларни бошқаришга нисбатан оптималлаштириш учун чиқиш параметрлари сифатида турли хил жараён ўзгарувчиларидан фойдаланиш мумкин: метан концентрациясини чиқиши, биореактор чиқишидаги субстратнинг қолдиқ концентрацияси ва бошқалар.

Муаммони ечими. Ушбу бошқарув тизимига бошқарув блоки (БР), компенсация блоки (БК), эмулятор (Э) ва ҳисоблагич (В) киради. Компенсаторлардаги регуляторлар сони биотехнологик жараёнларни бошқариш каналлари сонига тўғри келади. Регуляторларнинг ҳар бири, компенсаторлар ва эмулятор норавшан Сугено модели асосида қурилган. Киришда компенсатор, регулятор ва эмуляторда кечикиш билан чиқиш, кириш ва бошқариш сигналларининг қийматларини ташкил этувчи $z - \tau$, $\tau = 1, 2, \dots, N$ элементлар мавжуд. Адаптив нейро-норавшан бошқарув алгоритми қўйидагича ифодаланади: дастлабки иккита блок мос равишда ростлаш хатосини $\varepsilon(i+1)$ ва ғалаёнлантирувчи параметрларнинг таъсирини бартараф этиш учун мўлжалланган. Эмулятор ростлаш блокини сошлаш учун мўлжалланган ва биотехнологик жараёнларни бошқаришнинг содаллаштирилган нейро-норавшан моделидир.

Комбинацияланган турдаги гибрид интеллектуал бошқарув тизимларини қуришнинг юқоридаги усули биогаз ишлаб чиқариш микроорганизмларини ферментациялаш ва биогаз ишлаб чиқариш ҳамда унинг таркибида метан концентрациясини аниқлаш бўйича «Биогаз» МЧЖда синовдан ўтказилди.

Диссертациянинг «Биогаз олишда интеллектуал бошқарув тизимлари модел, алгоритм ва дастурларини синаш» деб номланган тўртинчи бобда, биогаз олишда техник ва иқтисодий тизимларнинг мураккаб бошқарув объектлари сифатида хусусиятларини ўрганиш, уларни бошқариш усуллари таҳлил қилиш, кириш маълумотлари сифатининг ўзгарувчанлиги шароитида ишлашнинг ўзига хос хусусиятлари ва нейро-норавшан тизимлар назарияси усуллари асосланиб, жараён моделларини куриш қарорларни қўллаб-қувватлаш воситаси сифатида кўриб чиқилди.

Тажрибалар қуйидагича амалга оширилди. Намлиги 60, 66, 70, 80% бўлган қорамолларнинг ҳамда қишлоқ хўжалик чиқиндилари мос равишда биореакторга юкланиб, улар эса герметик ёпилди. Газ сиғимлари биореакторга уланган, ундан илгари ҳаво сўриб олинган бўлиб, вакуум ҳолатига келтирилади. Биореакторлар атрофидаги сувлар ҳар куни бир марта қиздирилиб турилди. Вақти билан газ сиғимларида бирламчи газлар пайдо бўла бошлади, бу эса гумбазларни кўтарилиши билан аниқланди. Тажриба қурилмасидан олинган газ аралашмасининг таркиби хроматографик усулда аниқланди. Таҳлил қилиш учун стандарт конфигурациядаги ЛХМ-80 хроматографи ишлатилди. Тадқиқотлар олиб бориш учун, махсус тажрибавий лаборатория қурилмаси ишлаб чиқилди, у биогаз қурилмаси ва назорат ва ўлчов воситаларидан иборатдир. Ушбу тажриба синов лаборатория қурилмасининг схемаси 5-расмда келтирилган.



5- расм. Лаборатория қурилмасининг схемаси.

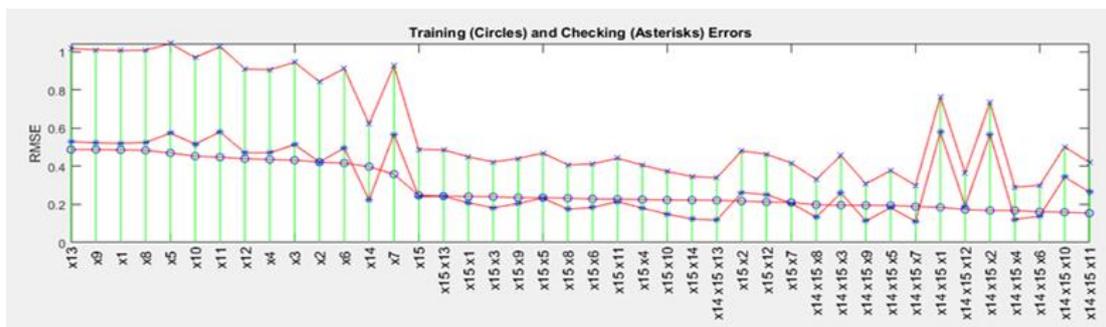
Бошқарув учун оптималлаштирилган норавшан қоидалар сони билан Такаги-Сугено мантиқий хулосалаш механизми ёрдамида нейро-норавшан башоратлаш моделларини ишлаб чиқиш мақсадини шакллантириб олинди.

Биогаз олиш жараёнида турли хил факторлар билан ифодаланди. Булардан x_1 – x_{15} омилларига қараб криминоген вазиятлар башоратлашни тузиш талаб қилинади. Тажриба давомида қуйидагилар кузатилдики, 3 дан катта кириш ўзгарувчилари сонининг кўпайиши билан тажриба ўтказиш вақти кўп талаб этилди. Шунинг учун seqsrch функцияси ёрдамида бутун тўпламдан ўзгарувчиларни танлашга қарор қилинди, унинг алгоритми

қуйидагилардан иборат. Биогаз чиқиши $y(k)$ ўзгарувчан қийматга 15 ўзгарувчан параметрлар таъсир қилиши мумкин:

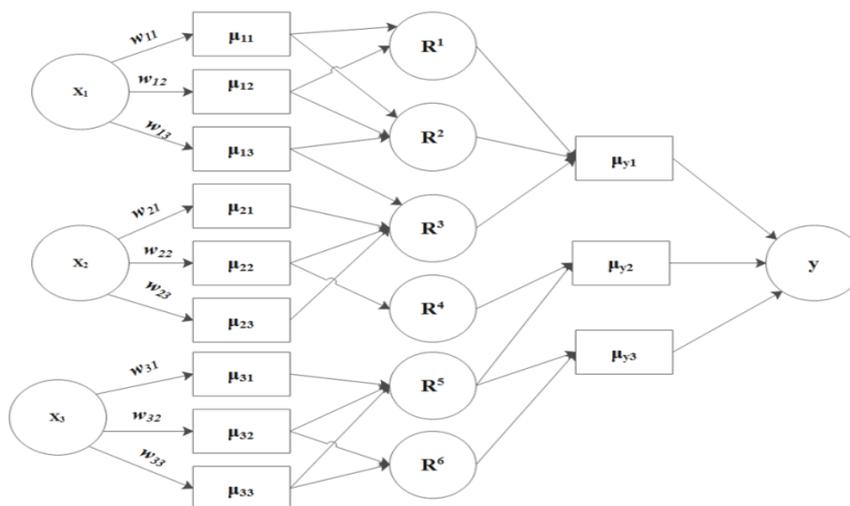
$$x_1; x_2; x_3; \dots \dots \dots x_{15}.$$

Моделнинг кириш ўзгарувчиларини танлаш учун олдинга кетма-кет қидирувни Матлаб дастури ёрдамида (sequential forward search) эвристик ёндашув қўлланилди. Ўзгарувчиларни киритиш учун 15 та фактордан 3 та ўзгарувчини танлагандан сўнг: $x_4; x_{14}; x_{15}$, факторлар танланди, тизимнинг анфис ёрдамида қийматлар берилди ва дастурда ўқитилди (6-расм).



6-расм. Нейро-норавшан моделнинг кириш ўзгарувчиларини олдинга кетма-кет қидириш усули билан танлаш.

Биогаз олиш жарараёнинг математик модели сифатида нейро-норавшан модели Такаги-Сугено мантиқий хулосалаш механизми билан беш қатламли структураси 7-расмда келтирилган.



7-расм. Тадқиқот объекти гибрид моделининг нейро-норавшан тузилиши

Моделнинг биринчи кириш қатлами параметрик бўлмаган бўлиб, кириш сигналларини тақсимланишини акс эттиради ва y вектор билан (14) ифодада тавсифланади:

$$y = f_y(x_1, x_2, x_3) \tag{14}$$

Моделнинг иккинчи қатлами параметрик бўлиб, y куйидаги муносабатлар билан тавсифланган ва Гаусс функциялари (15) ёрдамида чаплаш операциясини бажаради:

$$\mu_{x_{p,m}}^{(n)} = \exp \frac{-(x_p - c_{x_{p,m}})^2}{2\sigma_{x_{p,m}}^2} \quad (15)$$

Продукцион моделнинг бир қисмини қуйидагича ифодалаш мумкин:

Агар $\tilde{x}_1 = МП$ ва $\tilde{x}_2 = МЮ$ ва $\tilde{x}_3 = МЮ$

у ҳолда $\tilde{y} = МП$ ва $\tilde{y} = МЮ$ ва $\tilde{y} = МЮ$,

Агар $\tilde{x}_1 = МП$ ва $\tilde{x}_2 = МН$ ва $\tilde{x}_3 = МН$

у ҳолда $\tilde{y} = МП$ ва $\tilde{y} = МЮ$ ва $\tilde{y} = М$.

