

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.03.02  
РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ АСОСИДАГИ  
БИР МАРТАЛИК ИЛМий КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**МАВЛАНОВ ЭЛБЕК ТУЛКИНОВИЧ**

**ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ ИНТЕНСИВЛАШ  
ВА ЮҚОРИ ҚУВВАТЛИ КОЛОННАЛИ ҚУРИЛМАЛАРНИ ЯРАТИШ**

**02.00.16 - Кимё технологияси ва озиқ-овқат ишлаб чиқариш  
жараёнлари ва аппаратлари  
(техника фанлари)**

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

**Тошкент - 2020**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Мавланов Элбек Тулкинович**

Иссиқлик алмашиниш жараёнларини интенсивлаш ва юқори қувватли колоннаги курилмаларни яратиш .....3

**Мавланов Элбек Тулкинович**

Интенсификация теплообменных процессов и разработка колонных аппаратов повышенной мощности .....21

**Mavlanov Elbek Tulkinovich**

Intensification of heat transfer processes and development of high – capacity column apparatus .....39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

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

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.03.02  
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ АСОСИДАГИ  
БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**МАВЛАНОВ ЭЛБЕК ТУЛКИНОВИЧ**

**ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ ИНТЕНСИВЛАШ  
ВА ЮҚОРИ ҚУВВАТЛИ КОЛОННАЛИ ҚУРИЛМАЛАРНИ ЯРАТИШ**

**02.00.16 - Кимё технологияси ва озиқ-овқат ишлаб чиқариш  
жараёнлари ва аппаратлари  
(техника фанлари)**

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

**Тошкент - 2020**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №В2017.3.PhD/Т339 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме) Илмий кенгаш веб-саҳифада ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ҳамда «Ziyonet» ахборот-таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** **Нурмухамедов Хабибулла Сагдуллаевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:** **Мухитдинов Джалолиддин Пахриддинович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Худойбердиева Назора Шарофовна**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

**Етакчи ташкилот:** **«Аммофос-Максам» АЖ**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг йиғилишининг «\_\_\_»\_\_\_2020 йил соат\_\_\_даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2020 йил «\_\_\_»\_\_\_куни тарқатилди.  
(2020 йил «\_\_\_»\_\_\_даги \_\_\_ - рақамли реестр баённомаси).

**Н.Р.Юсупбеков**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси  
т.ф.д., профессор, академик

**У.Ф.Мамиров**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

**Х.З.Игамбердиев**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси  
т.ф.д., профессор, академик

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси).**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти.** Жаҳонда замонавий кимё ва нефт-кимё саноатини такомиллаштириш ишлаб чиқаришнинг турли соҳалари учун жаҳон талабларига мос рақобатбардош, импорт ўрнинини босадиган технологиялар кимёвий қурилмалар ва жиҳозларнинг такомиллашган самарали конструкцияларини яратиш чуқур фундаментал тадқиқотларни олиб бориш ҳамда шу йўналишда илмий техник масалаларни ҳал этиш амалга оширилмоқда. Юқори самарали уюрмали контакт қурилмалари ва уларга асосланган қурилмаларни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади. Бу борада, иссиқлик алмашиниш жараёнларининг энергетик ва иқтисодий самарадорлигини ошириш муҳим аҳамият касб этади.

Жаҳонда замонавий кимё машинасозлиги ривожланишининг фундаментал ва амалий асосларидан бири бўлган иссиқлик ва масса алмашиниш жараёнларини жадаллаштириш ва такомиллаштириш йўналишида тадқиқотларни олиб бориш соҳасига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Кимёвий технология жараёнини такомиллаштириш мақсадида паст температурани ҳосил қилиш учун самарали иссиқлик алмашиниш қурилмаларни кимё саноатида қўллаш илмий амалий муаммолардан бири ҳисобланади. Бу борада, жумладан иссиқлик алмашиниш жараёнларини жадаллаштириш ва такомиллаштириш, шунингдек қурилманинг конструкциясини ихчамлаштиришда энергия ва ресурс тежамкор технологияларни ишлаб чиқиш тақозо этмоқда.

Республикамизда иссиқлик ва энергия самарадорлиги, ихчамлик, ишончлилик ва бошқа параметрларни яхшилайдиган янги қурилмаларни яратиш ҳамда самарали иссиқлик алмашиниш юзаларидан мақсадли фойдаланиш бўйича чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... макроиқтисодий барқарорликни мустаҳкамлаш ва юқори иқтисодий ўсиш суръатларини сақлаб қолиш, миллий иқтисодиётни барқарорлигини ошириш, ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш»<sup>1</sup> вазифалар белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни бажаришда, жумладан иссиқлик алмашиниш жараёнларини интенсивлаш ва юқори қувватли колоннали қурилмаларни яратиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги, 2018 йил 27 апрелдаги ПФ-3668-сонли «Инновацион ғоялар, технологияларни амалий татбиқ этиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» Фармонларида, 2019 йил 3

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

апрелдаги ПҚ-4265-сонли «Кимё саноатини янада ислоҳ қилиш ва инвестициявий жозибдорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорларида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII. «Кимёвий технология ва нанотехнология» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Жаҳон олимлари томонидан иссиқлик тарқалишни жадаллаштириш бўйича кўплаб илмий тадқиқотлар олиб борилган. Иссиқлик алмашилиш жараёнлари учун технология ва қурилмалар конструкцияси самарадорлигини ошириш ва ихчам, самарали иссиқлик алмашилиш қурилмаларини яратиш бўйича кўплаб хорижлик олимлар, жумладан А.Н.Плановский, Н.М.Жаворонков, Г.П.Соломаха, В.М.Рамм, С.С. Кутателадзе, В.К.Кошкин, Б.С. Петухов, А.А.Гухман, Э.К.Калинин, Кикнадзе, Г.А.Дрейцер, Б.В.Дзюбенко, С.А.Ярко, В.В.Костюк, В.К. Мигай ва бошқалар ҳамда мамлакатимиз олимлари, жумладан Ж.П.Мухитдинов, Н.Р.Юсупбеков, Р.А.Зоҳидов, С.Г.Зокиров, Ш.М.Ғуломов ва бошқалар ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшишган.

Бугунги кунда иссиқлик алмашилиш қурилмаларида иссиқлик ўтказишнинг назарий асосларига, иссиқлик алмашилишни жадаллаштиришга, шунингдек, ихчам ва энергия тежайдиган жиҳоз ва қурилмаларни яратиш бўйича кўплаб илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган.

Абсорбция, иссиқлик алмашилиш жараён ва қурилмаларини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари: абсорбция ва иссиқлик ўтказиш жараёнларининг жадаллиги; девор зонасида турли хил оқим турбулизаторларини қўллаш ёки ўрнатиш; кам энергия сарфлайдиган суюқлик оқимининг шаклини аниқлаш; трубалараро оқимни аралаштиришни ва трубалар пакети атрофида оқини яхшилаш бўйича фаол изланишлар олиб борилмоқда. Бироқ, абсорбцион колонналарининг совитиш зоналарида реакция иссиқлигини самарали ажратиб олиш, шунингдек қўшимча материал харажатларисиз тайёр маҳсулот чиқишини оширишга қаратилган ишлар кам ўрганилган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг ИОТ 2016-7-26 - «Кимё ва нефт-газни ишлаб чиқариш учун янги авлод юқори самарали колонна қурилмаларини яратиш» (2016-2017) мавзусидаги лойиҳа доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** абсорберларнинг совитиш зонасида иссиқлик алмашилиш жараёнини жадаллаштириш ва колонна қурилмаларнинг иссиқлик қувватини оширишдан иборат.

### **Тадқиқотнинг вазифалари:**

суюқликларни спиралсимон турбулизаторли трубаларда ҳаракатида гидравлик қаршилик ва иссиқлик алмашилишнинг суюқлик оқиш режимига, ҳамда ариқча, бўртиқлар геометрик ўлчамларига боғлиқлигини ўрганиш бўйича тажрибалар ўтказиш;

спирал ариқчалар ва самарадор трубаларни жойлаштириш схемасининг гидравлик қаршиликка, иссиқлик беришга таъсири бўйича тажрибалар ўтказиш;

Windows XP операцион муҳитида замонавий MATLAB 6.5, STATISTIKA 6.0, Microsoft Excel компьютер дастурлари ёрдамида тажриба маълумотларини қайта ишлаш;

гидравлик қаршилик ва иссиқлик алмашилиш бўйича тажриба катталикларни умумлаштиришни, критериал формулаларни ишлаб чиқиш;

абсорберларнинг совитиш зоналарида реакция иссиқлигини труба-панжарали насадкалар билан ажратишда иссиқлик алмашилишни жадаллаштириш;

иссиқлик алмашилиш юзасида макрогадир-будурликни жойлаштиришнинг оптимал қадамларини аниқлаш;

ўзгармас иссиқлик юкламада иссиқлик алмашилиш юзасини камайишга эришиш;

иссиқлик алмашилиш мосламасининг ихчамлигини ошириш ва колонна қурилмага металл сарфини камайитиришга эришиш.

**Тадқиқотнинг объекти** самарадор юзали трубалардан иборат труба-панжарали насадка ва абсорберларни совитиш зоналарида реакция иссиқлигини ажратиб олиш жараёнидан иборат.

**Тадқиқотнинг предмети** иссиқлик ўтказиш жараёнини жадаллаштиришни ўрганиш ва юқори иссиқлик қувватли труба-панжарали насадкани яратишдан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертацияда объект ва унинг элементларини тизимли таҳлил қилиш усуллари, кимёвий-технология жараёнларини тадқиқ қилиш ва оптималлаш, тажрибаларни режалаштириш, тажриба маълумотларни қайта ишлашнинг статистик усуллари, аниқ ўлчаш усуллари ва замонавий назорат-ўлчов асбобларидан ҳамда тадқиқотнинг тажрибавий усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

спиралсимон турбулизаторларнинг гидравлик қаршилиги дискрет жойлашган бўртиқларникидан камроқ эканлиги аниқланган;

спиралсимон турбулизаторларнинг қўлланилиши оқишнинг ўтиш режимида деворолди чегаравий қатламни турбулизация қилиш иссиқлик беришни 2,2-2,9 маротабага жадаллаштириши, иссиқлик алмашилишнинг жадаллаштириши бўртиқларнинг геометрик параметрларига боғлиқлиги аниқланган;

иссиқлик бериш коэффициентининг максимал қийматлари мақбул диапазони турбулизаторларнинг  $S/D=1,14-1,4$  қадамига мос келиши аниқланган;

бир фазали суюқликларни канал ичида ва газ-суюқлик оқимини труба оралиғида ҳаракатининг тажриба катталиклари умумлаштирилиб, гидравлик қаршилик ва иссиқлик бериш коэффициентларини ҳисоблаш формулалари ишлаб чиқилган;

тадқиқ қилинган турбулизаторли трубалар ва абсорбер совитиш зонаси труба-панжарали насадкасининг текис ҳамда кўндаланг кесими турлича бўлган трубаларни жойлаштириш схемаси иссиқлик ўтказиш коэффициентини 2 ёки ундан ортиқ мартабага ошириши аниқланган;

суюқ ва газ фазаларни трубалараро бўшлиқда қарама-қарши, совутувчи суюқликни эса газ-суюқлик оқимига перпендикуляр йўналишда ҳаракати учун иссиқлик алмашинишни жадаллаштириш модели яратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** куйидагилардан иборат:

иссиқлик элткич йўналиши бўйича гидравлик қаршилиги нисбатан кичик бўлган спиралсимон турбулизаторли ва кўндаланг кесими камайиб борувчи трубаларни текис трубалар билан кетма-кет жойлаштириш схемаси газ ва суюқлик фазалар аралашини тубдан яхшиловчи ва иссиқлик алмашиниш жараёнини интенсивловчи схема ишлаб чиқилган;

ўзгармас иссиқлик юкмасида иссиқлик тарқалишини жадаллаштириш натижасида иссиқлик алмашиниш юзасини 20-46% га камайтирувчи оптимал соҳаси ишлаб чиқилган;

ташқи иссиқлик алмашиниш юзасидаги силлиқ спиралсимон ариқчалар газ-суюқлик қатламини труба девори яқинида турбулизация қилиб, труба юзасида чўкинди ўтирмаслик йўллари ишлаб чиқилган;

олинган натижалар совитиш зонаси текис труба ва камайиб борувчи кўндаланг кесимли спиралсимон турбулизаторли трубалардан иборат абсорберларни ҳисоблаш учун муҳандислик методикаси ишлаб чиқилган;

абсорбер совитиш зонасидаги трубалар пакетини йиғиш технологиясини ўзгартирмайдиган самарадор трубаларни жойлаштиришнинг схемаси ишлаб чиқилган;

бир хил унумдорликда спиралсимон турбулизаторли труба-панжарали насадка учун металл сарфини ~2 мартабагача камайишини таъминловчи ва текис трубали абсорберга нисбатан 1,7-2,5 баробар кам иссиқлик алмашиниш юзаси билан ишлайдиган юқори қувватли абсорбцион колонна ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Олинган тадқиқот натижаларининг ишончлилиги услубий жиҳатдан асосланган назарий ҳисоб-китобларни амалга оширилиши, термодинамиканинг асосий қонунлари, гидродинамика, иссиқлик ва масса алмашиниш назариясининг классик принциплари, жараёнларнинг адекват физик моделлари ва ҳисоблаш алгоритмларини мавжудлиги, тажриба тадқиқотининг умумий қабул