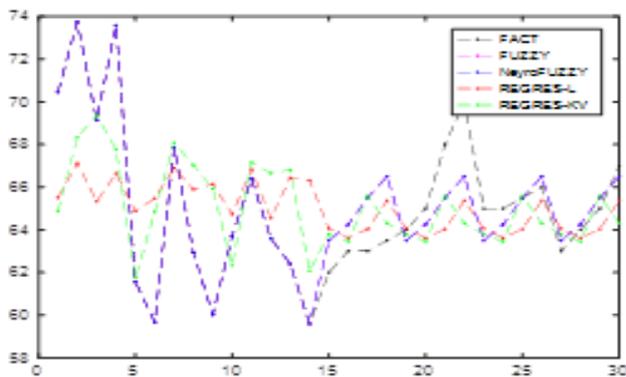
Юқорида келтирилган норавшан продукцион модел хулосалаш мантиқий блоки томонидан амалга оширилган композицион хулоса қоидаси ёрдамида қурилмани бошқариш таъсирларининг жорий қийматларини ҳисоблаш учун ишлатилди. Бунинг учун норавшан продукцион моделини норавшан бинар муносабатлар тилига ўтказилди.

Зарурий параметрларнинг берилган қийматлари учун умумий чиқиш қиймати (16) формула чиқиш параметрларининг чизикли бирикмасидир:

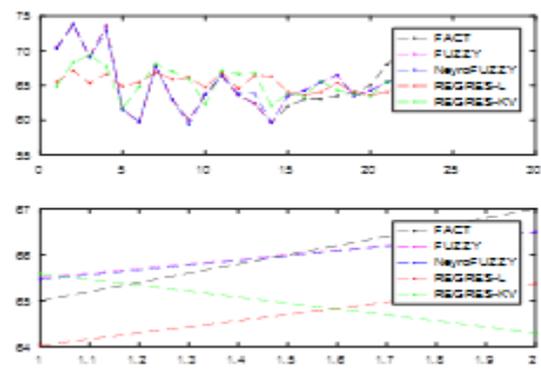
$$\begin{aligned} f &= \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2} f_1 + \frac{\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} f_2 + \frac{\omega_3}{\omega_1 + \omega_2} f_3 = \bar{\omega}_1 f_1 + \bar{\omega}_2 f_2 + \bar{\omega}_3 f_3 \\ &= (\bar{\omega}_1 x) p_1 + (\bar{\omega}_1 y) q_1 + (\bar{\omega}_1) r_1 + (\bar{\omega}_2 x) p_2 + (\bar{\omega}_2 y) q_2 + (\bar{\omega}_2) r_2 + (\bar{\omega}_3 x) p_3 \\ &\quad + (\bar{\omega}_3 y) q_3 + (\bar{\omega}_3) r_3 \end{aligned} \quad (16)$$

бу ерда $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2, p_3, q_3, r_3$ - чиқиш параметрлари.

Ишлаб чиқариш башорати омилларга қараб қуриш талаб этилади: x_1 - намлик, x_2 - биомасса ҳарорати, x_3 - биореактор ичидаги босим.



8-расм . Нейро-норавшан моделининг тuzилиши



9-расм. Нейро-норавшан моделининг тuzилиши

Нейрон тармоқ функциясидан фойдаланиб, тизимни ўқитамиз (8-расм) ва унинг ёйилма графиги олинди (9-расм). Норавшан тизимнинг ўқув маълумотларига мослашиш графиги 8-9-расмларда кўрсатилган. Графикдан кўриниб турибдики, нейро-норавшан тизим ўқув намунасини тўғри тасвирлай олди.

Тажриба натижалари шуни кўрсатдики, термофил - мезофил фазаларида ёнувчи газни олиш нуқтаи назаридан, намлик миқдори 75-85% бўлганда чорва моллари гўнгини дисперсиясиз ферментациялаш самаралироқ эканлиги

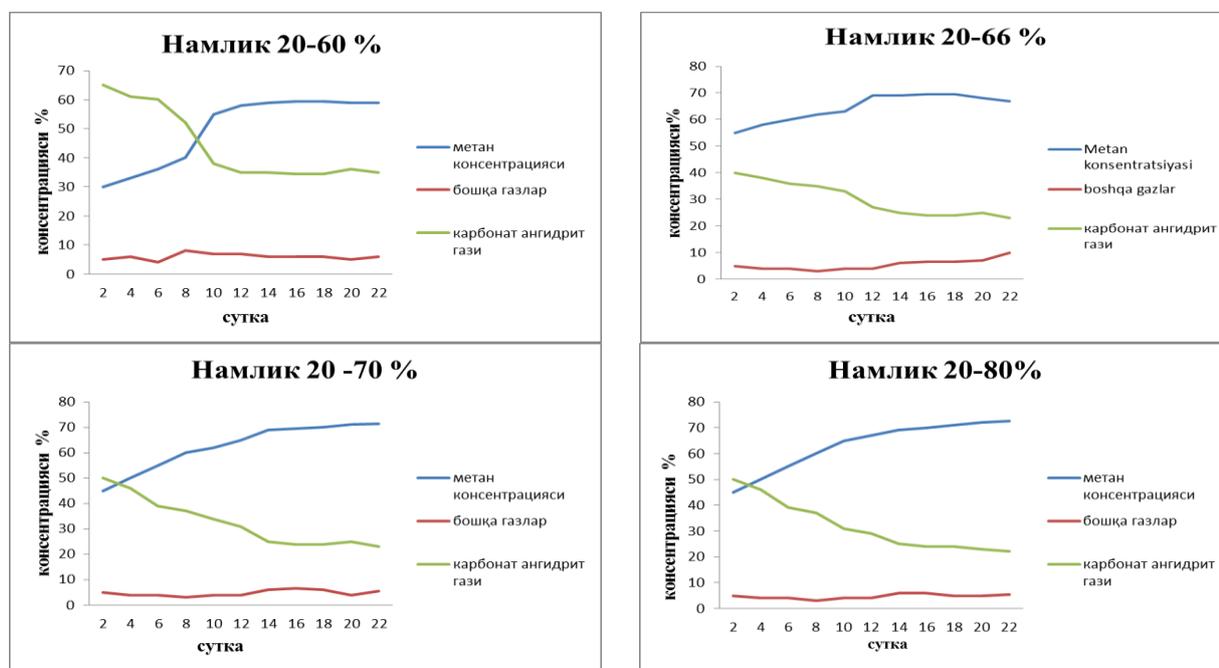
аниқланди, тажриба натижалари дисертациянинг иккинчи ва тўртинчи бобларида тўлиқ келтирилган.

Тажрибада олинган бирламчи маълумотлар бошқа тажрибаларда ҳам қўлланилди. Бошқа тажрибаларда намлик миқдори 60-80% ни ташкил этди. Олинган маълумотлар натижалари 2-жадвалда келтирилган. Иккала ҳолатда ҳам метан концентрациясини ўлчашда, уларнинг миқдори 59,5% ва 72,8% чегараларда бўлиши кузатилди (10-расм).

2-жадвал

Биогаз чиқиш ҳажми ва метан концентрацияси

Биомасса намлиги, %	Газ ҳажми, м ³ /сутка	Метан концентрацияси, CH ₄ %
60	1,15	59,5
66	1,5	69,5
70	1,7	71,3
80	2,1	72,8



10-расм. Ҳар хил намликларга уқта биореактордан чиқадиган биогаз таркибининг суткалик ўзгариш графикаси

Биогаз ишлаб чиқаришда 80% дан ортиқ бўлган намликда, биомасса ва термофил ферментация аралашмасининг дисперсиясидан фойдаланиб, бутун ферментация циклининг 3-7 куни давом этадиган объектда, биогаз унумдорлиги бир неча бор ошганлиги кузатилди. Биогаз олишнинг ахборот-бошқарув тизими жорий этилиши натижасида биогаз йиллик иқтисодий самара 503 766,26 сўмни ташкил этди. Биомасса намлиги 66-85% бўлганда, метан концентрацияси 61,5-75% чиқиши аниқланди. Мавжуд қурилмаларда эса, бу кўрсаткич 55-65% биогаз чиқиши кузатилди. Модернизация қилинган ва жорий қурилмаларга нисбатан биогаз чиқшининг миқдори 6,5-10% юқори эканлиги аниқланди. Биогазнинг чиқиш давомийлиги амалдаги усулда

22 кунни ташкил этган бўлса, ахборот-бошқарув тизими жорий этилганда – 40 кундан иборат бўлди, яъни биогаз чиқиш муддати 18 кунга ошди. Бу эса биогаз чиқиш ҳажмини икки баробар ошишига олиб келади.

ХУЛОСА

Биогаз ишлаб чиқишини бошқаришини тадқиқ қилиш натижасида қуйидаги илмий натижалар олинган:

1. Турли қишлоқ хўжалиги чиқиндиларидан биогаз ишлаб чиқаришни бошқариш назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолати таҳлил қилинган. Натижада уларни янада ривожлантириш ва такомиллаштириш йўналишлари аниқланди.

2. Биогаз ишлаб чиқаришни интеллектуал бошқариш тизимини жорий этиш жараёнида тизимли таҳлил асосида биогаз ҳажмида метан концентрациясининг ошишига таъсир қилувчи омиллар аниқланди, натижада ферментация жараёнининг параметрлари танланди ва баҳоланди, нейро-норавшан модели ва алгоритм адаптив жараёни бошқариш учун танланган параметрлар асосида ишлаб чиқилди.

3. Интеллектуал бошқарувнинг норавшан модели асосида биомассанинг ферментация жараёнини интеллектуал бошқариш усули ишлаб чиқилган бўлиб, биогаз чиқишида ва уларни бошқаришнинг интеллектуал тизимларини самарали ташкил этиш ҳамда, энергия сарфини камайтириш имконини беради.

4. Тадқиқотлар натижасида ўтган даврлар учун, ҳақиқий маълумотлар намуналари бўйича ўқитилган адаптив нейро-норавшан тармоқлар кўринишидаги тахминий моделларни қуришга асосланган чиқишни башоратлаш усули ва бошқариш алгоритми таклиф этилди. Таклиф этилган усул асосида аппроксимация қилинган башоратлаш модели яратилди ва «Биогаз» МЧЖ мисолида ахборот-бошқарув тизимида маълумотларни ҳисоблаш бўйича олинган натижалар ишлаб чиқариш корхонаси маълумотлари билан таққосланувчанлигини кўрсатди.

5. Ишлов берилган муҳитнинг интеллектуал - бошқарув тизимини жорий этиш орқали, аниқланган бошланғич параметрлари ($W = 66-85\%$) бўлганда, жадал усулда ҳарорат, босим ва намлик миқдорлари назорат қилинганда, биогаз олишда метан концентрацияси 65% дан 74,3% га (9,3%) ошишига ҳамда суткасига 1 кг биомассада 0,9 м³/с га тенг бўлган биогаз олишга эришилди. Биогазнинг чиқиш давомийлиги амалдаги усулда 22 кунни ташкил этган бўлса, интеллектуал-бошқарув тизими жорий этилганда – 40 кундан иборат бўлди, яъни биогаз чиқиш муддати 18 кунга оширилди.

6. Тадқиқотлар Биогаз МЧЖда жорий этилди ва асосланди (Ўзбекистон энергетика вазирлигининг 2022 йил 20 октябридаги №02-07-6168 сонли маълумотномаси), йиллик иқтисодий самарадорлик 503 766 260 сўмни ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/26.05.2022.Т.10.05 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ТАШКЕНТСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

АБДУЛЛАЕВ ХУСНИДДИН ХУСЕЙН УГЛИ

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА**

05.01.02 – Системный анализ, управление и обработка информации

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

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2022.4.PhD/T3273.

Диссертация выполнена в Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства».

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tiame.uz) и в Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Каландаров Палван Искандарович
Доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Сиддиков Илхом Хакимович
Доктор наук, профессор

Хайитматов Уктам Тургунович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация:

Институт Энергетических проблем
Академии наук Республики Узбекистан

Защита диссертации состоится «08» февраля 2023 года в 16⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/26.05.2022.T.10.05 при Национальном исследовательском университете «Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39. Тел: (+998-71)237-46-68; факс: (+998-71)237-19-36; e-mail: admin@tiame.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано № 253). (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39. Тел.: (99871) 237-46-68).

Автореферат диссертации разослан «26» января 2023 года.
(реестр протокола рассылки № 4 от «23» января 2023 года)



Н.С. Маматов
Председатель Научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

Д.К. Бекмуратов
Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии по техническим наукам (PhD)

М.А. Исмаилов
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Во многих странах мира биогаз признан перспективным источником энергии и является одним из способов решения проблем загрязнения окружающей среды. Одной из важных задач является использование цифровых технологий и методов искусственного интеллекта для повышения эффективности производства энергии за счет переработки сельскохозяйственных отходов.

В настоящее время существует ряд проблем в их производстве и использовании, наряду с широким использованием возобновляемых источников энергии, которые получают в мире, в частности, степень сгорания биогаза, получаемого в процессе производства биомассы, низкая, производство биогаза занимает много времени, содержание удаляемых в биогазе мало метана, полное отделение метана от биомассы не происходит. Важную роль в решении этих проблем играет создание информационных систем управления, основанных на процессе выработки биогаза, анализе систем управления, моделировании и обработке данных.

Биоэнергетика в Узбекистане, как один из альтернативных видов энергии в мире, становится безусловным фактором инновационного развития, в частности, она приводит к формированию новой технологической базы для производства электроэнергии и тепла, создает новые рабочие места, улучшает качество жизни людей. Принято постановление Президента Республики Узбекистан №3012 «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики на 2017-2021 годы, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере». ¹В целях обеспечения выполнения резолюции ПК-3012 от 26 мая 2017 года, возможности использования технологий производства биогаза, одного из возобновляемых источников энергии, и разработки, обработки и анализа методов, алгоритмов и систем информационного управления для получения и анализа важной информации в процессе, а также развития оперативного сбора данных, на их основе будут созданы источники альтернативные и возобновляемые источники энергии. 21 мая 2019 года был принят Закон Республики Узбекистан №539 «Об использовании возобновляемых источников энергии» для регулирования отношений в области использования возобновляемых источников энергии и реализации основных направлений государственной политики в области использования возобновляемых источников энергии.

В определенной степени исследование данной диссертации служит выполнению задач, предусмотренных в этих решениях и других нормативных правовых актах, связанных с данной деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологии

¹ Постановление Президента Республики Узбекистан, от 26.05.2017 г. № ПП-3012

республики. IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий»

Степень изученности проблемы. Производство биогаза является как сложные технологические процессы. В связи с этим вопросами исследования теоретических и практических задач сложными технологическими процессами и управления производством, системный анализу, управлению и обработка информации посвящены работы ряда зарубежных ученых: S.Aiba, J.Aragona, D.Bourdand, A.Cheryu, A.Constantinides, C.L.Cooney, A.Durand, C.Foulard, E.L.Gaden, A.E.Humphrey, R.E.King, J.L.Spencer, H.Y.Wang, В.В.Кафаров, Т.Г.Волова, В.П.Мешалкин, Ф.В.Егоров, В.С.Балакиров, Е.Г.Дудников, А.И.Бояринов, а также отечественных ученых: В.К.Кабулов, Н.Р.Юсупбеков, М.М.Камилов, Т.Ф.Бекмуратов, Т.Д.Раджабов, Х.З.Игамбердиев, Ш.М.Гулямов, Р.Х.Хамдамов, М.А.Исмаилов, Д.Т.Мухаммадиева, Ш.Имомов, А.Ш.Арифжанов, А.С.Кабильджанов, Л.Ф.Солюкова, и другие внесли значительный вклад в научные исследования в этом направлении.

Наряду с этим, несмотря на имеющиеся достижения в области исследований по рассматриваемым вопросам и значительные результаты, достигнутые в области системного анализа и управления, в настоящее время недостаточно изучено проблемы увеличения выхода биогаза, особенно концентрации метана и факторы негативно влияющих на его сгорания, а также разработке и совершенствования улучшенных систем управления процессами получения высококачественного биогаза.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-технической программы «Проблемы разработки технологий энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии в отраслях агропромышленного комплекса» Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства и инжиниринга Национально исследовательского университета в соответствии с решением Ученого совета №6 от 28 января 2021 года.

Цель исследования: разработка интеллектуальной системы управления процессом получения биогаза путем переработки сельскохозяйственных отходов.

Задачи исследования:

системный анализ интеллектуального системы управления и методов принятия управленческих решений на основе обработки данных;

выбор и оценка факторов, влияющих на выработку биогаза;

разработка нечеткой и нейронечеткой математической модели процесса производства биогаза;

проведение компьютерного моделирования и вычислительных экспериментов процесса получения биогаза;

разработка алгоритма поддержки принятия управленческих решений на основе выбора метода обработки данных сбора биогаза в интеллектуальной системе управления;

разработка алгоритма управления получения биогаза из сельскохозяйственных отходов в условиях информационной неопределенности.

Объектом исследования является система интеллектуального управления процесса получения биогаза из сельскохозяйственных отходов.

Предмет исследования модели и алгоритмы управления процессом получения биогаза из сельскохозяйственных отходов.

Методы исследования. В исследовании использовались методы системного анализа, принятия решений, теории управления, моделирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

на основе системного анализа выявлены и оценены факторы, влияющие на выработку биогаза;

разработаны нечеткие и нейронечеткие математические модели процесса производства биогаза;

для интеллектуальной системы управления разработан алгоритм поддержки интеллектуального принятия решений, на основе выбора метода обработки данных получения биогаза;

разработан алгоритм управления получения биогаза из сельскохозяйственных отходов в условиях неопределенности.