қилинган усулларини тўғри қўллаш билан асосланади, шунингдек назарий ва тажриба натижаларнинг ўзаро мослиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти труба-панжарали насадка трубаларининг ички ва ташқи юзаларида иссиқлик алмашилишни жадаллаш, турбулизаторларни жойлаштириш қадамни оптималлаш, бу иссиқлик беришни максимал даражада оширишни таъминлайди ва юқори қувватли колоннади қурилмаларни ҳисоблаш усулини яратиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти, абсорбцион колоннанинг иссиқлик қувватини ошишига ва металл сарфини камайтиришга олиб келадиган, оқимларни интенсив аралашини таъминлаш ва трубалар атрофидаги ҳаракатни яхшилаш, абсорберларнинг совитиш зонасидаги труба-панжарали насадкада трубаларни жойлаштириш усулини такомиллаштириш билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Абсорбер совитиш зонасида реакция иссиқлигини ажратиб олиш жараёнида иссиқлик алмашилишни жадаллаштириш асосида:

юқори самарадор абсорбцион колоннанинг ярим саноат намунаси «Аммофос-Максам» АЖда амалиётга жорий қилинган («Узкимёсаноат» АЖнинг 2019 йил 2 декабрдаги 02-7419 сон маълумотномаси). Натижада труба-панжара насадкади юқори самарадор абсорбер конвектив иссиқлик алмашилишни икки мартабага оширган ва мос равишда иссиқлик алмашилиш юзасини камайтириш имконини берган;

кўндаланг кесими камайиб боровчи текис ва спиралсимон турбулизаторли трубаларни жойлаштириш схемасига эга бўлган абсорбер «Аммофос-Максам» АЖда амалиётга жорий қилинган («Узкимёсаноат» АЖнинг 2019 йил 2 декабрдаги 02-7419 сон маълумотномаси). Натижада совитиш зонасининг металл сарфини икки баробаргача камайтириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Диссертация материаллари 7 та халқаро ва 4 та республика илмий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 20 та илмий ишлар, шу жумладан 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган журналларда 7 та мақола, жумладан 2 таси хорижий журналларда чоп этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, 5 та боб, хулоса, 141 номдан иборат адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. Диссертация 120 варақли ёзилган матнда тақдим этилган, 53 та расм ва 5 жадвалдан иборат.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Киришда ишнинг аҳамияти ва долзарблигини, тадқиқотнинг мақсад ва вазифаларини, объект ва мавзунини тавсифлайди, тадқиқотнинг мамлакатимизда фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослигини кўрсатади, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижаларини белгилайди, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамиятини очиқ беради, олинган натижаларни амалиётга татбиқ этади, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Колонналик қурилмаларнинг труба-панжарали насадкаларида иссиқлик алмашилишни жадаллаштиришнинг ҳозирги ҳолатини таҳлил қилиш»** номли биринчи бобда муаммонинг ҳозирги ҳолати ва кальцинацияланган сода ишлаб чиқаришни ривожлантириш истиқболлари, асосий жараён ва қурилмаларни таҳлил қилиш, совитиш зоналари бўлган абсорберлар, шунингдек абсорберда борадиган жараёнларни жадаллаштириш усуллари келтирилган. Абсорбция, дистиллаш, карбонизация ва филтрлаш (АДКФ) цехининг қурилма ва жараёнлари, жараён механизми ва иссиқлик алмашилишни жадаллаштириш учун қурилмалар конструкцияси бўйича илмий адабиётлар батафсил кўриб чиқилган.

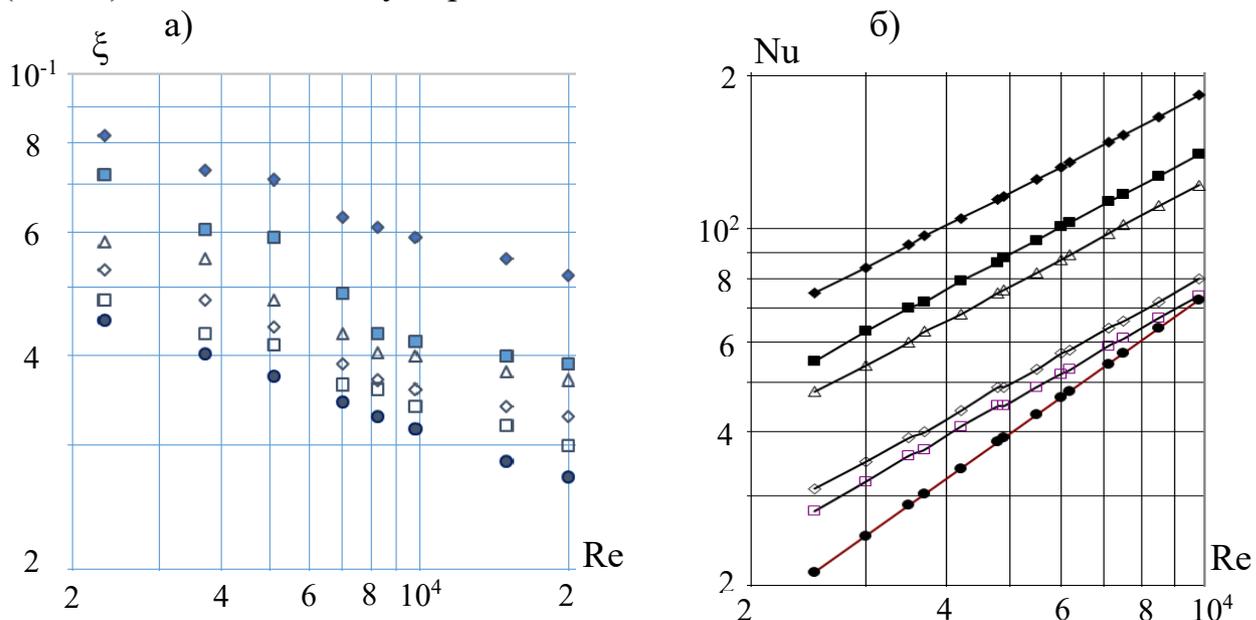
Мамлакат иқтисодиётининг кимё ва нефть-газни қайта ишлаш соҳаларида энг кўп қўлланиладиган абсорбция колонналарининг ҳозирги ҳолатини баҳолаб, кимёвий жараёнлар содир бўладиган юқори иссиқлик қувватли абсорберларни яратишни талаб қиладиган муаммолар мавжуд деган хулосага келинди. Бўлимнинг мавжуд материаллари асосида тегишли хулосалар чиқарилди ва тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгиланди.

Диссертациянинг **«Тажриба қурилмалари, тажриба ўтказиш усуллари ва конвектив иссиқлик алмашилиш бўйича маълумотларга ишлов бериш»** номли иккинчи бобда бир фазали суюқликдан деворга ва газ-суюқлик тизимидан деворга иссиқлик бериш жараёнини тадқиқ қилиш учун тажриба қурилмасининг тавсифи келтирилган. Яратилган қурилма иссиқ ва совуқ элтич тезлиги ва температураси, шунингдек спиралсимон турбулизаторларнинг геометрик ўлчамларини кенг диапазонда ўзгаришида тажриба тадқиқотларини ўтказиш имконини беради. Суюқликларнинг каналларда ҳаракатланишида ва газ-суюқлик оқимининг трубалараро бўшлиқдаги ҳаракатида иссиқлик бериш ва гидравлик қаршилик бўйича тажрибаларни ўтказиш методи, самарадор юзали трубаларда иссиқлик алмашилишни жадаллаштириш бўйича тажриба маълумотларини бирламчи қайта ишлаш методикаси яратилди. Бундан ташқари, ўлчов параметрларини ўлчаш хатоликларини ва турли кўрсаткичларни ҳисоблаш натижалари келтирилган. Бўлим хулосалар билан яқунланади.

Диссертациянинг **«Спиралсимон турбулизаторли каналларда иссиқлик алмашилиш ва гидравлик қаршилик»** номли учинчи бобда

силлик ва спиралсимон турбулизаторли каналларда бир фазали совуқлик элткич ҳаракатланганда гидравлик қаршилик ва иссиқлик беришни жадаллаштириш бўйича тадқиқот натижалари келтирилган.

Ташқи томондан спиралсимон ариқча ва ичкарасида силлик турбулизаторлар энг самарали иссиқлик алмашиниш трубалари ҳисобланади. Тажрибалар давомида намоқобни  $60-65^{\circ}\text{C}$  дан  $28^{\circ}\text{C}$  гача совутилди. Совитувчи элткич сифатида  $15-25^{\circ}\text{C}$  температурали сув ишлатилди. Тадқиқотлар текис ва нисбий қадами  $h/S=0,017-0,095$  бўлган спиралсимон турбулизаторли трубаларда амалга оширилди. Совитувчи сув тезлиги  $Re=(0,95-6)\cdot 10^4$  диапазонда ўзгарди.



1-расм. Ўтиш режимида гидравлик қаршилик коэффиценти  $\xi$  (а) ва иссиқлик алмашиниш жадаллигининг  $Nu$  (б) Рейнольдс  $Re$  сонига боғлиқлиги.

● - текис труба; спиралсимон турбулизаторлар: ◆ -  $h/S=0.08$ ;  
■ -  $h/S=0.04$ ; △ -  $h/S=0.027$ ; ◇ -  $h/S=0.021$ ; □ -  $h/S=0.0091$ .

1-расмдан кўришиб турибдики, силлик ариқчали спиралсимон трубанинг гидравлик қаршилик коэффиценти  $\xi$  нинг сон қиймати силлик трубаникига қараганда катта.

$Re=15000$  да текис трубалар ва спиралсимон турбулизаторли трубаларда тажриба натижаларини таққослаш шуни кўрсатдики, агар текис труба учун  $\xi=0,0285$  бўлса, нисбий қадами  $h/S=0,017$  бўлган спиралсимон турбулизаторли трубалар учун  $\xi = 0,0326$  қийматга эга,  $h/S=0,023$  трубалар учун  $\xi=0,037$ ,  $h/S=0,034$  трубалар  $\xi=0,041$  ва ниҳоят,  $h/S=0,095$  ли трубалар учун мос равишда  $\xi=0,077$ , яъни гидравлик қаршилик коэффиценти 1,15-2,7 мартаба кўпайди. Дискрет жойлашган диафрагмали трубаларнинг гидравлик қаршилик коэффиценти  $\xi$  нинг қиймати текис трубага нисбатан анча юқори қийматга эга.

Сувнинг спиралсимон турбулизаторли трубаларда харакатида гидравлик қаршилик бўйича тажриба натижаларини умумлаштирилиб қуйидаги боғлиқлик формуласи олинди:

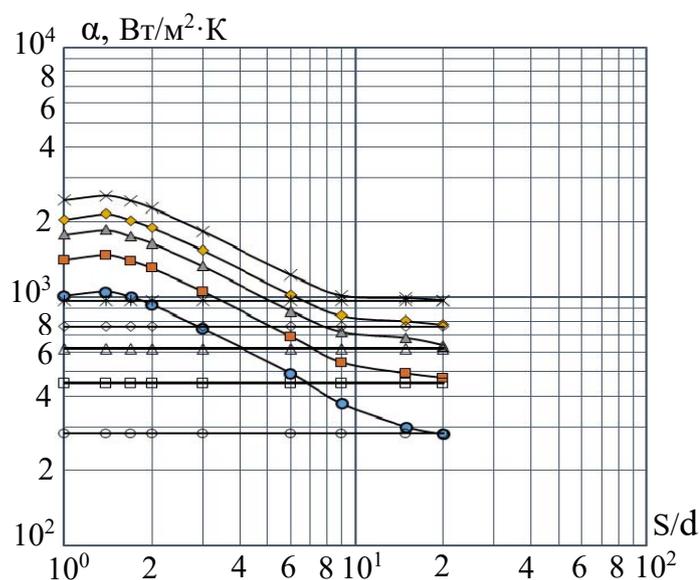
$$\xi = \frac{0,3161 \cdot \left[ 1 + 8,5 \cdot \left( \frac{h}{S} \right) + 83 \cdot \left( \frac{h}{S} \right)^2 \right]}{\sqrt[4]{Re}} \quad (1)$$

1-формулада  $Re=(0,25-6) \cdot 10^4$  ва  $h/S=0,0091-0,08$  оралиғида қўллаш мумкин. Формуланинг хатолиги  $\pm 9,4\%$  дан ошмайди.

Текис чизилган турбулизаторлар жойлашиш қадамининг иссиқлик бериш коэффициентига таъсири бўйича тадқиқотлар натижалари 2-расмда келтирилган.

Кўриниб турибдики, Рейнольдс сони ортиши билан иссиқлик алмашиниш жадаллиги ҳамма трубаларда, текис ва турбулизаторли трубаларда ҳам ортади. Спиралсимон траектория бўйича ҳосил қилинган турбулизаторлар оқимни кучли турбулизацияга ва 2.9 маротабага жадаллаштиришга олиб келади.

$\alpha=f(S/d)$  функциясининг эгри чизиғи мураккаб шаклга эга (2-расм). Масалан,  $Re=2500$  да  $S/d=1,4-1,55$  қийматгача иссиқлик бериш коэффициенти аста-секин кўпаяди ва максимал қийматга  $\alpha=1048$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) етади ва кейин  $S/d=1,7$  дан бошлаб, иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати  $\alpha=350$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) гача камаяди, бунда жойлашиш қадами  $S/d=9-9,5$  ни ташкил қилади.



2-расм. Сувни харакатида спиралсимон турбулизаторларнинг жойлаштириш қадамларининг иссиқлик бериш жадаллигига таъсири  
 ○,● -  $Re=2500$ ; □,■ -  $Re=4200$ ; △,▲ -  $Re=6000$ ; ◇,◆ -  $Re=7500$ ;  
 \*,× -  $Re=9800$ . (оч рангли белгилар силлиқ трубалар, бўялганлари спиралсимон арикчали трубалар).