Практическая значимость результатов исследования:

для измерения технологических параметров при производстве биогаза, разработана интеллектуальная система управления;

исследованы диэлектрические проницаемости отходов биомассы, а также экспериментальное разработано устройство, определяющее многофакторную зависимость;

разработано программное обеспечение для контроля влажности в биореакторе с целью увеличения концентрации метана при производстве биогаза;

разработан алгоритм принятия решений по увеличению концентрации метана в составе биогаза и управления технологическим процессом;

с использованием системы интеллектуально управления разработана компьютерная модель служащая увеличению объема и содержания концентрации метана на выходе биогаза, и опробована в лабораторных условиях;

при производстве биогаза обоснована экономическая эффективность способа увеличения метана, выявлены влияющие факторы на выход объема метана.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что измерение технологических параметров при производстве биогаза разработана система интеллектуального управления прогнозирование ферментационных процессов для увеличения концентрации метана при

производстве биогаза, а также разработан способ управления технологическими процессами и алгоритм принятия решений.

Практическая значимость результатов исследований объясняется тем, что для использования интеллектуальной системы управления разработана компьютерная модель управления служащая увеличению объема и концентрации метана содержания выходящего биогаза, и опробована в лабораторных условиях, для контроля количества воды в биореакторе разработано программное обеспечение для определения и прогнозирования содержания метана, оценка влияния мешающих факторов на выход метана, в результате интенсификации обоснована технико-экономическая эффективность производства биогаза;

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается применением математического аппарата и объясняется совместимостью результатов систем управления технологическими процессами, полученных в теории и эксперименте, и положительностью результатов лабораторно – испытательных экспериментов.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных результатов по разработке моделей и алгоритмов управления процессом получения биогаза внедрена интеллектуальная система управления:

в процессе получения биогаза из различных сельскохозяйственных отходов были внедрены нейро-нечеткие модели процесса управления параметрами, учитывающие неопределенность данных, изменчивость параметров, увеличение концентрации метана, в ООО «Биогаз» Кашкадарьинской области (Справка министерства энергетики Республики Узбекистан от 20 октября 2022 года, № 02-07-6168). В результате удалось выбрать оптимальные режимы работы объекта управления в соответствии с изменением параметров, влияющих на концентрацию метана в биогазе.

алгоритмы поддержки принятия решений на основе выбора метода обработки биогазовых данных в информационно-управляющей системе внедрены в ООО «Биогаз» Кашкадарьинской области (Справка министерства энергетики Республики Узбекистан от 20 октября 2022 года, № 02-07-6168). На существующих устройствах этот показатель составлял 55-65%. В результате применение интеллектуальной системы управления позволило увеличить количество вырабатываемого биогаза на 6,5-10% выше в модернизированных варианте по сравнению с действующим устройством.

алгоритм управления получением биогаза в условиях информационной неопределенности при получении биогаза из сельскохозяйственных отходов был внедрен в обществе с ограниченной ответственностью в ООО «Биогаз» Кашкадарьинской области (Справка министерства энергетики Республики Узбекистан от 20 октября 2022 года, № 02-07-6168). В результате годовая экономическая эффективность составила 503 766 тыс. сумов, было достигнуто увеличение продолжительности выработки биогаза на 18 дней, а сжигание биогаза позволило повысить энергоэффективность на 10-12%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования

апробированы на 5 научных конференциях, из них: 2 международных и 3 республиканских.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликовано 18 научных работ, в том числе 16 статей в журналах, рекомендованных ВАК РУз., из них 7 – за рубежом, 4 в местных изданиях, 5 статей опубликовано в индексируемых на базе Scopus, 2 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введение обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, его цель и задачи, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетными направлениям развития науки и технологий республики, представлен обзор научных исследований по теме исследований и уровень изученности проблемы, излагаются научная новизна и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием «**Системный анализ интеллектуального управления получения биогаза**» проводится критический анализ современного состояния научно-технической проблемы.

В данной главе показана необходимость учета информационной неопределенности при моделировании технологических процессов брожения и выхода биогаза. Для решения этой задачи предложены математические модели процессов, протекающих при брожении.

Для построения систем управления такими объектами в основном используют теорию нечетких систем и аппарат нечеткой логики.

При анализе алгоритмов работы программируемых логических контроллеров, выполняющих функции регуляторов в системах оперативного управления сложными процессами, адаптивная нейро-нечеткая архитектура, распределенная в системах поддержки принятия управленческих решений, выполнена в виде шестислойной нейронной структуры, в которой входящие сигналы «распределяются» отдельными нейро-нечеткими структурами, и создается сеть нейро-нечетких структур, каждая из которых выполняет роль отдельной осмодели.

Нечеткие правила характеризуется выражением

$$N = m_1^{p_1} + m_2^{p_2} + \dots m_q^{p_q}$$

Слои модели работают следующим образом:

1-слой: нейроны на этом уровне получают свои входящие сигналы и передают их на следующий уровень.

2-слой: выполняется операция нечеткости, которая требует определения типа и количества используемых вспомогательных функций. В этом случае

$$\mu_{Xp,m}^{(n)} = \exp \frac{-(X_p - C_{Xp,m})^2}{2\sigma_{Xp,m}^2}$$

используется функция Гаусса, описанная в формуле.

3-слой: этот слой является генератором продукционных правил, так как здесь формируются нечёткие правила типа $f_y^{(N)}(k+j) = b_0^{(N)}$.

4-слой: осуществляется $\mu_{yq}^{(n)}(k+j) = \mu_{x_1,m}^{(n)}(k+j) * \mu_{x_2,m}^{(n)}(k+j) * \dots * \mu_{x_p,m}^{(n)}(k+j)$ выражение.

5-слой: $y_{m1}, y_{m2}, \dots, y_{mq}$ выражение выходных данных

$$\hat{y}_M(k+j) = \frac{\sum_{i=1}^q f_y^{(i)}(k+j) \mu_y^{(i)}(k+j)}{\sum_{i=1}^q f_y^{(i)}(k+j)}$$

отдельных остмоделей формируется соответствующим образом, в котором q обозначает количество используемых остмоделей.

6-слой: Результатом обобщенной модели $y_{m1}, y_{m2}, \dots, y_{mq}$ является как сумма отдельных остмоделей.

Нейро - нечеткая модель входных сигналов выражена в виде пятислойной структуры с механизмом логического вывода Такаги-Сугено.

Также перечислены несколько уровней модели и их производительность. Проанализированы результаты синтеза нейро-нечётких систем управления процессами ферментации для их достижения, даны рекомендации.

Во второй главе диссертации, озаглавленной «**Обработка информации при извлечении биогаза**», представлены результаты научных исследований, проведенных с целью оценки порядка факторов, препятствующих внедрению интеллектуальных систем управления для получения биогаза, мониторинга информации (концентрации метана), исходящей от объекта управления.

По результатам исследований был проведен сравнительный анализ для измерения влияния количества влаги на концентрацию содержащегося в ней метана на выходе биогаза, а также для создания базы данных по его результатам и выбора сигнала первичного преобразователя в качестве ёмкостного информационного параметра, а также в результате чего стало возможным оценить состояние сложного многофакторного объекта.

Производство биогаза осуществляется в широком диапазоне температур. В процессе ферментации, в зависимости от температуры в биореакторе, использовались три режима: психрофильный (10-20°C), мезофильный (30-45°C), термофильный (50 - 65°C).

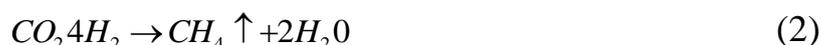
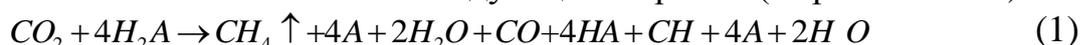
Согласно проведенным исследованиям и их результатам, для определения количества загрузки по биомассе общий объем биореактора принимается за 100%, величина загрузки представляет собой суточный объем массы полученной для ферментации выраженный в процентах от объема биореактора, который зависит от множество параметров, главным из которых является влажность, которая варьируется между 7-11% для мезофильного процесса и 14-22% для термофильного (таблица 1).

Табл.1

Суточная загрузка биомассы в биореактор

Режим брожения	Показатели массы и содержания влаги по отношению к объему биореактора (%)				
	90	94	95	96	97
Мезофильный	7	8	9	10	11
Термофильный	14	16	18	20	22

Другим фактором, влияющим на интенсивность выработки биогаза, является количество кислоты в осадке (уровень pH). Основную реакцию образования метана можно записать следующим образом (выражение 1-2).



Для рассматриваемых материалах в наших исследованиях использовались два метода определения влажности биомассы: прямой термогравиметрический (сушильный) метод, а также косвенный метод.

Данные, полученные в результате измерения влажности биомассы, были выражены с помощью математической обработки.

Математическая обработка данных, полученных в результате измерения влажности биомассы, была проведена соответственным способом.

Надёжность $P = 0,95$. Коэффициент студента 1,96. Определяем среднее арифметическое результатов измерения:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1040,35388}{50} = 20,807$$

Определяем среднее квадратическое отклонение. Проводим расчет полученных результатов и их математическую обработку. Оцениваем среднеквадратическое отклонения:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,319$$

Количество наблюдений равно $n = 50$, с использованием таблицы распределения Стьюдента определяем значение t_p , при соответствующей вероятности $P = 0,95$ и числу степеней свободы $n - 1 = 49$: $t_p = 1,96$.

Уточним, существует ли обычный уровень значимости ошибки в полученных результатах. Для этих целей используем критерии Аббе. Определяем разницу (дисперсию) двумя способами:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{50-1} \cdot 5,0102 = 0,102$$

$$\Omega^2 = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1})^2 = \frac{1}{2 \cdot 50} \cdot 70,575 = 0,70575$$

Критерий Аббе:

$$v = \frac{\Omega^2}{\sigma^2} = \frac{0,70575}{0,102} = 6,919$$

Все уровни значимости критерия Аббе $n = 50$, согласно таблице для $v_{расч.} < v_{табл.}$ зависимость не выполняется, поэтому при измерении имеется систематическая ошибка.

Эксперименты проводились с использованием метода сушки для определения количества влаги, содержащейся в биомассе перед ферментацией, которая состоит из навоза крупного рогатого скота без смеси, полученной с животноводческой фермы, находящейся в распоряжении ООО «Биогаз», эксперименты проводились в сушильном устройстве образца UN30 в условиях лаборатории Национального исследовательского университета «ТИИИМСХ».

Оказалось, что результаты существующего содержания влаги в биомассе подчиняются нормальному закону, для оценки достоверности интервала было определено фактическое значение измеренного содержания влаги в биомассе в диапазоне $p=0,95$ доверительного интервала.

Анализ показывает, что в ранее выполненных работах недостаточно внимания уделялось разработке математических моделей диэлектрических свойств гетерогенных систем. Соответственно, требуется производить контроль и регулирование параметров температуры, давления и влажности биомассы в результате изменения электропроводности сельскохозяйственных отходов в высокочастотном электрическом поле.

Алгоритмы адаптивного управления, используемые в данной работе, позволяют решения проблем, которые обеспечивают стабильный выход биогаза в различных режимах работы систем управления в процессе ферментации, что позволяет стабилизировать параметры процесса, и контролировать влажность и температуру.

В третьей главе диссертации, озаглавленной «**Модели и алгоритмы влаготепловых процессов**», обсуждаются, что, математическое моделирование является важным этапом научных исследований, поскольку оно позволяет визуализировать физику процесса, происходящего на конкретном объекте. Наиболее точные и полные модели помогут упростить процесс анализа динамических характеристик физического явления или процесса, происходящего на объекте исследования.

Чтобы построить математическую модель, необходимо знать диэлектрические свойства анализируемых материалов. Анализ источников научной литературы подтверждает, что в настоящее время информация о диэлектрических свойствах навоза крупного рогатого скота отсутствует. При определении диэлектрических свойств определяют диэлектрическую проводимость (ϵ) и тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) навоза крупного рогатого скота, для проведения измерений исследуемого материала при различной влажности (W), на высоких частотах (40 МГц), для этого более приемлемым является высокочастотный метод, для этих целей метода измерения был выбран ёмкостной первичный преобразователь.

В этом случае для существования угла Брюстера при нормальной полярности волны, когда последняя волна переходит во вторую среду, необходимо выполняться следующее неравенство.

$$\varepsilon_{01} \neq \varepsilon_{02} \text{ и } \mu_1 \neq \mu_2$$

или в общем случае

$$0 < \frac{(1 - \mu_1 \varepsilon_{02} / \mu_2 \varepsilon_{01})}{(1 - \mu_{11} / \mu_2)} < 1 \quad (8)$$

где ε и μ - диэлектрическая и магнитная проводимость среды.

Значения расширенной неопределенности результата этого измерения по ГОСТу соответствует: ε и $\text{tg}\delta$ (от 0,00005 до 0,01), оцененные на уровне доверительного интервала 0,95 согласно ГОСТ Р54500.3 и с промежуточным не превышающего коэффициента 2-м.

Исследуемую биомассу и содержание влаги в ней измеряли с помощью электронного анализатора (влажмера) Agilent E5071C путем измерения комплексной диэлектрической проводимости (ε) и тангенса ($\text{tg}\delta$) угла диэлектрических потерь. Результаты определения диэлектрической проводимости отходов при частоте 40 МГц

Согласно полученным данным, на рисунке 1 и 2 представлены графики зависимости диэлектрической проводимости биомассы (ε) и тангенса ($\text{tg}\delta$) угла диэлектрических потерь от влажности.

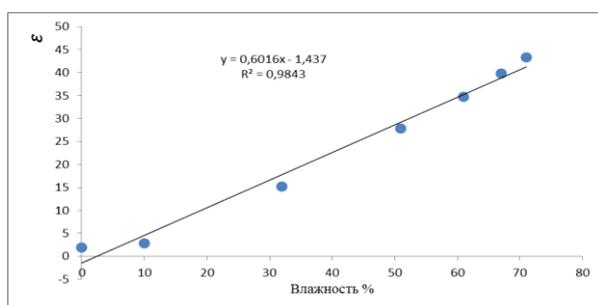


Рис. 1. График зависимости диэлектрической проводимости (ε) от влажности

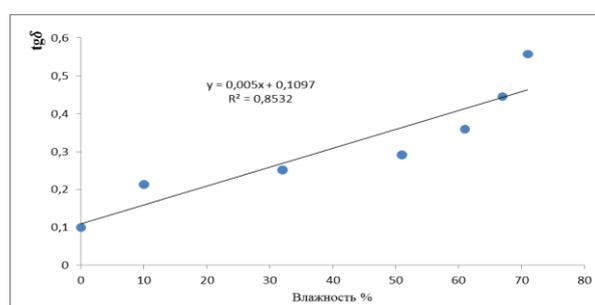


Рис.2. График зависимости тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$)

Для переработки органических отходов животноводства при компьютерном моделировании процесса получения биогаза схема адаптированного блока управления микроволновой технологической линией показана на рисунке 3. Центральное место в схеме занимает система автоматического управления (САУ), которая состоит из управляющего контроллера и блока математической обработки с моделью процесса. Для управляющего воздействия система управления состоит из управляющих сигналов и дополнительных управляющих воздействий, образующих подсистему распределения управления (ПРУ).

При управлении объектом получения биогаза был разработан алгоритм обработки для контроля мешающих выходных параметров продукта и принятия решений, а также построения интеллектуальной системы управления, в результате чего на объекте применена нейро-нечёткая модель.

В условиях, которые могут возникнуть в алгоритме управления, опыт контроллеров процесса используется в виде базы моделей нечеткой системы, и это решает проблемы формирования функций принадлежности лингвистических терминов входных и выходных переменных моделей процесса и нечеткой системы.

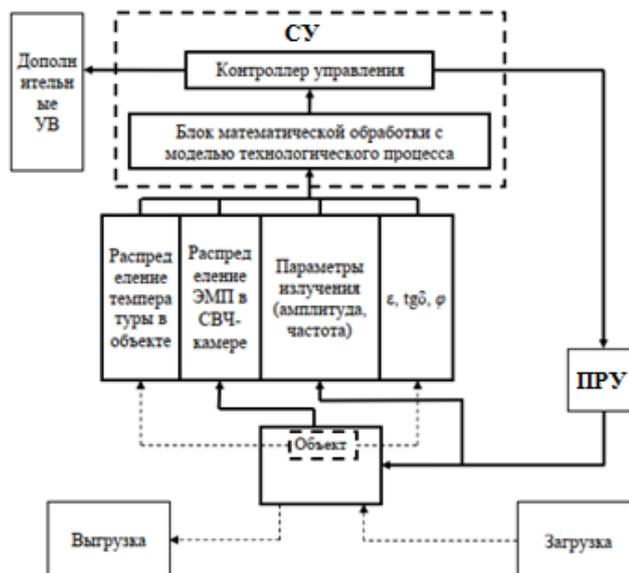


Рис.3. Блок-схема адаптивного управления микроволновой технологической линией по переработке органических отходов животноводства

При управлении системой извлечения биогаза была разработана адаптивная нейро-нечеткая система управления, обобщенная схема которой показана на рисунке 4.

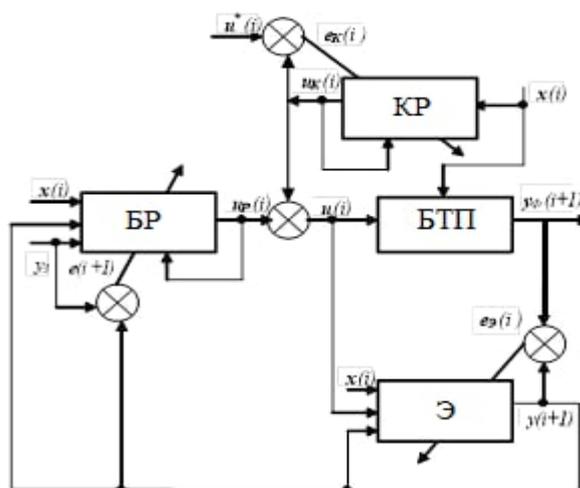


Рис. 4. Схема адаптивной нейро-нечёткой системы управления

Постановка задачи. Управляемый биотехнологический процесс рассматривается как динамический объект, описываемый разностным уравнением

$$y(i+1) = f(y(i), y(i-1), \dots, y(i-g), x(i), x(i-1), \dots, x(i-k), u(i), u(i-1), \dots, u(i-l)), \quad (9)$$

где $i = 0, 1, 2, \dots, N$ - текущее дискретное время; $y(i+1), y(i), y(i-1), \dots, y(i-g)$ - значения выходного параметра биотехнологического процесса; $x(i), x(i-1), \dots, x(i-k)$ - значения вектора возмущающих параметров биотехнологического процесса; $u(i), u(i-1), \dots, u(i-l)$ - значения вектора управляющих воздействий;

$$f(y(i), y(i-1), \dots, y(i-g), x(i), x(i-1), \dots, x(i-k), u(i), u(i-1), \dots, u(i-l))$$

нелинейная функция с известными порядками g, k, l .