Турбулизаторларни жойлаштириш қадамнинг янада ўсиши билан, яъни  $S/d > 10$  - пасайиш секинлашади ва ниҳоят,  $S/d = 20$  да жойлаштириш қадамнинг таъсири йўқолади ва силлиқ каналлардаги суюқлик харакатига тўғри келади. Труба ичкарасидаги спиралсимон турбулизаторлар ва ташқи томондан силлиқ ариқчалар деворолди қатламини турбулизациялайди, аммо бунда гидравлик қаршилик ортади ва бир вақтнинг ўзида икки томондан иссиқлик беришни жадаллаштиради. Гидравлик қаршилик ўсишига нисбатан иссиқлик алмашиниш жадаллигининг ортиши кўп бўлиши тадқиқотлар орқали аниқланган.

Критик нуқтадан пастга қараб узоқлашганда ўлчов бўйича чегара қатламининг қалинлиги ўсади, ва унинг иссиқлик қаршилиги ҳам ўсади ва натижада иссиқлик бериш камаяди. Ажралиш соҳасида анча мураккаб ва охиригача чуқур ўрганилмаган ходиса содир бўлади. Бу ерда қуйидаги даврий жараён амалга ошади: чегара қатламининг қалинлашиши, унинг ажралиши ва оқим бўйича ажралиб чиқаётган суюқлик массасининг пастга йўналиши кузатилади. Ушбу даврий жараён узлуксиз қайтарилади. Вақт бирлиги ичида ушбу жараёнлар қанча кўп қайтарилса, иссиқлик бериш жадаллиги ҳам шунча кўп бўлади, яъни оқим ажралиш вақтида қатламнинг иссиқлик қаршилиги ушбу жойда сезиларли даражада камаяди.

Самарадор юзали трубаларда оқим ядросидан деворга йўналган йирик масштабни тебранишлар иссиқлик бериш жараёнини жадаллаштиришда муҳим аҳамиятга эга. Бунда оқим ядросидан деворга томон ва девордан ядрога томон иссиқлик элткичларнинг макроскопик ҳажмларининг ўтиши содир бўлади, ва девордан оқим ядросига бўлган оқим ва оқимчалар сони ортади ва оқибатда турбулентлик содир бўлади.

Маълумки, суюқлик оқимини ҳар қандай қўшимча турбулизациялаш қўшимча энергия сарфи билан боғлиқ бўлиб, иссиқлик тарқалишини жадаллаштириш самарадор усулини яратишдаги асосий ечим оқимга таъсир қилиш жойини танлаш ҳисобланади. Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, силлиқ ариқчалар кўринишидаги турбулизаторлар каналда девор қатламидаги суюқликни қўшимча турбулизациялайди. Бу турдаги турбулизаторларда гидравлик қаршилик ортишига қараганда иссиқлик алмашиниш жадаллиги кўпроқ ортишини таъминлайди. Шунинг учун девор атрофидаги ҳар қандай уюрма каналларда иссиқлик беришни жадаллаштиради.

Ўтказилган тажрибалар ва ишнинг назарий таҳлиллари шуни кўрсатадики, суюқликларни ўтиш режимида иссиқлик ўтказиш жараёнини ташкил этиш энг самарали ҳисобланади.

Спиралсимон турбулизаторли трубаларда иссиқлик бериш бўйича тажриба натижаларини умумлаштириш натижасида, критериал формула келтириб чиқарилди:

$$\frac{Nu}{Nu_{ст}} = \left\{ 1 + 750,1 \left[ \frac{h}{S} \left( 1 - \frac{2h}{d_1} \right) \right] - 5538 \cdot \left[ \frac{h}{S} \left( 1 - \frac{2h}{d_1} \right) \right]^2 \right\} \cdot Re^{-m \left( \frac{h}{S^*} \right)^n} \quad (2)$$

Юқорида келтирилган (2) формула  $Re=(0,25-6) \cdot 10^4$  ва  $h/S=0,0091-0,08$  оралиғида қўллаш мумкин. Формуланинг хатолиги  $\pm 10,2\%$  дан ошмайди.

Диссертациянинг «Спирал ариқчали труба-панжарали насадкалар трубалараро бўшлиғида иссиқлик алмашилини жадаллаш» номли тўртинчи бобида труба-панжарали насадкаларнинг трубалараро бўшлиғида суюқлик-газ аралашмаси ҳаракатланганда гидравлик қаршилик ва иссиқлик бериш бўйича тажриба маълумотлари келтирилган.

Гидравлик қаршилик бўйича натижаларнинг  $Eu=f(Re)$  функцияси кўринишидаги графикдан шуни кўрсатдики, оқим тезлигининг ортиши билан Эйлер критерийси  $Eu$  қийматининг пасайиши кузатилди. Тажриба маълумотларини таққослаш шуни кўрсатдики, оқим тезлиги ўсиши билан силлиқ спиралсимон ариқчали трубаларнинг гидравлик қаршилиги текис трубаникига қараганда 1,1-1,9 мартаба ортди.

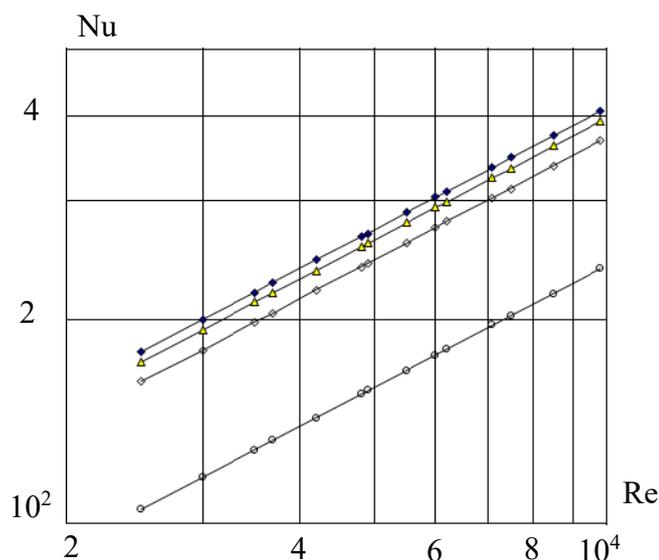
Гидравлик қаршилик бўйича тажриба натижаларини умумлаштириб, ушбу кўринишдаги ҳисоблаш формуласи келтириб чиқарилди:

$$Eu = 56,4 \cdot Re^{-0,25} \cdot \left(\frac{h}{S}\right)^{0,22}, \quad (3)$$

бу ерда  $Eu=Eu^*/m$ , ушбу нисбатдаги  $m$  - қаторлар сони.

Юқорида келтирилган (3) формула Рейнольдс сони  $Re=2300-10000$ , спиралсимон ариқчаларнинг жойлашиш қадами  $h/S=0,0091-0,08$  бўлганда қўллаш мумкин. Формула хатолиги  $\pm 3,0\%$  дан ошмайди.

Трубалараро бўшлиқда газ-суюқлик оқимини совитиш жараёнида иссиқлик алмашилини интенсивлаш бўйича тадқиқот натижалари  $Nu=f(Re)$  функцияси кўринишида 3-расмда келтирилган.



3-расм. Труба панжарали насадка трубалараро бўшлиғида намоқобни совитишда иссиқлик алмашилини интенсивлиги  $Nu$  нинг  $Re$  сонига боғлиқлиги.  $S/D=0,25$ .  $\blacklozenge$  -  $h/S=0,095$ ;  $\blacktriangle$  -  $h/S=0,029$ ;  $\blacklozenge$  -  $h/S=0,003$ .

Ҳар хил кўндаланг кесимли текис ва турбулизаторли трубалардан ташкил топган трубалар пакетини суюқлик-газ оқими кўндаланг ҳаракатланишида иссиқлик тарқалишни жадаллаштириш механизми тартиб билан жойлаштирилган макроғадир-будурликлар билан белгила-нади. Спиралсимон турбулизи-торли трубаларнинг ташқи юзаси силлиқ ариқчалар ва ички юзаси бўртиқлик (турбулизатор) лар мавжудлиги девор яқинида оқим таркибини яхшилайти, яъни самарали труба ташқи юзасида макро-ғадир-будурлик элементлари девор олди қатламининг бузилишига, ички юзасида силлиқ бўртиқликлардан ўтиш даврида оқимнинг узилишида ҳосил бўладиган уюрмалар девор олди юпка қатламини турбулизация бўлишига сабаб-чи бўлади. Уюрмалар нафақат девордан оқим ядросига, балки марказдан девор томонга ҳам ҳаракатланади.

Расмдан кўришиб турибдики, оқим ҳаракат тезлиги ортиши билан барча тадқиқ қилинган турбулизаторли трубаларда иссиқлик алмашиниш жадаллиги ортади. Масалан, Рейнольдс сони  $Re=4200$  да текис труба учун Нуссельт критерийсининг қиймати  $Nu=148$ , спиралсимон ариқчали  $h/S=0,003$  учун  $Nu=220$ ,  $h/S=0,029$  учун Нуссельт критерийси  $Nu=243$  ва  $h/S=0,095$  учун -  $Nu=272$ . Тажриба натижаларини таҳлили шуни кўрсатдики, силлиқ ариқчаларнинг чуқурлиги ортиши билан иссиқлик бериш коэффиценти 1,5 дан 1,85 мартабагача кўпаяди.

Трубалараро бўшлиқда қовушқоқ суюқликни ҳаракати даврида иссиқлик алмашинишни жадаллаштириш бўйича тажриба натижаларини умумлаштириб, қуйидаги критериал формула келтириб чиқарилди:

$$Nu = 0,597 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_0}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{S}{D}\right)^{-0,15} \cdot \left(\frac{h}{S}\right)^{0,3} \quad (4)$$

Ушбу формула Рейнольдс сони  $Re=(0,23-0,98) \cdot 10^4$ , ўлчамсиз параметрлар  $S/D=0,21-2,0$  ва  $h/S=0,017-0,095$  бўлганда қўллаш мумкин. Формуланинг хатолиги  $\pm 7,3\%$  дан ошмайди.

Иссиқлик алмашиниш жараёни самарадорлигини аниқлашнинг усулларида бири нисбий иссиқлик алмашинишни ва гидравлик қаршиликларни солиштириш мақсадга мувофиқ:

$$\frac{Nu}{Nu_0} \geq \frac{\xi}{\xi_0} \quad (5)$$

Тажриба тадқиқотлари шуни кўрсатадики, ушбу йўл билан оқимни турбулизация қилиш абсорбцион колоннада гидравлик қаршиликка нисбатан иссиқлик алмашинишнинг интенсивлиги кўпроқ бўлиши формула (5) даги тенглик бузилади ва бу ҳодиса иссиқлик алмашиниш жадаллашининг ушбу усули энергия самарадор эканлигини исботлайди.

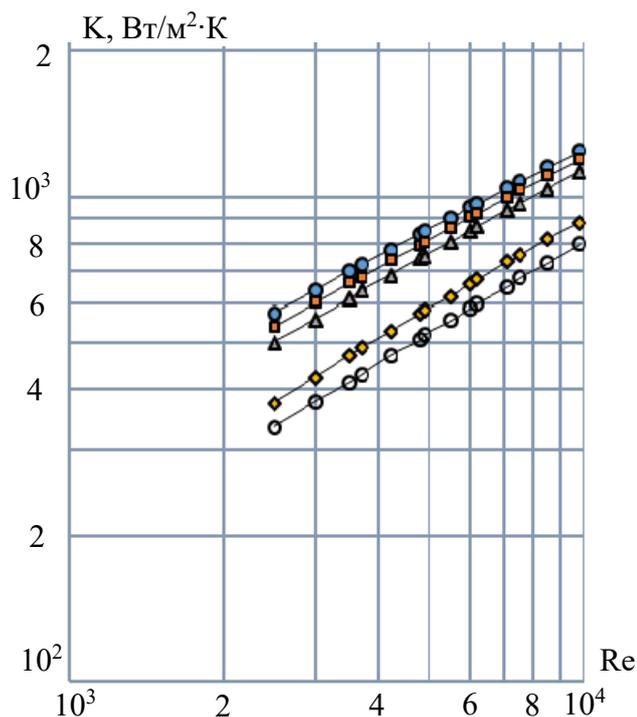
Таъкидлаш лозимки, кўндаланг кесими камаювчи спиралсимон турбулизаторли ва текис трубалардан иборат труба панжарали насадкалар қовушқоқ суюқликлар уюрмаси ва оқимини узлуксиз равишда ҳосил қилади, бу эса трубалараро бўшлиқда суюқлик оқимини турбулизациялайди. Ушбу

тартибланган ва ташкиллаштирилган уюрмавий оқимлар кўшимча турбулентлик ҳосил қилиш учун манба бўлиб хизмат қилади.

Бундан ташқари таклиф қилинаётган трубаларни жойлаштириш схемасида ҳосил бўлаётган уюрма ва оқимлар труба юзасида чўкиндилар ўтириб қолиш олдини олади. Оқимни турбулизация қилиш нафақат иссиқлик алмашинишни интенсивлашга балки, масса алмашиниш жараёнини сезиларли даражада яхшилашга олиб келади.

Диссертациянинг «Иш натижаларидан амалий фойдаланиш» номли бешинчи бобида иссиқлик ўтказиш коэффициенти, керакли иссиқлик алмашиниш юзаси бўйича колоннали қурилмаларни оптималлаш, ҳисоблашнинг муҳандислик услуби ва юқори қувватли абсорбцион колоннасининг конструкцияси, шунингдек қурилманинг ўлчамлари ва металл сарфини камайтириш бўйича тажриба маълумотлари келтирилган.

Иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K$  бўйича натижалар  $K=f(Re)$  функцияси кўринишида 4-расмда келтирилган. Графикдан кўришиб турибдики, спиралсимон ариқчалар қадами  $h/S=0,08$  ва Рейнольдс сони  $Re=2500$  бўлганда, иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K=574$ ,  $Re=4900$  да  $K=848$  ва  $Re=9800$  да  $K=1244$   $Вт/м^2 \cdot К$ .



4-расм. Спиралсимон ариқчали трубаларда сувнинг ҳаракатида аммонийлашган намоқобни совитишда  $Re$  сонининг иссиқлик ўтказиш коэффициентиға таъсири.

- $h/S=0.08$ ; ■- $h/S=0.04$ ; ▲- $h/S=0.027$ ;
- ◆- $h/S = 0.021$ ; ○- $h/S=0.0091$ .

Тажриба натижаларининг таҳлили шуни кўрсатдики, оқим ҳаракат тезлиги ўсиши билан  $K$  коэффициентининг қиймати мос равишда 2 мартаба ортади. Труба ташқи юзасидаги ариқчалар чуқурлигининг иссиқлик ўтказиш коэффициенти таъсирини қуйидаги мисолда кўриш мумкин. Масалан, жойлаштириш қадами  $S=\text{const}$  ўзгармас бўлганда, ариқчалар чуқурлигининг камайиши  $h/S$  нисбат пасайишига олиб келади. Табиийки,  $h/S$  камайиши иссиқлик тарқалишига, яъни иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K$  га сезиларли даражада таъсир қилади. Масалан,  $h/S=0,027$  ва Рейнолдс сони  $Re=2500$  учун иссиқлик ўтказиш коэффициенти қиймати  $K=501$ ,  $Re=4900$  учун  $K=752$  ва  $Re=9800$  учун  $K=1127 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ .

Силлиқ ариқчаларнинг минимал чуқурлиги  $h/S=0,0091$  да иссиқлик ўтказиш коэффициенти энг паст кўрсаткичга эга. Масалан,  $h/S=0,0091$  ва Рейнолдс сони  $Re=2500$  бўлса, иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K=334$ ,  $Re=4900$  да  $K=520$ ,  $Re=9800$  да эса  $K=797 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$  бўлади.

Иссиқлик тарқалиш жараёнининг  $h/S$  параметрига боғлиқлик таҳлили шуни кўрсатадики, спиралсимон ариқчаларнинг ўзгармас қадамида уларнинг чуқурлиги иссиқлик ўтказиш жараёни учун муҳим аҳамиятга эга. Ариқчалар чуқурлиги уларнинг жойлашиш қадами  $S=\text{const}$  ўзгармас бўлганда, унинг  $h/S=0,0091$  дан  $h/S=0,08$  гача ўсиши иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K$  ни 1,5-1,7 мартаба ортишига олиб келади. Суюқлик оқимининг турбулентлиги муҳим параметр ҳисобланиб, иссиқлик тарқалиш жадаллигига салмоқли таъсир қилади. Каналларда иссиқлик тарқалишни жадаллаштириш ҳар доим суюқлик оқимига қўшимча импульс берадиган мосламалар ёрдамида амалга оширилади. Бундай иссиқлик алмашилиш труба конструкцияларида оқимнинг турбулентлик даражаси турбулизаторларнинг геометрик параметрларининг функциясидир.

Бирок, ҳар қандай ҳолатда, трубада турбулизаторларни қўллаш қўшимча энергия харажатлари билан боғлиқ, яъни, труба ташқи юзасида силлиқ спиралсимон ариқчалар кўринишидаги маҳаллий қаршилиқ, ички юзасида турбулизаторлар каналда иссиқлик элткич оқими учун илгарилама ва айланма ҳаракат беришни таъминлайди. Табиийки, турбулизация қилиш мосламаси оқим ҳаракати учун қулай бўлиши керак, яъни имкон даражасида оқимнинг ҳаракат йўналишига мос ёки кичик бурчак остида ва гидравлик қаршилиги жуда кичик бўлиши керак. Ушбу нуқтаи назардан, спиралнакаткали турбулизаторлар энг оптималдир, чунки турбулизаторлар маълум бурчак остида жойлашишидан ташқари, уларга силлиқ шакл бериб ясалган. Ушбу конструкцияли трубалар кўп афзалликларга эга ва гидравлик қаршилиги нисбатан кичикдир.

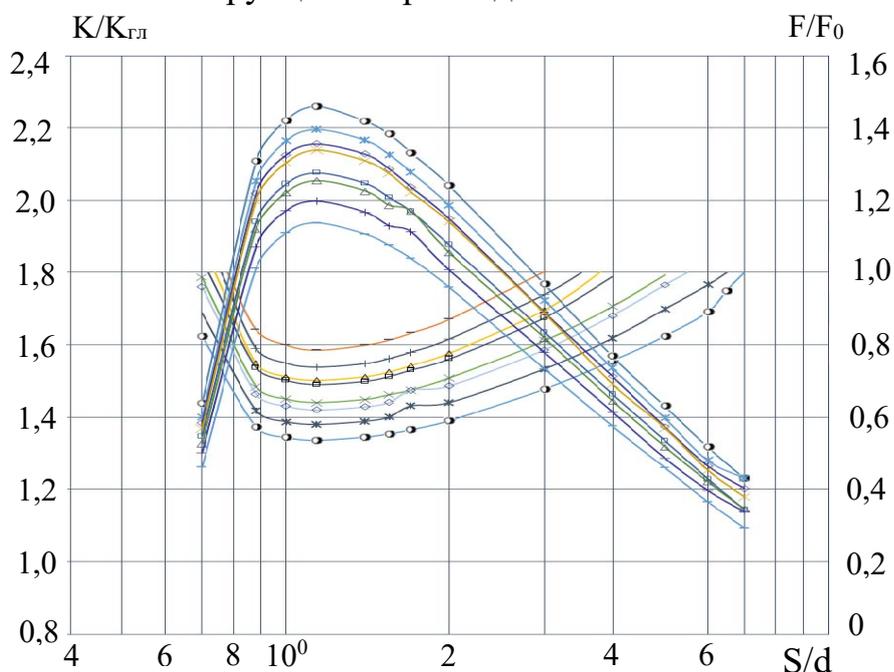
Ўзгарувчан кўндаланг кесимли спиралсимон турбулизаторли трубалар ва текис трубалардан иборат труба-панжарали насадкаларда иссиқлик ўтказиш  $K/K_{\text{гл}}$  ва иссиқлик алмашилиш юзаси  $F/F_{\text{гл}}$  бўйича тажриба натижалари 5-расмда келтирилган.

Аниқловчи параметрлар сифатида оқим ҳаракат тезлиги  $Re=2300-9800$  бўлганда  $S/d$ ,  $h/S$ , самарадорликни баҳолаш эса  $F/F_{\text{гл}}$  ва  $K/K_{\text{гл}}$  орқали амалга

оширилди. Тажриба маълумотларини инобатга олган ҳолда ҳисоблашлар ўзгармас, бир хил иссиқлик юкламаси ва труба каналлари орқали иссиқлик элткични ҳайдаш учун қувватларда ўтказилди. Бир хил иссиқлик юкламаси ва халқали ариқчаларнинг нисбий чуқурлиги  $h/S$  да  $K/K_{гл}$  нисбатининг максимал ва  $F/F_{гл}$  нисбатининг минимал юзаси  $S/d=1,0-1,4$  оралиғига тўғри келади. Намоқобни совитишда труба ички юзасида силлиқ турбулизатор ва ташқи юзасида силлиқ спиралсимон ариқчали юқори самарадор трубаларнинг оптимал параметрлари  $h/S=0,0091-0,08$  ва  $S/d=1,0-1,4$ .

Олинган натижалар асосида абсорберни ҳисоблаш учун ўтказилган изланишларда келтириб чиқарилган асосий критериял формулалар эътиборга асосида муҳандислик услуби, ҳамда самарадор совитиш зонали юқори иссиқлик қувватли колонна қурилманинг технологик, гидравлик, механик ва конструктив ҳисоблари ишлаб чиқилди.

Юқори иссиқлик қувватли самарадор труба-панжара насадкали абсорбцион колонна конструкцияси яратилди.



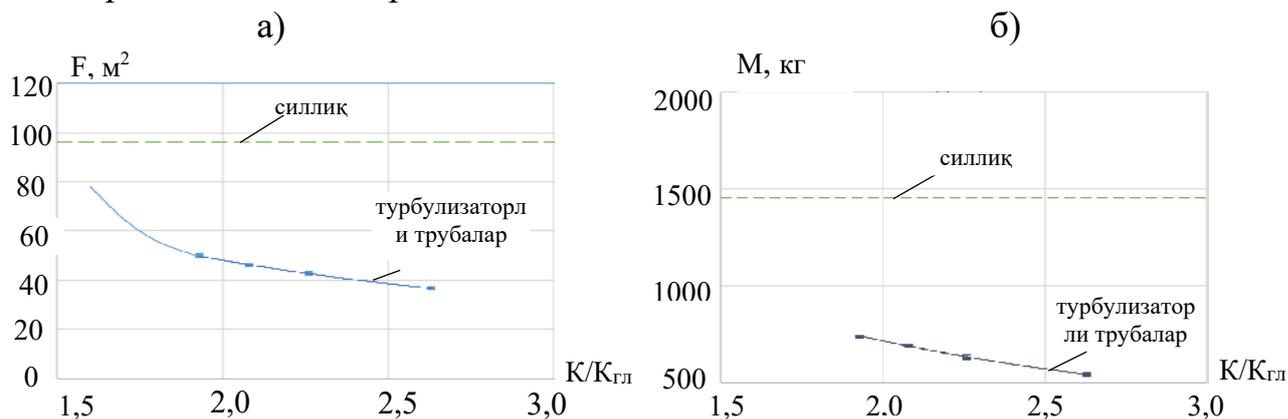
5-расм. Самарали труба-панжара насадкали абсорбер колоннасини оптималлаштириш.

- -  $Re = 2320$ ; + -  $Re = 3000$ ;  $\Delta$  -  $Re = 3700$ ;  $\square$  -  $Re = 4800$ .  
 $\times$  -  $Re = 5500$ ;  $\diamond$  -  $Re = 7100$ ; \* -  $Re = 8500$ ;  $\bullet$  -  $Re = 9800$ .

Абсорбцион колоннанинг афзаллик ва камчиликлари: труба ташқи юзасида ҳаракатланаётган оқимнинг турбулизациясида; труба ичида суюқлик оқимнинг илгарилама-спиралсимон ҳаракатланишида; термик қаршилик ва қовушқоқ, ламинар юпқа қатлам қалинлигини салмоқли камайишида. Ундан ташқари, спиралсимон турбулизаторли иссиқлик алмашиниш трубаларини юқорида қайд этилган схема бўйича труба панжарали насадкаларда жойлаш нисбатан паст гидравлик қаршиликда юқори самарадорликка эга; газ фазаси бўйича ҳажмий сарфи катта; қурилма конструкцияси ва совитиш зонасининг

эксплуатация содда; юқори қовушқоқли суюқликлар билан ишлаш мумкин; труба юзасида чўкинди ва ифлосликлар ҳосил бўлмайди.

Саноат абсорберининг битта совитиш зонаси учун иссиқлик алмашилиш юзаси  $F$  нинг ўлчамсиз коэффицент  $K/K_{гг}$  га боғлиқлиги ба-расмда кўрсатилган. Солиштириш учун ҳар бир ўтказилган тажрибалардан энг самарали турбулизаторлар танлаб олинган. Ушбу натижаларни солиштириб макроғадир-будирликни ҳосил қилиш йўли орқали иссиқлик алмашилишни интенсивлаш усули зарур иссиқлик алмашилиш юзасини 1,7-2,5 маротаба камайтириш имконини беради.



6-расм. Ўлчамсиз иссиқлик ўтказиш коэффиенти  $K/K_{гг}$  нинг труба-панжарали насадканинг иссиқлик алмашилиш юзаси (а) ва металл сарфига (б) таъсири.

Шуни таъкидлаш лозимки, энг яхши натижаларга турбулизаторлар силлик, суюқлик ҳаракати учун қулай ва гидравлик қаршилиги кам бўлганда эришилади. Табиийки, иссиқлик алмашилиш юзасининг камайиши, унга пропорционал равишда труба панжарасида иссиқлик алмашилиш трубалар сонининг камайишига ва қурилмани яшашга металл сарфи камаяди. Ҳисоблашлар шуни кўрсатдики, қурилма диаметри ортиши билан керакли трубалар сони камаяди. Трубалар сонининг камайиши совитиш зонасини тайёрлаш учун металл сарфи пропорционал равишда 2 ёки ундан кўп маротаба камайишига олиб келади (6б-расм).

Хулоса қилиб шуни таъкидлаш керакки, таклиф қилинаётган труба панжарали насадка конструкцияси белгиланган иссиқлик юкламасида абсорбер совитиш зоналарининг диаметри ва баландликлари ўзгармас бўлганда минимал масса, қулай компоновка ва энг муҳими кичик гидравлик қаршиликка эга.

Ундан ташқари, қурилмага метал сарфи камаяди, абсорцион колоннани яшаш технологияси ўзгармайди, конструкциянинг соддалиги унинг ишончилигини ва эксплуатацияда қулайлигини таъминлайди.

## ХУЛОСА

1. Ташқи юзасида спиралсимон ариқчалар ва мос равишда ички юзасида бўртиқ турбулизаторлар бўлган трубаларни қўллаш уюрмаларни ҳосил қилади, бу эса оқимни турбулизациялаб, труба ичи ва трубалараро бўшлиқда иссиқлик алмашилишни жадаллаштиради ва иссиқлик алмашилишнинг ўсиши гидравлик қаршилиқни ортиб кетишини таъминлайди.