На возмущающие параметры и управляющие воздействия биотехнологического процесса наложены прямые ограничения, т.е. для любого дискретного момента времени справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} u_{\min} &\leq u(i) \leq u_{\max}, \\ x_{\min} &\leq x(i) \leq x_{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (10)$$

Задача управления биотехнологическими процессами заключается в стабилизации выходного параметра $y(i+1)$, т.е. построении такого управления, для которого ошибка регулирования $\varepsilon(i+1) = |y_3 - y(i+1)|$ при выполнении условий (9) имела бы допустимую величину, где y_3 - заданная величина, полученная в ходе решения задачи оптимизации биотехнологическими процессами.

Решение задачи. Данная система управления включает блок регулирования (БР), блок компенсации (БК), эмулятор (Э) и вычислитель (В). Количество регуляторов в БР и компенсаторов в БК соответствует числу каналов управления биотехнологическими процессами. Каждый из регуляторов, компенсаторов и эмулятор построены на основе нечеткой модели Сугено. На входе компенсатор, регулятор и эмулятор содержат элементы $z^{-\tau}$, $\tau = 1, 2, \dots$, которые формируют значения выходных, входных и управляющих сигналов с задержкой.

Первые два блока соответственно предназначены для устранения ошибки регулирования $\varepsilon(i+1)$ и влияния возмущающих параметров. Эмулятор предназначен для настройки БР и представляет собой упрощенную динамическую модель биотехнологического процесса. Вычислитель производит вычисление выходного параметра $y(i+1)$ по значению вектора физических выходных переменных биотехнологического процесса $y_\phi(i+1)$.

Вышеуказанный способ построения интеллектуальных систем управления комбинированного типа был апробирована для ферментации микроорганизмов производства биогаза, а также определения концентрации метана составе биогаза в условиях ООО "Биогаз".

В четвертой главе диссертации, названной «Испытание моделей, алгоритмов и программ интеллектуальных систем управления при получении биогаза», проведено исследование свойств технико-экономических систем как сложных объектов управления при извлечении биогаза, анализ методов их управления, исходя из специфики работы в

условиях неустойчивости качества входных данных и методов нейронечеткой теории систем, построение моделей прогнозирования рассматривалось как средство поддержки принятия решений.

Эксперименты проводились следующим образом. Сельскохозяйственные и отходы крупнорогатого скота, влажностью 60, 66, 70, 80%, загружали в биореактор соответственно, и их герметично закрывали и устанавливали в контейнер, наполненный водой. Газовые ёмкости подключены к биореактору, из которого предварительно был отсосан воздух и доведен до вакуумного состояния. Вода вокруг биореакторов нагревалась один раз в день. К тому времени первичные газы начали появляться в газовых ёмкостях, что определялось подъемом куполов. В ходе исследования было определено количество биогаза и концентрация метана в его составе. Общий период ферментации не превышал 20 дней.

Состав газовой смеси, полученной из устройства, определяли методом хроматографии. Для анализа использовался хроматограф ЛХМ-80 в стандартной конфигурации.

Для проведения исследований было разработано лабораторное устройство, которое состоит из смесителя, биореактора, газгольдера и контрольно-измерительных приборов. Схема экспериментально-лабораторной устройства приведена на рисунке 5.

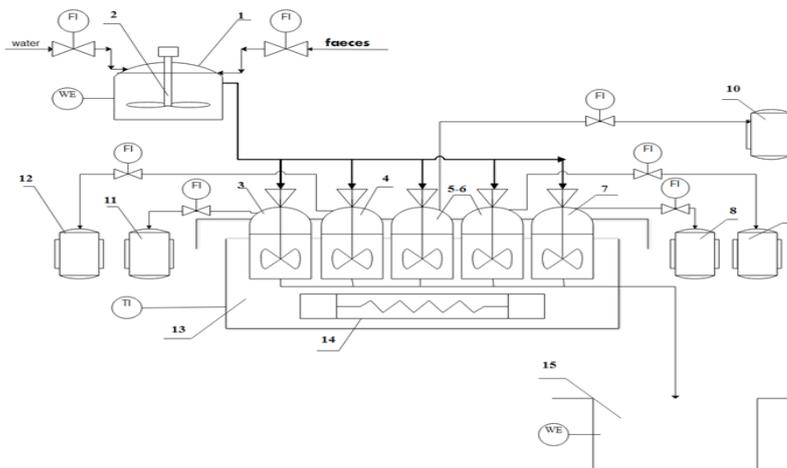


Рис. 5. Схема лабораторного устройства

Эксперименты проводились как в лаборатории Национального исследовательского управления «Ташкентский институт ирригации и механизации сельскохозяйственного хозяйства», кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами и производством», так и в условиях ООО «Биогаз». Принцип работы экспериментального испытательного устройства заключается в следующем.

В процессе получения биогаза проявлялись различные факторы. Они необходимы для составления прогнозов криминогенных ситуаций в зависимости от факторов x_1-x_{15} . В ходе эксперимента было замечено следующее, что при увеличении числа входных переменных больше 3, время необходимое для эксперимента, было значительно больше. Поэтому было

решено выбрать переменные из всего набора с помощью функции `seqsrch`, алгоритм которой состоит в следующем. На переменное значение $y(k)$ выхода биогаза могут влиять 15 переменных параметров:

$$x_1; x_2; x_3; \dots x_{15}.$$

Для выбора входных переменных модели был использован интуитивный подход с использованием программы прямого последовательного поиска Matlab (`sequential forward search`). При таком поиске на каждом шаге в модель добавляется одна входная переменная, и это обеспечивает минимальное значение ошибки среднеквадратичного отклонения.

После выбора 3 переменных из 15 факторов для ввода переменных: $x_4; x_{14}; x_{15}$, были выбраны факторы, значения заданы с помощью функции `anfis` системы и обучены в программе (см. рисунок 6).

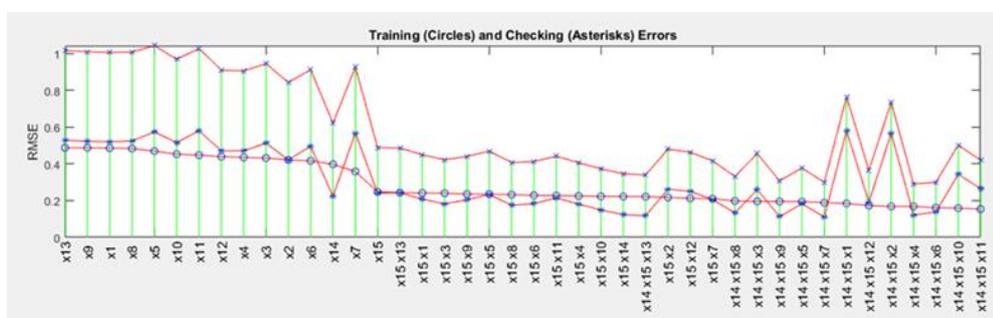


Рис. 6. Выбор входных переменных нейро-норавшанской модели методом прямого последовательного поиска.

Первый входной слой модели является непараметрическим, отражающим распределение входных сигналов (рисунок 7), y характеризуется вектором:

$$y = f_y(x_1, x_2, x_3) \quad (14)$$

Второй уровень прогнозирования модели является параметрическим, который характеризуется следующими взаимоотношениями и выполняет операцию настройки с использованием функций Гаусса:

$$\mu_{x_{p,m}}^{(n)} = \exp \frac{-(x_p - c_{x_{p,m}})^2}{2\sigma_{x_{p,m}}^2} \quad (15)$$

Часть производственной модели может быть выражена следующим образом:

Если $\widetilde{x}_1 = \text{МП}$ и $\widetilde{x}_2 = \text{МЮ}$ и $\widetilde{x}_3 = \text{МЮ}$
 тогда $\widetilde{y} = \text{МП}$ и $\widetilde{y} = \text{МЮ}$ и $\widetilde{y} = \text{МЮ}$,
 Если $\widetilde{x}_1 = \text{МП}$ и $\widetilde{x}_2 = \text{МН}$ и $\widetilde{x}_3 = \text{МН}$
 тогда $\widetilde{y} = \text{МП}$ и $\widetilde{y} = \text{МЮ}$ и $\widetilde{y} = \text{М}$.

Модель производства нечеткого модели в виде суммирования использовалась для вычисления текущих значений управляющих воздействий устройства с использованием правила составного вывода, реализованного логическим блоком. Для этого производственная нечеткая модель была переведена на язык нечеткого бинарных отношений.