2. Суюқликни спиралсимон-накаткали труба ичида ва газ-суюқлик оқими трубалараро бўшлиқда ҳаракатланганида, унинг гидравлик қаршилиғи турли геометрик параметрлар, тезлик ва суюқлик температураларида аниқланди. Тажриба натижаларини умумлаштириб, гидравлик қаршилиқни ҳисоблаш учун хатолиғи  $\pm 9,4\%$  ва  $\pm 3,0\%$  ли критериал формулалар келтириб чиқарилди.

3. Суюқлик оқими труба ичида ва қовушқоқ суюқлик ташқи юзасини ювиб ҳаракатланганида иссиқлик алмашилиш жараёни жадаллашиши тажрибалар ёрдамида аниқланди ва у иссиқлик ўтказиш коэффицентини 2 ва ундан ортиқ маротаба ўсишига олиб келди.

4. Суюқлик ва газ фазаларини яхши контакти учун турли кўндаланг кесимли самарадор иссиқлик алмашилиш юзали труба ва текис трубаларни тешикли панжарада жойлаштириш схемаси ламинар қовушқоқ юпка қатлам қалинлигини камайтиришни таъминлайди, бу эса иссиқлик алмашилиш ва аралаштириш жараёнларини жадаллаштиради.

5. Трубалар ташқи юзасидаги силлиқ ариқчалар конструкцияси микроюрмалар ҳосил қилади, бу эса ўз-ўзини тозалаш эффектини келтириб чиқаради ва натрий бикарбонат тузларини иссиқлик алмашилиш юзасида ўтириб қолиш олдини олади, труба панжарали совитиш зоналарини тозалаш ва таъмирлаш ишларига сарф-харажатларини бартараф қилади.

6. Иссиқлик алмашилишни жадаллаштириш иссиқлик алмашилиш юзаси ёки трубалар сонини камайтириш имконини беради, ҳамда қурилманинг бутун хизмат қилиш муддатида турғун ишлаши ва эксплуатацион характеристикалари ўзгармаслигида уни тайёрлашга метал сарфи тахминан 2 маротабага тежалади.

7. Кенг қамровли ва кўп сонли тажриба изланишлари макро ғадир-будурликларни қилишнинг оптимал соҳасини аниқланди ва у зарур иссиқлик алмашилиш юзаси 20 дан 46% гача кам бўлганда ҳам максимал иссиқлик ўтказишни таъминлайди.

8. Тажриба маълумотлари ва ишда олинган критериал формулаларга асосланиб яратилган муҳандислик услуби асосида юқори иссиқлик қувватига эга труба-панжара насадкали саноат абсорберининг мукамал ҳисоби амалга оширилди.

9. Ярим саноат абсорбцион колонна конструкцияси ишлаб чиқилган ва "Аммофос-Максам" АЖ қурилманинг тажриба намунаси тайёрланган. Колоннали қурилмаларда янги конструкцияли труба-панжарали насадкаларни қўллашнинг иқтисодий самарадорлиғи 746 млн. сўм/қурилма.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА  
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ DSc.27.06.2017.Т.03.02  
ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ  
УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**МАВЛАНОВ ЭЛБЕК ТУЛКИНОВИЧ**

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И  
РАЗРАБОТКА КОЛОННЫХ АППАРАТОВ ПОВЫШЕННОЙ  
МОЩНОСТИ**

**02.00.16 – Процессы и аппараты химической  
технологий и пищевых производств  
(технические науки)**

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

**Ташкент – 2020**

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2017.3.PhD/Т339.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу [www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» по адресу [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Научный руководитель:** **Нурмухамедов Хабибулла Сагдуллаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Мухитдинов Джалолиддин Пахриддинович**  
доктор технических наук, профессор  
**Худойбердиева Назора Шарофовна**  
доктор философии (PhD) по техническим наукам

**Ведущая организация:** **АО «Аммофос-Максам»**

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г. в \_\_\_\_ часов на заседании научного совета DSc.27.06.2017.Т.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете по адресу: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета за №\_\_\_, с которой можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года.  
(протокол рассылки №\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года).

**Н.Р.Юсупбеков**

Председатель научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
академик, д.т.н., профессор

**У.Ф.Мамиров**

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

**Х.З.Игамбердиев**

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

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD)).**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире важным фактором в развитии современной химической и нефтехимической промышленности в различных отраслях производства является разработка конкурентоспособных, импортозамещающих, отвечающих мировым требованиям технологий, реализация которых осуществляется посредством внедрения глубоких фундаментальных исследований в создании химического оборудования и аппаратов с усовершенствованными эффективными конструкциями, решая ряд научно-технических задач в этом направлении. В связи с этим, повышение энергетической и экономической эффективности теплообменных процессов является актуальной.

В мире на исследования в направлении интенсификации и модернизации процессов тепло- и массообмена, являющихся фундаментальными и практическими основами развития современного химического машиностроения обращено особое внимание. Для интенсификации химико-технологических процессов в широком спектре химической промышленности одной из научно-практических проблем считается применение эффективных теплообменных аппаратов для получения низких температур. Данное направление, в частности, интенсификация и модернизация теплообменных процессов, а также проектирование компактных конструкций аппаратов диктует разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий.

У нас в республике проводятся исследования и мероприятия по улучшению тепловой и энергетической эффективности, компактности, надежности и других параметров вновь создаваемых новых аппаратов, а также целевому использованию развитых, эффективных теплообменных поверхностей. Стратегия дальнейшего развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы включает в себя следующие задачи: «... укрепление макроэкономической стабильности и поддержание высоких темпов экономического роста, повышение конкурентоспособности национальной экономики ... сокращение потребления энергии и ресурсов в экономике, широкое внедрение энергосберегающих технологий»<sup>1</sup>. Для реализации выше поставленных задач, а именно, интенсификация теплообменных процессов и разработка колонных аппаратов повышенной мощности считается одной из основных задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента РУз УП-№4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию республики Узбекистан», Постановлениями Президента РУз Ш.М.Мирзиёева ПП-№4265 от 3 апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему реформированию и повышению инвестиционной привлекательности

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

химической промышленности» и ПП-№3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также другими нормативно-правовыми документами в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики VII. «Химическая технология и нанотехнология».

**Степень изученности проблемы.** Учеными всего мира проведены многочисленные научные исследования в области интенсификации теплообменных процессов. Научными исследованиями, направленными на разработку эффективности технологии и аппаратурного оформления процессов интенсификации теплообмена и по созданию компактных, эффективных теплообменных аппаратов и устройств занимались следующие зарубежные ученые: Плановский А.Н., Соломаха Г.П., Рамм В.М., Кутателадзе С.С., Кошкин В.К., Петухов Б.С., Гухман А.А., Кошкин В.К., Калинин Э.К., Кикнадзе, Дрейцер Г.А., Дзюбенко Б.В., Ярхо С.А., Костюк В.В., Мигай В.К. и др., а также отечественные ученые, в частности, Мухитдинов Дж.П., Юсупбеков Н.Р., Захидов Р.А., Закиров С.Г., Гулямов Ш.М. и др.

В настоящее время проведены многочисленные научно-исследовательские работы по теоретическим основам переноса тепла, интенсификации теплообмена, а также по созданию компактных и энергосберегающих аппаратов и оборудований.

Вместе с тем, ученые всех развитых и развивающихся стран активно ведут научные исследования в приоритетных направлениях развития технологии и оборудования абсорбции, теплообмена: интенсификация процессов абсорбции и теплообмена; установка или применение различных турбулизатор потока непосредственно в пристенной зоне; выявление менее энергозатратных режимов течения жидкостей; улучшение перемешивания потока в межтрубном пространстве и обтекания трубного пакета. Однако работ, посвященных эффективному отводу теплоты реакции в холодильных зонах абсорбционных колонн, а также повышению выхода готового продукта без дополнительных материальных затрат мало изучено.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета по теме ИОТ 2016-7-26–«Разработка колонных аппаратов нового поколения повышенной эффективности для химических и нефтегазовых производств» 2016-2017 г.г.

**Целью исследования** является интенсификация процесса теплоотдачи в холодильной зоне абсорберов и повышение тепловой мощности колонных аппаратов.

### **Задачи исследования:**

эксперименты по изучению гидравлического сопротивления и теплоотдачи при течении жидкостей в трубах с турбулизаторами в зависимости от режима течения жидкости и геометрических параметров канавок и выступов;

проведение опытов по влиянию спиральных канавок и схемы размещения гладких труб и труб с развитой поверхностью на гидравлическое сопротивление и теплоотдачу при их омывании;

обработка опытных данных при помощи современных компьютерных программ MATLAB 6.5, STATISTIKA 6.0 в операционной среде Windows XP;

обобщение экспериментальных данных по гидравлическому сопротивлению и теплообмену и вывод критериальных формул;

интенсификация коэффициента теплопередачи при отводе теплоты реакции трубчато-решетчатыми насадками холодильных зон абсорберов;

определение оптимальной области шага нанесения макрошероховатостей на теплообменной поверхности;

достичь снижения поверхности теплообмена при неизменной тепловой нагрузке;

повысить компактность теплообменного устройства и снизить металлоемкость колонного аппарата.

**Объектом исследования** являются трубчато-решетчатая насадка из труб с развитой поверхностью и процесс отвода теплоты реакции в холодильных зонах абсорберов.

**Предметом исследования** заключается в изучении интенсификации процесса теплопередачи и в разработке трубчато-решетчатой насадки повышенной тепловой мощности.

**Методы исследования.** В диссертации использованы методы системного анализа объекта и его элементов, исследования и оптимизации химико-технологических процессов, планирования экспериментов, статистические методы обработки экспериментальных данных, апробированные и общепринятые методики проведения опытов, с использованием точных методов измерения и современных контрольно-измерительных приборов, а также методы экспериментальных исследований.

**Научная новизна диссертационного исследования** заключается в следующем:

выявлено, что гидравлическое сопротивление труб со спиральными турбулизаторами меньше, чем каналы с дискретно расположенными выступами;

установлено, что применение труб со спиралевидными турбулизаторами во всем диапазоне переходной области за счет турбулизации пограничного пристенного слоя при течении жидкости позволяет интенсифицировать теплоотдачу в 2,2-2,9 раза, являясь функцией геометрических параметров нанесенных выступов;

определено, что оптимальный диапазон максимальных значений коэффициента теплоотдачи приходится на интервал шага размещения турбулизаторов  $S/D=1,14-1,4$ ;

в результате обработки опытных данных по течению однофазных жидкостей в каналах и газожидкостных потоков в межтрубном пространстве выведены формулы для расчета коэффициентов гидравлического сопротивления и теплоотдачи высокой точности;

исследование труб с турбулизаторами и разработанная схема размещения гладких труб и труб с различными поперечными сечениями в трубчато-решетчатой насадке холодильных зон абсорбера позволили увеличить коэффициент теплопередачи в 2 и более раз;

создана модель интенсификации теплообмена при течении жидкой и газовой фаз в межтрубном пространстве в противотоке, а охлаждающей жидкости относительно газожидкостного потока в перекрестном токе.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана схема размещения гладких труб и труб со спиральными турбулизаторами и с уменьшающимся поперечным сечением по ходу горячего теплоносителя отличается относительно низким гидравлическим сопротивлением значительно улучшает перемешивание жидкой фазы с газовой и интенсифицирует теплообмен;

разработан метод определения оптимальной области интенсификации теплообмена при неизменной тепловой нагрузке обеспечивающий снижение поверхность теплообмена от 20 до 46%.

разработаны плавно очерченные, спиральные канавки на наружной теплообменной поверхности, которые турбулизуют газожидкостной слой у стенки труб, что препятствует отложению солей;

разработана инженерная методика расчета абсорберов с холодильной зоной, состоящих из чередующихся гладких труб и труб со спиральными турбулизаторами с уменьшающимися поперечными сечениями;

разработана схема размещения труб со спиральными турбулизаторами не меняет технологии сборки трубных пакетов холодильной зоны абсорберов;

разработан аппарат при одинаковой производительности устойчиво работающий с развитой поверхностью теплообмена в 1,7-2,5 раза меньше, чем гладкотрубный абсорбер и при этом металлоёмкость трубчато-решетчатого насадка уменьшается ~2 раза.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность полученных результатов исследования обеспечивается использованием фундаментальных законов термодинамики, использованием классических положений теории гидродинамики и тепло- и массообмена, наличием адекватных физических моделей процессов и алгоритмов расчета, общепринятыми методами экспериментальных исследований, а также согласованностью выполненных с использованием современных средств и

методов, обобщением с привлечением современных программ MATLAB 6.5, STATISTIKA 6.0, Microsoft Excel в операционной среде Windows XP.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования обусловлена интенсификацией теплообмена на внутренней и наружной поверхностях труб трубчато-решетчатых насадков, оптимизации шага размещения турбулизаторов, обеспечивающая максимальный рост теплоотдачи и созданию методики расчета колонных аппаратов повышенной мощности.

Практическая значимость результатов исследования основана на усовершенствовании трубчато-решетчатой насадки холодильной зоны абсорберов путем размещения труб, обеспечивающие интенсивное перемешивание потоков и улучшающие обтекание труб, приводящие к повышению тепловой мощности и снижению металлоемкости колонны.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов по интенсификации теплообмена при отводе теплоты реакции в холодильных зонах абсорберов:

Внедрены полупромышленный образец абсорбера повышенной тепловой мощности на АО «Аммофос-Максам» (справка от АО «Узкимёсаноат» от 2 декабря 2019 года №02-7419). В результате колонные абсорбера с трубчато – решетчатыми насадками повышенной тепловой мощности позволяет интенсифицировать конвективный теплообмен более, чем в 2 раза и пропорционально снизить необходимую поверхность теплообмена;

созданная схема размещения в абсорбере спирально – накатанных и гладких труб со снижающим поперечным сечением, внедрена на АО «Аммофос-Максам» (справка от АО «Узкимёсаноат» от 2 декабря 2019 года №02-7419). В результате обеспечило снижение металлоемкости в холодильной зоне до 2 – х раз.