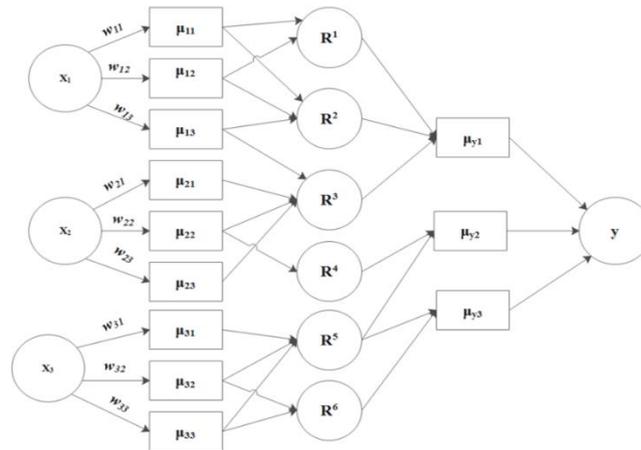


Рис. 7. Объектом исследования нейро-нечёткой структуры гибридной модели

Общее выходное значение для заданных значений необходимых параметров (рис. 7):

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2} f_1 + \frac{\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} f_2 + \frac{\omega_3}{\omega_1 + \omega_2} f_3 = \overline{\omega}_1 f_1 + \overline{\omega}_2 f_2 + \overline{\omega}_3 f_3 \\
 &= (\overline{\omega}_1 x) p_1 + (\overline{\omega}_1 y) q_1 + (\overline{\omega}_1) r_1 + (\overline{\omega}_2 x) p_2 + (\overline{\omega}_2 y) q_2 + (\overline{\omega}_2) r_2 + (\overline{\omega}_3 x) p_3 \\
 &\quad + (\overline{\omega}_3 y) q_3 + (\overline{\omega}_3) r_3
 \end{aligned}$$

здесь $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2, p_3, q_3, r_3$ выходные параметры.

Производственные прогнозы необходимо строить в зависимости от факторов: x_1 -влажность, x_2 – температура биомассы, x_3 -давление внутри биореактора.

С помощью функции нейронной сети обучим нашу систему (рис. 8). График адаптации нечеткой системы к обучающим данным представлен на рисунке 9.

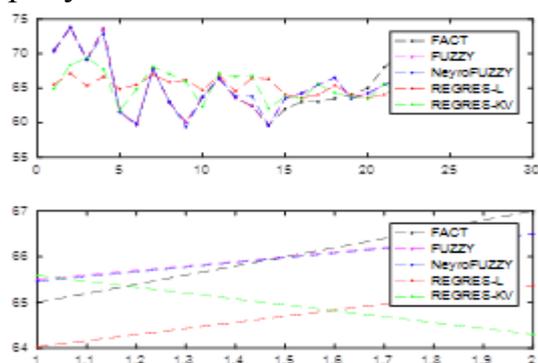


Рис.8. Структура нейро-нечёткой модели

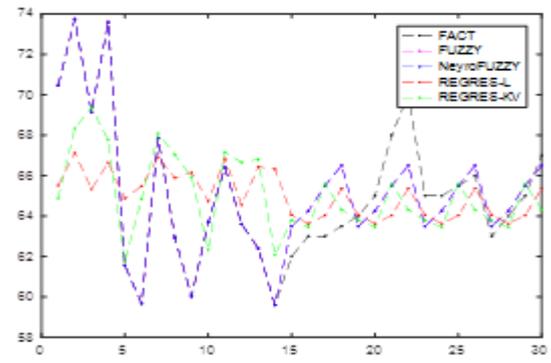


Рис.9. Структура нейро-нечёткой модели

Как видно из графика, нейро-нечеткая система типа смогла достаточно точно описать обучающую выборку. Результаты эксперимента показали, что с точки зрения получения горючего газа в термофильно-мезофильных фазах было установлено, что ферментация навоза животных без диспергирования более эффективна при содержании влаги 75-85%.

Первичные данные, полученные в эксперименте, были также использованы в других экспериментах, содержание влаги составляло 60-80% (рисунок 10).

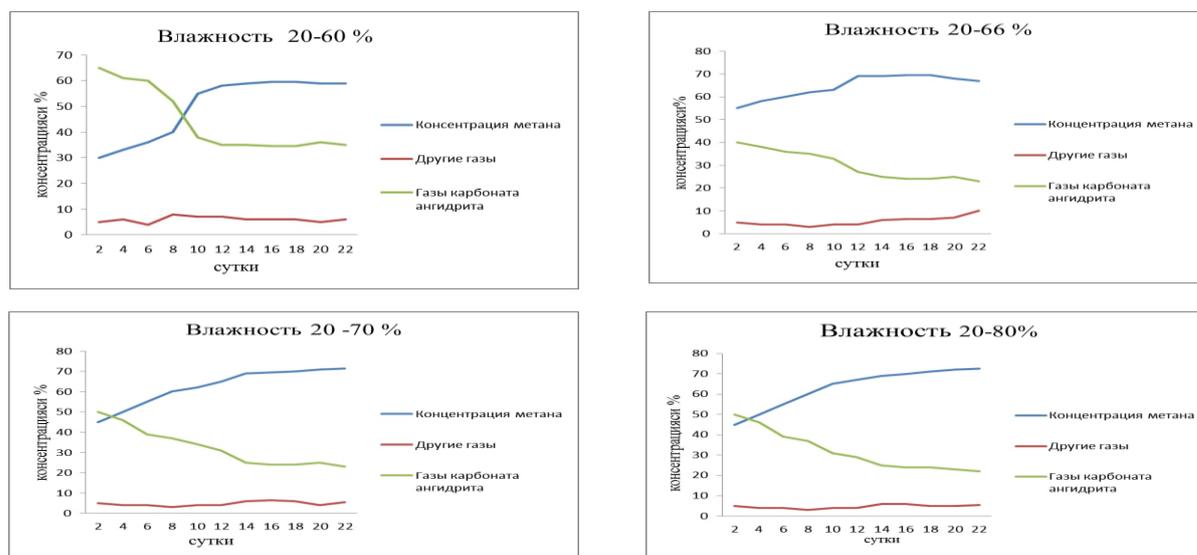


Рис.10. График суточного изменения содержания выхода биогаза, из трех биореакторов при различной влажности

Результаты полученных данных соответствовала следующим показателям представлены в таблице 5. В обоих случаях при измерении концентрации метана их количество находилось в пределах 59,5% и 72,8% :

Табл.5

Выход объема биогаза и концентрация метана

Влажность биомассы, %	Объем газа, м ³ /сутки	Концентрация метана, CH ₄ %
60	1,15	59,5
66	1,5	69,5
70	1,7	71,3
80	2,1	72,8

При влажности более 80% получении биогаза с использованием диспергирования смеси биомассы и термофильной ферментации было выявлено, что на объекте, весь цикл ферментации которое длится 3-7 дней, производительность биогаза увеличивается в несколько раз.

В результате внедрения интеллектуальной системы управления получения биогаза был достигнут годовой экономический эффект (503 766,26 тыс. сум). Когда влажность биомассы составлял 66-85%, было определено, что концентрация метана может достичь 61,5 - 75%. Однако на существующих устройствах этот показатель составлял 55-65% выхода биогаза. Анализ результатов исследований показало, что применение интеллектуальной системы управления позволило увеличить количество вырабатываемого биогаза на 6,5-10% выше в модернизированном варианте по сравнению с действующим устройством.

Продолжительность выработки биогаза при текущем способе составляла 22 дня, при внедрении интеллектуальной системы управления – 40 дней, то есть время выработки биогаза увеличилось на 18 дней. Это привело к увеличению объема вырабатываемого биогаза два раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования интеллектуальной системы управления выхода биогаза получены следующие научные результаты:

1. Проанализировано современное состояние теории и практики управления получения биогаза из различных сельскохозяйственных отходов. В результате чего определены направления их дальнейшего развития и совершенствования.

2. На основе системного анализа при внедрении интеллектуальной системы управления получения биогаза выявлены влияющие факторы на увеличение концентрации метана в объеме биогаза, в результате чего, были выбраны и оценены параметры процесса ферментации, на основе выбранных параметров была разработана нейро-нечеткая модель и алгоритм адаптивного управления процессом.

3. На основе нечеткой модели интеллектуального управления разработан способ интеллектуального управления процессом ферментации биомассы, что позволяет эффективно организовать технические процессы увеличения концентрации метана на выхода из биогаза и интеллектуальные системы управления ими, а также снизить энергозатраты.

4. В результате исследований за прошлые периоды был предложен метод прогнозирования выходных данных и алгоритм управления, основанный на построении приближенных моделей в виде адаптивных нейро-нечетких сетей, обученных на реальных выборках данных. На основе предложенного метода была создана модель прикладного прогнозирования, а результаты, полученные по расчету информации интеллектуальной системы управления на примере ООО «Биогаз», показали, что результаты сопоставимы с данными производственного предприятия.

5. Путем внедрения интеллектуальной системы управления биомассы, когда исходные параметры влажности составляют порядка 66-85%, концентрация метана на выходе биогаза была достигнута 65% -74,3%, соответственно увеличение составило (9,3%), эквивалентного 0,9 м³/с на 1 кг биомассы в сутки. Продолжительность выработки биогаза при текущем способе составляла 22 дня, при внедрении интеллектуальной системы управления – 40 дней, то есть выработка биогаза увеличилась по времени на 18 дней.

6. Экономическая эффективность управления оценивалась по критериям увеличения метана на выходе биогаза, что составило в условиях ООО «Биогаз» 503 766 260 сумов (Справка Министерство энергетики №02-07-6168 от 20 октября 2022 года).