**Апробация результатов исследования.** Материалы диссертации докладывались и получили одобрение на 7 международных и 4 республиканских научных конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации всего опубликовано 20 научных трудов, в том числе 1 монография, 7 журнальных статей, из них 2 статьи в зарубежных изданиях, рекомендованных ВАК РУз для защиты докторских диссертации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, состоящего из 141 наименований, и приложения. Диссертационная работа изложена на 120 страницах машинописного текста, включает 53 рисунков и 5 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цели и задачи исследования, характеризуются

объект и предмет, показано соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий нашей страны, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику полученных результатов, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ современного состояния вопроса интенсификации теплообмена в трубчато-решетчатых насадках колонных аппаратах»** приведено современное состояние вопроса и раскрыты перспективы развития производства кальцинированной соды, анализ основных процессов и аппаратов, в частности, абсорберов со встроенными холодильными зонами, а также способы для интенсификации протекающих процессов в них. Детально произведен обзор научной литературы о существующих процессах и аппаратах цеха абсорбции, дистилляции, карбонизации и фильтрации (АДКФ), механизма протекающих и преобразующих явлений и конструкций устройств для интенсификации переноса тепла.

Оценивая современное состояние известных конструкций абсорбционных колонн, получивших самое широкое распространение в химической и нефтегазоперерабатывающих отраслях экономики страны, сделан вывод, что существуют проблемы, требующие создание эффективных абсорберов с высокой тепловой мощностью, в которых протекают химические процессы. На основе имеющегося материала главы, сделаны соответствующие выводы и поставлены цели и задачи исследования.

В второй главе диссертации **«Экспериментальные установки, методики проведения опытов и обработки данных по конвективному теплообмену»** представлены описания экспериментальной установки для исследования процесса теплоотдачи от однофазной жидкости к стенке и газожидкостной системы к стенке. Созданная установка позволяет проводить экспериментальные исследования в широком диапазоне изменения режимных параметров: скорости и температуры горячего и холодного теплоносителей, а также геометрических размеров спиралеобразных турбулизаторов. Разработана методика проведения опытов по теплоотдаче и гидравлическому сопротивлению при течении жидкостей в каналах и газожидкостных потоков в межтрубном пространстве, методика обработки первичных экспериментальных данных по интенсивности теплообмена как на гладких трубах, так и трубах с развитой поверхностью. Кроме того, приведены результаты оценки погрешностей измерения измеренных параметров и вычисления различных показателей. Завершается глава выводами.

В третьей главе диссертации **«Теплообмен и гидравлическое сопротивление в каналах со спиральными турбулизаторами»** представлены результаты исследований по интенсификации теплоотдачи и гидравлическому сопротивлению при течении однофазного холодного

теплоносителя в каналах гладких труб и труб со спиралевидными турбулизаторами.

Наиболее эффективными являются теплообменные трубы со спиральными канавками снаружи и плавно очерченными турбулизаторами внутри. В ходе экспериментов рассол охлаждали с 60-65 до 28°C. В качестве охлаждающего агента использована вода с температурой 15-25°C. Исследования проведены на гладкой трубе и трубах со спиральными турбулизаторами с относительным шагом  $h/S=0,017-0,095$ . Скорость охлаждающей воды изменялась в диапазоне чисел Рейнольдса  $Re=(0,95-6) \cdot 10^4$ .

Из рис.1 видно, что численные значения коэффициентов гидравлического сопротивления  $\xi$  труб с плавно очерченными спиральными выступами больше, чем у гладкой трубы.

Сравнение опытных данных для гладкой трубы и труб со спиральными турбулизаторами при  $Re=15000$  показывает, что если для гладкой трубы  $\xi=0,0285$ , то для трубы со спиральными турбулизаторами с относительным шагом  $h/S=0,017$  значение  $\xi=0,0326$ , для трубы с  $h/S=0,023$  значение  $\xi=0,037$ , для трубы с  $h/S=0,034$  значение  $\xi=0,041$  и наконец, для трубы с  $h/S=0,095$ , соответственно, величина  $\xi=0,077$ , т.е. величина коэффициента  $\xi$  увеличивается в 1,15-2,7 раза. Трубы с дискретно расположенными плавно очерченными диафрагмами имеют более высокие значения  $\xi$  относительно гладкой трубы.

Обобщением экспериментальных данных по гидравлическому сопротивлению при течении воды в спирально-накатанных трубах выведена следующая расчетная зависимость:

$$\xi = \frac{0,3161 \cdot \left[ 1 + 8,5 \cdot \left( \frac{h}{S} \right) + 83 \cdot \left( \frac{h}{S} \right)^2 \right]}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (1)$$

Формула (1) справедлива в интервале изменения  $Re=(0,25-6) \cdot 10^4$  и  $h/S=0,0091-0,08$ . Погрешность формулы не превышает  $\pm 9,4\%$ .

Результаты экспериментальных исследований по влиянию шага размещения плавно очерченных турбулизаторов на коэффициент теплоотдачи представлены на рис.2.

Видно, что с ростом числа  $Re$  интенсивность теплообмена повышается для всех труб, т.е. как для гладких, так и для труб с турбулизаторами. Влияние плавно очерченных выступов по спиральной траектории существенно и приводит к сильной турбулизации и соответственно к интенсификации до 2,9 раза.

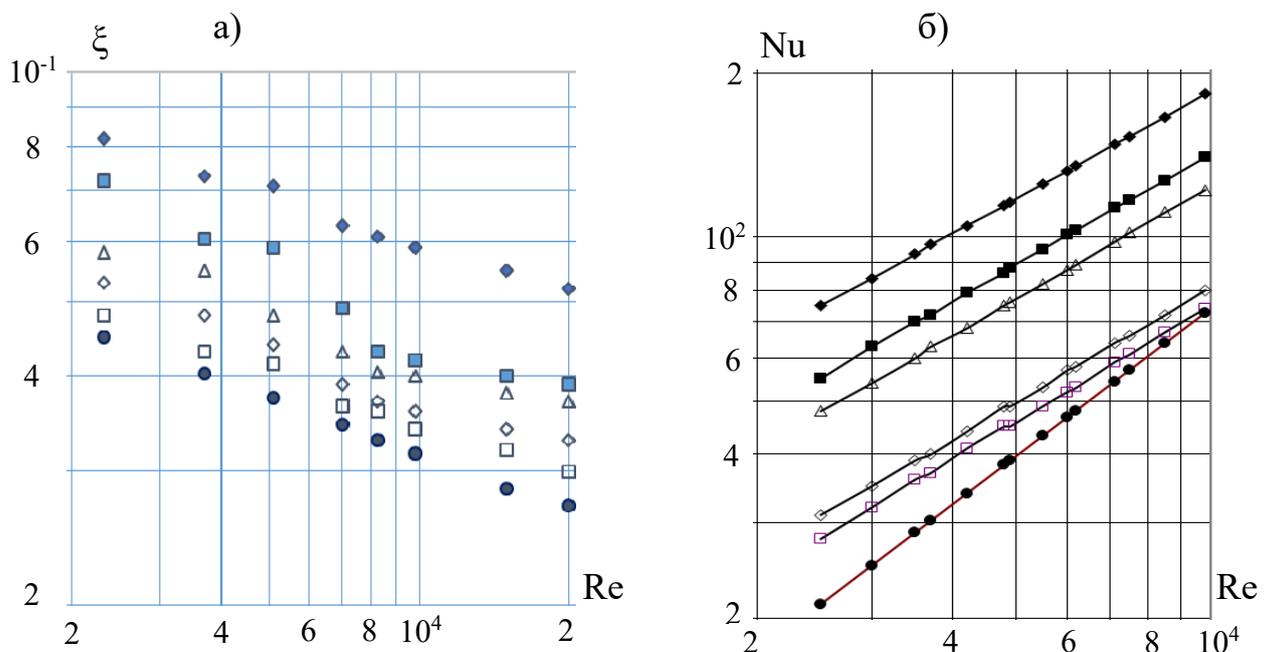


Рис.1. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления  $\xi$  (а) и интенсивности теплообмена  $Nu$  (б) от числа  $Re$  в переходной области течения воды  
 ● - гладкая труба; спиральные турбулизаторы: ◆ -  $h/S=0.08$ ;  
 ■ -  $h/S=0,04$ ;  $\Delta$  -  $h/S=0,027$ ;  $\diamond$  -  $h/S=0,021$ ;  $\square$  -  $h/S=0,0091$ .

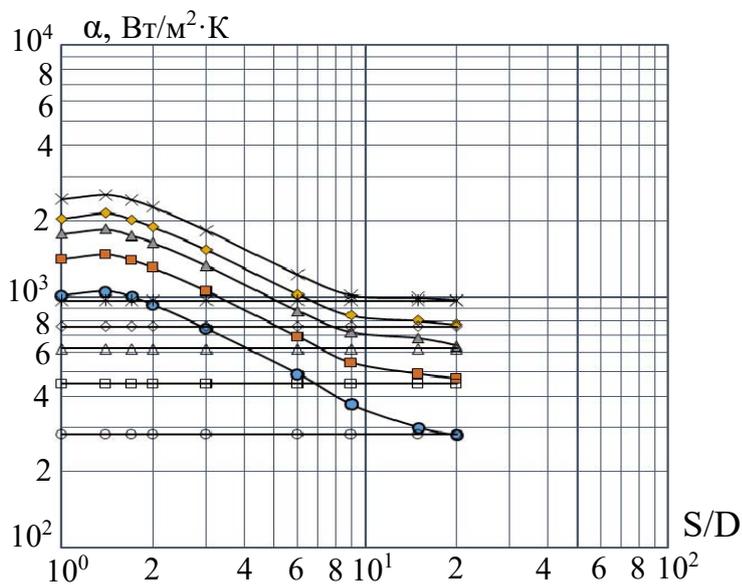


Рис.2. Влияние шага размещения спиральных турбулизаторов на интенсивность теплоотдачи при течении воды.  
 ○, ● -  $Re=2500$ ; □, ■ -  $Re=4200$ ;  
 △, ▲ -  $Re=6000$ ; ◇, ◆ -  $Re=7500$ ;  
 \*, × -  $Re=9800$ . (светлые значки – гладкая труба, залитые – спирально-накатанная труба).

Особо следует отметить тот факт, что характер кривой  $\alpha=f(S/D)$  имеет сложную форму (рис.2). Так, например, при числе Рейнольдса  $Re=2500$  до значения  $S/D=1,4-1,55$  величина коэффициента теплоотдачи плавно возрастает, достигает максимума  $\alpha=1048$   $Вт/(м^2 \cdot К)$  и, затем, начиная со значения  $S/D=1,7$ , наблюдается снижение интенсивности теплоотдачи до  $\alpha=350$   $Вт/(м^2 \cdot К)$ , чему соответствует шаг размещения  $S/D=9-9,5$ .

При дальнейшем росте шага размещения турбулизаторов, т.е.  $S/D > 10$  - снижение резко замедляется

и, наконец, при  $S/D=20$  влияние шага размещения  $S/D$  исчезает и соответствует течению жидкостей в гладких каналах.

Плавно очерченные спиральные выступы внутри и канавки снаружи труб турбулизуют поток в пристенных слоях, но при этом повышают гидравлическое сопротивление и одновременно обеспечивают интенсификацию теплоотдачи с обеих сторон труб. Исследованиями установлено, что при умеренном росте гидравлического сопротивления происходит опережающий рост интенсивности теплообмена.

По мере удаления от критической точки вниз по потоку растет толщина пограничного слоя, вместе с ней растет его тепловое сопротивление, и теплоотдача уменьшается. В зоне отрыва пограничного слоя коэффициент теплоотдачи вновь резко возрастает. В этой зоне происходят весьма сложные и ещё до конца неясные явления. Здесь происходит следующий периодический процесс: утолщение пограничного слоя, его отрыв и унос оторвавшейся массы жидкости вниз по потоку. Этот периодический процесс непрерывно повторяется. Следует ожидать, что чем больше таких процессов происходит в единицу времени, тем интенсивнее теплоотдача, т.к. в момент отрыва слоя тепловое сопротивление в этой зоне значительно уменьшается.

Интенсификация теплоотдачи в трубах с развитой поверхностью показали, что в переносе тепла существенную роль играют крупномасштабные пульсации, направленные из ядра потока к стенке, как результат взаимодействия ядра потока со стенкой. При этом происходит перенос макроскопических объемов теплоносителя из ядра потока к стенке и обратно, возрастает количество выбросов от стенки, стимулирующих пробуждение турбулентности.

Общеизвестно, что любая дополнительная турбулизация потока жидкости связана с определенными затратами энергии, а решающим при разработке эффективных методов интенсификации теплопереноса является выбор места воздействия на поток. Исследования показали, что плавно очерченные турбулизаторы в виде плавно очерченных выступов в канале обеспечивают дополнительную турбулизацию пристенных слоев жидкости. Выявлено, что именно подобные турбулизаторы обеспечивают значительное увеличение интенсивности теплообмена при умеренном росте гидравлического сопротивления. Поэтому, любые вихри, образующиеся непосредственно около стенки, интенсифицируют теплоотдачу в каналах.

Экспериментальные исследования и теоретический анализ проведенных работ показывает, что наиболее эффективным является организация процесса переноса тепла в переходной области течения жидкостей.

Обобщением опытных данных по теплоотдаче в каналах со спиральными турбулизаторами получена критериальная формула в виде:

$$\frac{Nu}{Nu_{ст}} = \left\{ 1 + 750,1 \left[ \frac{h}{S} \left( 1 - \frac{2h}{d_1} \right) \right] - 5538 \cdot \left[ \frac{h}{S} \left( 1 - \frac{2h}{d_1} \right) \right]^2 \right\} \cdot Re^{-m \left( \frac{h}{S^*} \right)^n}. \quad (2)$$

Формула (2) справедлива в интервале изменения числа Рейнольдса  $Re=(0,25-6) \cdot 10^4$  и  $h/S=0,0091-0,08$ . Погрешность формулы (2) не более  $\pm 10,2\%$ .

В четвертой главе диссертации «**Интенсификация теплообмена при омывании трубчато-решетчатых насадков со спиральными канавкам**» представлены опытные данные по гидравлическому сопротивлению и теплоотдачи при омывании труб трубчато-решетчатых насадков.

Анализ результатов экспериментальных исследований в виде функции  $Eu=f(Re)$  показал, что с ростом скорости потока наблюдается некоторое снижение величины критерия Эйлера  $Eu$ . Сопоставление данных показывает, что нанесение плавно очерченных спиральных канавок приводит к некоторому возрастанию гидравлического сопротивления по сравнению с гладкой трубой в 1,1-1,9 раза в зависимости от скорости потока.

Обобщением опытных данных по гидравлическому сопротивлению выведена расчетная формула в виде:

$$Eu = 56,4 \cdot Re^{-0,25} \cdot \left(\frac{h}{S}\right)^{0,22}, \quad (3)$$

здесь  $Eu=Eu^*/m$ , где  $m$  - число рядов.

Формула (3) справедлива в диапазоне изменения чисел Рейнольдса  $Re=2300-10000$ , шага расположения спиральных канавок  $h/S=0,0091-0,08$ . Погрешность формулы во всем диапазоне не превышает  $\pm 3,0\%$ .

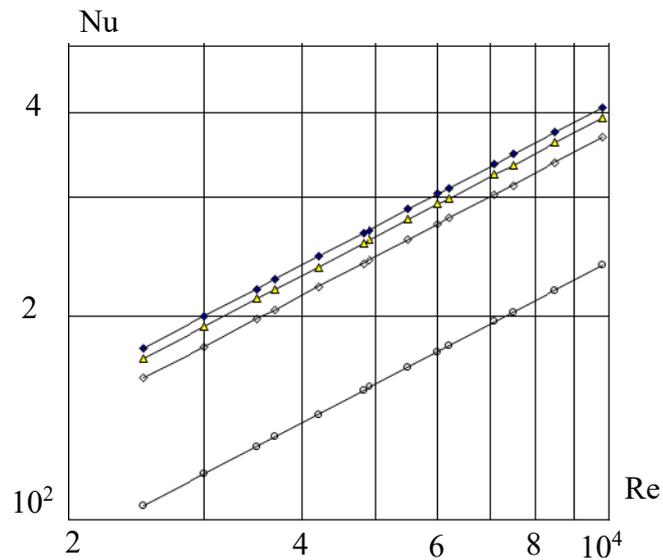


Рис.3. Зависимость интенсивности теплообмена  $Nu$  от числа  $Re$  охлаждения рассола в межтрубном пространстве на трубчато-решетчатой насадки.  $S/D=0,25$ .  $\blacklozenge$  -  $h/S=0,095$ ;  $\blacktriangle$  -  $h/S=0,029$ ;  $\blacklozenge$  -  $h/S=0,003$ .

На рис. 3 приведены результаты исследования по интенсивности теплообмена при охлаждении газожидкостного потока в межтрубном пространстве в виде функции  $Nu=f(Re)$ .

Из рисунка видно, что с ростом скорости потока интенсивность теплообмена возрастает абсолютно для всех исследованных труб с турбулизаторами. Подтверждением тому, при числе Рейнольдса  $Re=4200$  для гладкой трубы значение числа Нуссельта  $Nu=148$ , для  $h/S=0,003$  величина  $Nu=220$ , для  $h/S=0,029$  критерия  $Nu=243$  и для  $h/S=0,095$  -  $Nu=272$ . Анализ опытных данных показывает, что с увеличением глубины канавок теплоотдача повышается от 1,5 до 1,85 раза.

Механизм интенсификации теплопереноса при поперечном обтекании пакета труб, из чередующихся гладких труб и труб с турбулизаторами различного поперечного сечения объясняется тем, что наличие на поверхности нагрева упорядоченной макрошероховатости приводит к улучшению структуры потока у стенки, которое с одной стороны вызвано разрушением пристенного слоя на элементах макрошероховатости, а с другой - воздействием на подслой вихрей, образующихся при срыве потока с плавно очерченных выступов и, продвигающихся не только в направлении ядра потока, но и в направлении стенки.

Обобщением опытных данных по интенсивности теплообмена при течении вязкой жидкости в межтрубном пространстве выведена следующая критериальная формула:

$$Nu = 0,597 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_0}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{S}{D}\right)^{-0,15} \cdot \left(\frac{h}{S}\right)^{0,3} \quad (4)$$

Формула (4) справедлива в интервале изменения числа Рейнольдса  $Re=(0,23-0,98) \cdot 10^4$ ,  $S/D=0,21-2,0$  и  $h/S=0,017-0,095$ . Погрешность формулы не превышает  $\pm 7,3\%$ .

Одним из способов определения эффективности теплового процесса является использование относительных интенсивности теплообмена и гидравлического сопротивления:

$$\frac{Nu}{Nu_0} \geq \frac{\xi}{\xi_0} \quad (5)$$

Экспериментальные исследования показали, что созданная аналогичным образом турбулизация потока приводит к интенсификации теплового процесса абсорбционных в колонных, при умеренном росте гидравлического сопротивления равенство (5) нарушается, что доказывает энергетическую эффективность данного метода интенсификации теплообмена.

Следует подчеркнуть, что трубчато-решетчатые насадки состоящие из гладких труб и труб со спиральными турбулизаторами с уменьшающимся поперечным сечением позволяет генерировать струи и вихри вязкой жидкости, что приводит к турбулизации потока в межтрубном пространстве.

Эти упорядоченные и организованные вихревые потоки служат источником создания дополнительной турбулентности.

Кроме того, образующиеся в предлагаемой схеме размещения труб вихри и струи предотвращают отложение солей и накипи на теплообменных поверхностях труб. Необходимо также отметить и тот факт, что турбулизация потока ведет не только к интенсификации теплообмена, но и значительно улучшает массообменный процесс.

В пятой главе диссертации «**Практическое использование результатов работы**» представлены опытные данные по коэффициенту теплопередачи, оптимизации колонных аппаратов по необходимой поверхности теплообмена, инженерная методика расчета и конструкция абсорбционной колонны повышенной мощности, а также по снижению металлоемкости и размеров аппарата.

На рис.4 представлены результаты по коэффициенту теплопередачи  $K$  в виде функциональной зависимости  $K=f(Re)$ . Как видно из графиков, при шаге навивки спиральных канавок  $h/S=0,08$  и числе Рейнольдса  $Re=2500$  значение коэффициента теплопередачи  $K=574$ , при  $Re=4900$  величина  $K=848$  и при  $Re=9800$  -  $K=1244$  Вт/м<sup>2</sup>·К.

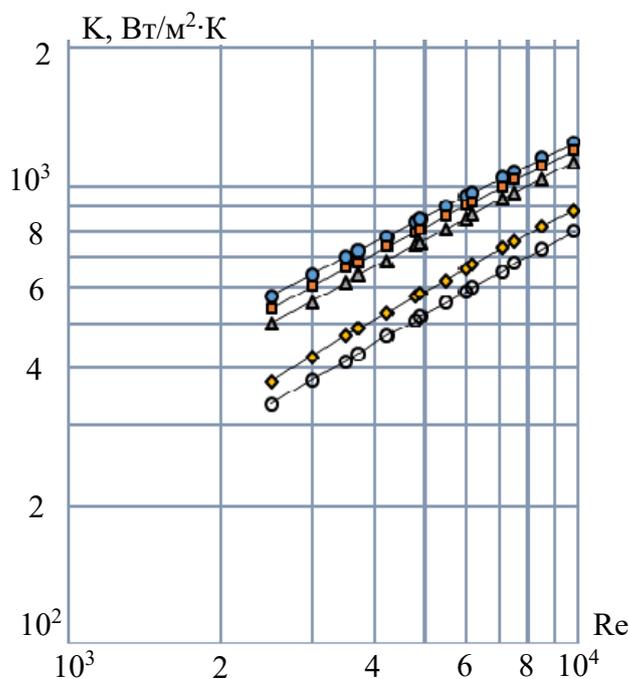


Рис.4. Влияние числа Рейнольдса  $Re$  на коэффициент теплопередачи при охлаждении аммонизированного рассола при течении воды в спирально-накатанных трубах.

●-  $h/S=0,08$ ; ■-  $h/S=0,04$ ; ▲-  $h/S=0,027$ ;  
◆-  $h/S=0,021$ ; ○-  $h/S=0,0091$ .

Анализ опытных данных показывает, что с ростом скорости потока значение коэффициента  $K$  возрастает существенно, т.е. в 2 с лишним раза.

Влияние глубины канавки на внешней поверхности трубы на коэффициент теплопередачи можно увидеть на следующем примере. Так,

при уменьшение глубины канавок  $h$  при постоянном шаге их размещения  $S=\text{const}$  приводит к снижению отношения  $h/S$ . Естественно, подобное снижение  $h/S$  значительно влияет на перенос тепла, т.е. коэффициент теплопередачи  $K$ . Например, при  $h/S=0,027$  и числе Рейнольдса  $Re=2500$ , значение коэффициента теплопередачи  $K=501$ , при  $Re=4900$  величина  $K=752$  и при  $Re=9800$  -  $K=1127 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ .

При минимальной глубине канавок  $h/S=0,0091$  коэффициент теплопередачи самый низкий. Например, при  $h/S=0,0091$  и числе Рейнольдса  $Re=2500$  значение коэффициента теплопередачи  $K=334$ , при  $Re=4900$  величина  $K=520$  и при  $Re=9800$  -  $K=797 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ .

Анализ процесса переноса тепла в зависимости от параметра  $h/S$  показывает, что при неизменном шаге навивки спиральных канавок, глубина канавок имеет важное значение на теплоперенос. Увеличение глубины накатки канавок при неизменном шаге их размещения  $S=\text{const}$  с ростом отношения с  $h/S=0,0091$  до  $h/S=0,08$  ведет к росту величины  $K$  в 1,5-1,7 раза.

Турбулентность потока жидкост-ти является важным параметром, существенно влияющим на интенсивность теплопереноса. Интен-сификация переноса тепла в каналах всегда осуществляется за счет устройств, которые придают дополнительный импульс потоку жидкости. В подобных конструкциях теплообменных труб степень турбулентности потока является функцией геометрических параметров турбулизаторов.

Однако, в любом случае нанесение турбулизаторов на трубе сопряжено с затратами энергии, т.е. в данном случае нанесение плавно очерченных местных сопротивлений (турбулизаторов) в виде спирально- накатанных канавок снаружи и выступов внутри для придания поступательного и вращательного движения потоку теплоносителя. Естественно, устройство должно быть удобообтекаемым, т.е. по возможн-ости находиться вдоль направления движения потока или под небольшим углом и иметь низкие значения коэффициента сопротивления. С этой точки зрения спирально-накатанные турбулизаторы являются наиболее оптимальными, так как помимо расположения выступов под углом, они выполнены плавно очерченными. Подобная конструкция имеет неоспоримое преимущество и относительно низкие гидравлическое сопротивления.

На рис.5 приведены результаты экспериментальных данных по теплопередаче  $K/K_{\text{гл}}$  и численных расчетов по поверхности теплообмена  $F/F_{\text{гл}}$  трубчато-решетчатых насадков из чередующихся гладких труб и труб с турбулизаторами переменного поперечного сечения.

В качестве определяющих параметров выбраны  $S/D$ ,  $h/S$  при скорости потока  $Re=2300-9800$ , а оценка эффективности производилась через  $F/F_{\text{гл}}$  и  $K/K_{\text{гл}}$ . Численные расчеты с учетом экспериментальных данны произведён при неизменной, одинаковой тепловой нагрузке и мощности на прокачку теплоносителя в каналах труб. При одинаковых тепловых нагрузках, относительной глубине кольцевых канавок  $h/S$  максимальное значение отношения  $K/K_{\text{гл}}$  и наименьшая поверхность приходится на интервал

$S/D=1,0-1,4$ . Оптимальными параметрами высокоэффективных труб со спирально расположенными кольцевыми канавками снаружи и турбулизаторами внутри при охлаждении рассола являются:  $h/S = 0,0091-0,08$  и  $S/D=1-1,4$ .