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.03/26.05.2022.T.10.05 AT THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY
«TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL
MECHANIZATION ENGINEERS»**

**«TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL
MECHANIZATION ENGINEERS» NATIONAL RESEARCH
UNIVERSITY**

ABDULLAYEV KHUSNIDDIN KHUSEN O'G'LI

INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM OBTAINING BIOGAS

05.01.02 – System analysis, management and information processing

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2023

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2022.4.PhD/T3273.

The dissertation has been prepared at the "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University.

The abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tiame.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser:

Qalandarov Palvan Iskandarovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Siddiqov Ilhom Hakimovich
doctor of technical sciences, professor

Hayitmatov O'ktam Turg'unovich
candidate of technical sciences

Leading organization:

Institute of Energy problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Defense of dissertation will take place in «08» February 2023 at 16⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/26.05.2022.T.10.05 at the National research university «Tashkent institute of irrigation and agriculture mechanization engineers» (Address: 100000, Tashkent, str. Kari Niyazi 39, tel.: (+998-71)237-46-68; fax: (+998-71)237 -19-36; e-mail: admin@tiame.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center the National research university «Tashkent institute of irrigation and agriculture mechanization engineers» (registration number 253). Address: 100000, Tashkent, str. Kari Niyazi 39, tel. (99871) 237-46-68).

Abstract of dissertation sent out on «26» January 2023 year.
(mailing report № 4, on «23» January 2023 year).



N.S. Mamatov
Chairman of Scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

D.K. Bekmuratov
Scientific secretary of Scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

M.A. Ismailov
Chairman of the Academic seminar
under the Scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work development of an intelligent control system for the process of obtaining biogas by processing agricultural waste.

The object of the research is a system of intelligent control of the process of obtaining biogas from agricultural waste

Scientific novelty of the research is as follows:

based on the system analysis, the factors affecting biogas production have been identified and evaluated;

fuzzy and neuron fuzzy mathematical models of the biogas production process have been developed;

for an intelligent control system, an algorithm has been developed to support intelligent decision-making, based on the choice of a method for processing data for obtaining biogas;

an algorithm for controlling the production of biogas from agricultural waste under conditions of uncertainty has been developed.

Implementation of the research results. Based on the results obtained on the development of models and algorithms for controlling the process of biogas production, an intelligent control system has been implemented:

in the process of obtaining biogas from various agricultural waste, neuro-fuzzy models of the parameter management process were introduced, taking into account the uncertainty of data, variability of parameters, an increase in methane concentration, in LLC Biogas of Qashkadarya region (Reference of Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated October 20, 2022, No. 02-07-6168). As a result, it was possible to choose the optimal operating modes of the control object in accordance with the change in parameters affecting the concentration of methane in biogas.

decision support algorithms based on the choice of the method of processing biogas data in the information management system have been implemented in LLC “Biogas” of Qashkadarya region (Reference of Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated October 20, 2022, No. 02-07-6168). On existing devices, this figure was 55-65%. As a result, the use of an intelligent control system made it possible to increase the amount of biogas produced by 6.5-10% higher in the upgraded version compared to the current device.

the algorithm for managing the production of biogas under conditions of information uncertainty when obtaining biogas from agricultural waste was implemented in the limited liability company “Biogas” of Qashkadarya region in LLC “Biogas” of Qashkadarya region (Reference of Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated October 20, 2022, No. 02-07-6168). As a result, the annual economic efficiency amounted to 503,766 thousand sums, an increase in the duration of biogas production by 18 days was achieved, and the combustion of biogas allowed to increase energy efficiency by 10-12%.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation contains an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices.

The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Абдуллаев Х.Х. Биогаз таркибидаги метан концентрациясини аниқлаш алгоритмини нейро-норавшан тизим ёрдамида амалга ошириш // Ўзбекистон Қишлоқ ва сув хўжалиги. Тошкент, 2022. – №10. – Б. 38-40. (№3, 05.00.00).
2. Каландаров П.И. , Абдуллаев Х.Х. Қишлоқ хўжалиги чиқиндилардан биогаз олиш хусусиятлари // Хоразм Маъмун академияси ахборотномаси. Хива, 2022-8/3. – Б. 33-38. (№12, 06.00.00).
3. Abdullaev H.H. Modeling, forecasting of systems in the process of biogas production // Sustainable Agriculture. Tashkent, 2022. – №3(15). – Pp. 36-38. (№12, 06.00.00).
4. Каландаров П.И., Абдуллаев Х.Х., Абдурасулова М.Р. Построение аппроксимирующих моделей адаптивных нейро-нечётких сетей в процессе получения биогаза из сельскохозяйственных отходов // Хоразм Маъмун академияси ахборотномаси. Хива, 2022й. –12/4. – Б. 248-254. (№12, 06.00.00).
5. Kalandarov P.I., Abdullaev Kh.Kh., Mukimov Z.M., Avezov N.E. Information and measurement control systems for technological processes in the grain processing industry // 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). Tashkent, 2021. – Pp. 1-5. (№1 Web of Science, №3 Scopus;).
6. Kalandarov P.I., Abdullaev Kh., Mukimov Z., Avezov N., Tursunov O., Kodirov D., Toshpulatov N., Khushiev S. Study on microwave moisture measurement of grain crops // ICECAE 2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 939 (2021). - 012091 Atlanta, 2021. – Pp. 1-7. (№3 Scopus;).
7. Kalandarov P., Abdullaev Kh., Logunova O., Garbar E., Abdullaev M., Alimova N., Matchanov O. Study on signs of defects in the image of the surface of flatrolled products // ICECAE 2021 E3S Web of Conferences 304, Tashkent, 2021. – Pp. 1-5. (№1 Web of Science, №3 Scopus;).
8. Kalandarov P.I., Abdullaev Kh. Features of the technology of anaerobic processing of biotails using humidity control devices // Earth and Environmental Science 2022 IOP Conf. Rossiya, 2022. – Pp. 1-7. (№3 Scopus;).
9. Kalandarov P.I., Abdullaev H. Determination of the economic efficiency of biogas production based on the use of an information and control system // International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology. - India 2022. - Vol. 9 No. 9. - Pp. 4-8. (№2 Journal Impact Factor).

II бўлим (II часть; II part)

10. Kalandarov P.I., Mukimov Z. M., Abdullaev H.H., Yusupov N. O. Metrological support of moisture measurements of agricultural materials // International Journal of Aquatic Science, 2021. – Vol.12, Issue 2. – Pp. 4870-4875.

11. Абдуллаев Х.Х., Каландаров П.И., Мукимов З. Авезов Н.Э. Математическая и эмпирическая основа измерения влажности твердых и сыпучих материалов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. Москва, 2021. – №1. – С. 16-21.

12. Каландаров П.И., Абдуллаев Х.Х., Аралов Г.М. Дала шароитида дон маҳсулотларини намликларини назорат қилиш асбоблари муаммолари // Андижон машинасозлик институти ташкил топганлигининг 10 йиллиги муносабати билан ўтказилаётган «Рақамли технологиялар, инновацион ғоялар ва уларни ишлаб чиқариш соҳасида қўллаш истиқболлари» мавзусида Халқаро илмий-амалий конференция. Андижон, 2021. – Б. 229-231.

13. Каландаров П.И., Абдуллаев Х.Х. Газ ишлаб чиқаришда биомасса намлигини назорат қилишда ўлчов асбобларини қўллаш // Қарши муҳандислик-иқтисодий институти “Нефть ва газ саноатида замонавий технологиялар ва инновациялар” мавзусида Республика илмий-амалий конференция. Қарши, 2021. – Б. 495-499.

14. Каландаров П.И., Абдуллаев Х.Х. Чиқиндилардан биогаз тайерлашда биомасса намлиги назорат қилишда ўзгарткич танлаш таҳлили // «Қишлоқ ва сув хўжалигининг замонавий муаммолари» мавзусидаги анъанавий XX – ёш олимлар, магистрантлар ва иқтидорли талабаларнинг илмий-амалий анжумани. Мақолалар тўплами II қисм. Тошкент, 2021. – Б. 458–461.

15. Kalandarov P.I., Abdullaev X.X. Analysis of humidity control in the technological processes of agricultural production in the conditions of Uzbekistan // «Қишлоқ хўжалигини ривожлантиришда инновацион технологияларни жорий этиш истиқболлари». Ташкент, 2021. – Б. 786-796.

16. Каландаров П.И., Абдуллаев Х.Х. Проектирование приборов контроля влажности биомассы // IX Научно- практическая конференция с международным участием «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт Петербург, 2021. – Том I. – С. 245-249.

17. Каландаров П.И., Абдуллаев Х.Х. Қишлоқ хўжалиги чиқиндилари биомасса намлигини назорат қилиш // Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги. №DGU 10615, 24.03.2021 йил.

18. Каландаров П.И., Абдуллаев Х.Х. Биогаз ишлаб чиқаришда таркибидаги метан концентрациясига таъсир этувчи омилларни аниқлаш дастурий мажмуаси // Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги. №DGU 20223768, 22.06.2022 йил.

Автореферат «Камрон пресс» нашриёти таҳририятида таҳрирдан ўтказилди
ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.