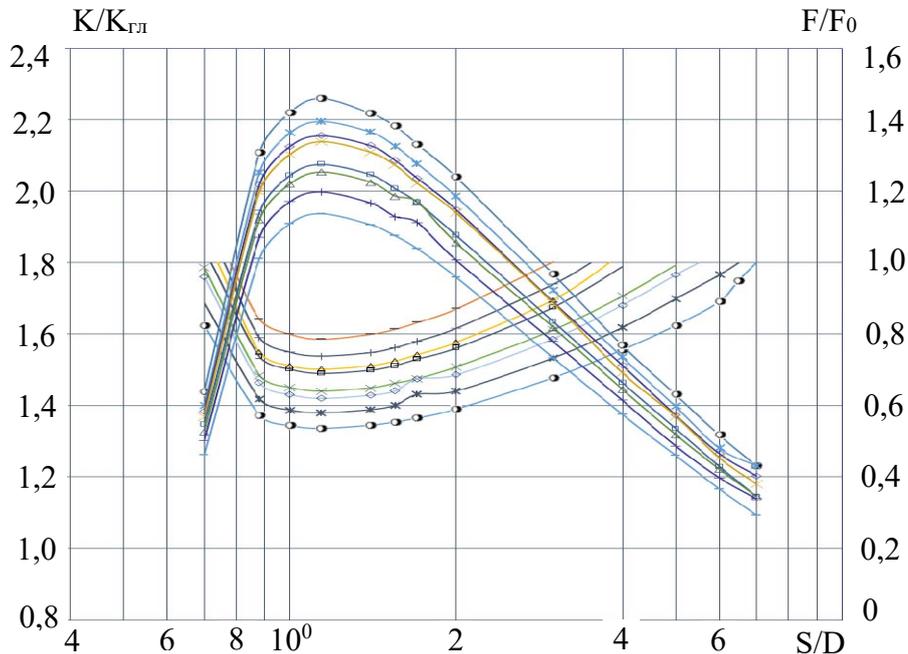


Рис.5. Оптимизация колонного абсорбера с эффективным трубчато-решетчатыми насадками.  
 - -  $Re = 2320$ ; + -  $Re = 3000$ ;  $\Delta$  -  $Re = 3700$ ;  $\square$  -  $Re = 4800$ .  
 x -  $Re = 5500$ ;  $\diamond$  -  $Re = 7100$ ; \* -  $Re = 8500$ ;  $\bullet$  -  $Re = 9800$ .

На основе полученных результатов разработана инженерная методика расчета абсорбера, которая включает основные расчетные формулы, полученные в данной работе, а также технологический, гидравлический, механический и конструктивные расчеты колонного аппарата повышенной тепловой мощности с эффективной зоной охлаждения.

Разработана конструкция абсорбционной колонны с эффективной трубчато-решетчатой зоной повышенной тепловой мощности.

Преимущества и достоинства абсорбционной колонны: в турбулизации потока обтекающей трубу снаружи, в поступательно-спиральном движении потока жидкости внутри труб, значительном снижении толщины ламинарного вязкого подслоя и термического сопротивления. Кроме того, трубчато-решетчатые насадки с подобным размещением развитых теплообменных труб имеют относительно низкие гидравлические сопротивления, при высокой эффективности; большая пропускная способность по газу; простота конструкции и эксплуатации холодильной зоны; возможность работы с высоковязкими жидкостями; предотвращение отложения загрязнений на поверхности труб.

На рис.6а показана зависимость поверхности теплообмена  $F$  от безразмерного коэффициента  $K/K_{\text{гл}}$  для одной холодильной зоны промышленного абсорбера. Для сравнения выбраны результаты наиболее эффективных турбулизаторов в каждой из проведенных исследований. Сопоставляя эти данные легко видеть, что рассмотренный метод интенсификации теплообмена, путем нанесения макрошероховатостей, позволяет сократить поверхность теплообмена в 1,7-2,5 раза.

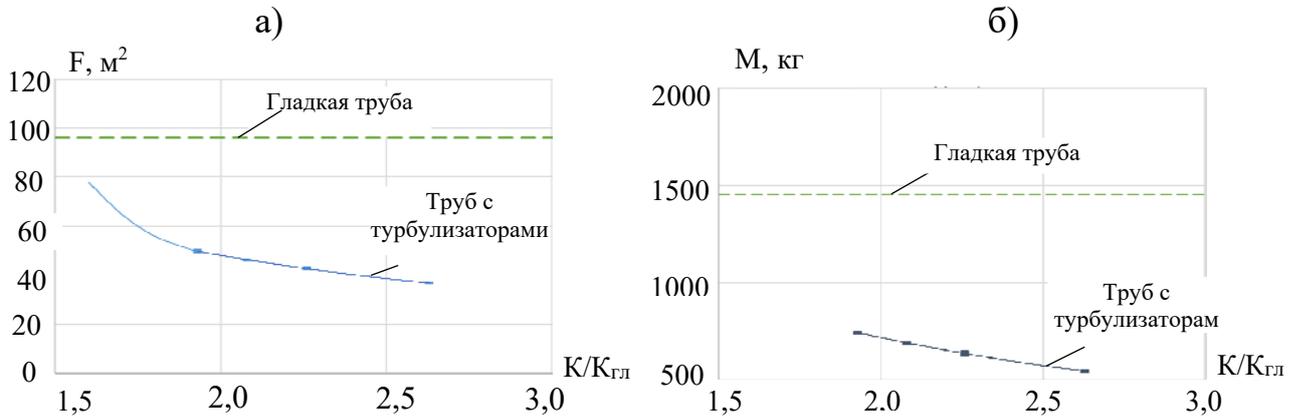


Рис.6. Влияние безразмерного коэффициента теплопередачи  $K/K_{\text{гл}}$  на необходимую поверхность теплообмена (а) и металлоемкость (б) трубчато-решетчатого насадка.

Причем, наилучшие результаты достигаются, когда турбулизаторы плавно очерченны, являются удобообтекаемыми и с низким гидравлическим сопротивлением. Естественно, существенное снижение поверхности теплообмена ведет к пропорциональному сокращению количества теплообменных труб в трубной решетке, и, соответственно, снижается металлоемкость аппарата. Численные расчеты показали, что с ростом диаметра аппарата количество необходимых труб соответственно будет меньше. Уменьшение количества труб приводит к пропорциональному снижению металлоемкости холодильной зоны в 2 и более раз (рис.6б).

В заключении необходимо подчеркнуть, что предлагаемая конструкция трубчато-решетчатой насадки при заданной тепловой нагрузке имеют минимальную массу при сохранении диаметра и высоты холодильных зон, удобную компоновку и самое важное, относительно низкое гидравлическое сопротивление.

Кроме того, снижается металлоёмкость аппарата, технология изготовления абсорбционных колонн не меняется, простота конструкции обеспечивает надежность и удобство при эксплуатации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что применение труб со спиральными канавками снаружи и соответствующими выступами-турбулизаторами внутри труб создает вихревые зоны, которая является источником дополнительной турбулизации потока и интенсифицирует теплообмен как в трубном, так и в межтрубном пространствах, и обеспечивает опережающее увеличение переноса тепла над ростом гидравлического сопротивления.

2. Определены гидравлические сопротивления при течении жидкости в каналах спирально-накатанных труб, и газожидкостного потока в межтрубном пространстве в широком диапазоне изменения геометрических параметров, скорости и температуры теплоносителей. Обобщением опытных данных выведены критериальные формулы для расчета гидравлического сопротивления с погрешностью  $\pm 9,4\%$  и  $\pm 3,0\%$ .

3. Экспериментами выявлена интенсификация теплоотдачи при течении потока жидкости внутри трубы и обтекании вязкой жидкостью снаружи, что способствует росту коэффициента теплопередачи в 2 и более раза.

4. В целях достижения лучшего перемешивания разработана схема размещения труб как из гладких, так и труб с развитой теплообменной с различной поверхностью поперечного сечения, обеспечивающая снижение толщины ламинарного вязкого подслоя, что приводит к интенсификации процессов перемешивания и теплообмена.

5. Конструкция канавок снаружи труб способствует генерации микровихрей, что вызывает эффект самоочищения и предотвращает отложение солей бикарбоната натрия на теплообменной поверхности, позволяет ликвидировать затраты на чистку и ремонт трубчато-решетчатых холодильных зон.

6. Интенсификация теплообмена позволяет сократить поверхность теплообмена или количество труб, соответственно снизить металлоемкость  $\sim 2$  раза при стабильной её работе и сохранении эксплуатационных характеристик на протяжении всего срока службы аппарата.

7. Комплексные и многочисленные экспериментальные исследования позволили выявить оптимальную область шага нанесения макрошероховатостей, обеспечивающая максимальную теплопередачу, при которой необходимая поверхность снижается от 20 до 46%.

8. Произведен углубленный расчет промышленного абсорбера с трубчато-решетчатой насадкой повышенной тепловой мощности на основе созданной инженерной методики, опирающейся на опытные данные и критериальные формулы данной работы.

9. Сконструирована полупромышленная абсорбционная колонна и изготовлен пилотный образец аппарата в АО «Аммофос-Махам». Экономический эффект от применения новых конструкций трубчато-решетчатых насадок в колонных аппаратах составит 746 млн. сум/аппарат.

**ONE-TIME SCIENCE COUNCIL BASED ON SCIENCE COUNCIL  
DSC.27.06.2017.T.03.02 ON AWARDING ACADEMIC DEGREES AT THE  
TECHNICAL UNIVERSITY OF TASHKENT**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**MAVLANOV ELBEK TULKINOVICH**

**INTENSIFICATION OF HEAT EXCHANGE PROCESSES AND  
DEVELOPMENT OF COLUMN UNITS OF HIGH POWER**

**02.00.16 – Processes and apparatus of chemical  
technologies and food productions  
(technical sciences)**

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

**Tashkent - 2020**

**The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) is registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number №B2017.3.PhD/T339.**

The dissertation has been carried out at the Tashkent State Technical University.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and Information and Educational portal «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific consultant:** **Nurmukhamedov Khabibulla Sagdullayevich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** **Mukhitdinov Djaloliddin Pakhriddinovich**  
doctor of technical sciences, professor  
**Khudoyberdiyeva Nazora Sharofovna**  
doctor of philosophy (PhD) in technical science

**Leading organization:** **JSC «Ammophos-Maxam»**

Defence of dissertation will take place in «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 at \_\_\_\_\_ o'clock a meeting of the scientific council DSc.27.06.2017.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address:100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail:tstu\_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University (registration number \_\_\_\_\_). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2. tel.: (99871) 246-03-41.

The abstract of the dissertation has been distributed on «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 year.  
Protocol at the register №\_\_\_ dated «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 year.

**N.R. Yusupbekov**

Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academic

**U.F. Mamirov**

Scientific secretary of the Scientific council  
awarding scientific degrees,  
PhD on technical sciences

**H.Z.Igamberdiyev**

Chairman of scientific Academic seminar under  
the scientific council awarding scientific of degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academic

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research** is to intensify the process of heat transfer in the refrigeration zone of absorbers and increase the thermal power of the column apparatus.

**The subject of the study** is to study the intensification of the heat transfer process and to develop a tubular-lattice nozzle of increased thermal power.

**The scientific novelty of the thesis** is as follows:

it was revealed that the hydraulic resistance of spiral turbulators is less than the channels with discretely located protrusions;

it was established that the use of pipes with spiral turbulators in the entire range of the transition region due to the turbulization of the boundary wall layer during fluid flow intensifies heat transfer by 2.2-2.9 times, being a function of the geometric parameters of the applied protrusions;

it was determined that the optimal range of maximum values of the heat transfer coefficient falls on the interval of the step of placement of turbulators  $t/D = 1.14-1.4$ ;

as a result of processing experimental data on the flow of single-phase liquids in channels and gas-liquid flows in the annulus, formulas are derived for calculating the hydraulic resistance and heat transfer coefficients of high accuracy;

the study of pipes with turbulators and the developed layout of smooth pipes and pipes with different cross sections in the tubular-lattice nozzle of the absorber refrigeration zones allowed to increase the heat transfer coefficient by 2 or more times;

a model was created for the intensification of heat transfer during the flow of liquid and gas phases in the annulus in countercurrent flow, and of the cooling fluid relative to the gas-liquid flow in a cross current.

**Implementation of research results.** Based on the results obtained on the intensification of heat transfer during the removal of the heat of reaction in the refrigeration zones of absorbers, the following amount of work was carried out to implement the development of the thesis:

it is designed, engineered and manufactured semi-industrial pattern of high efficiency absorption column at JSC "Ammophos-Maxam" (certificate JSC "Uzkimyosanoat" from 2 december 2019 y., №02-7419). Column absorber with tubular - grating nozzles of increased thermal power allows you to intensify convective heat transfer more than 2 times and proportionally reduce the required heat transfer surface;

the created layout for the placement of spiral-rolled and smooth pipes in the absorber with a decreasing cross section was implemented at JSC Ammofos-Maxam (certificate JSC "Uzkimyosanoat" from 2 december 2019 y., №02-7419). As a result, it ensured a reduction in metal consumption in the refrigeration zone up to 2 times.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references, consisting of 141 titles, and an appendix. The dissertation is presented on 120 pages of typewritten text, includes 53 figures and 5 tables.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (часть I; part I)**

1. Закиров С.Г., Мавлонов Э.Т., Нурмухамедов Х.С. и др. Колонные аппараты высокой эффективности. – Ташкент: изд-во ТХТИ, 2019. – 185 с.

2. Закиров С.Г., Нурмухамедов Х.С., Мавланов Э.Т. Обобщение опытных данных по гидравлическому сопротивлению пучка спирально-накатанных труб при омывании кристаллизующимися растворами // Химическая технология. Контроль и управление, Ташкент, 2010. №4. -С.12-15. (02.00.00; №10).

3. Мавлонов Э.Т. Закиров С.Г. Нурмухамедов Х.С. Влияние скорости жидкости на теплоперенос при течении в каналах со спиральными турбулизаторами // Химическая промышленность, Санкт-Петербург, 2016. №2. -С.70-74. (02.00.00; №21).

4. Закиров С.Г. Каримов К.Ф. Мавлонов Э.Т. Нурмухамедов Х. Теплопередача при обтекании труб с развитой поверхностью высоковязкими жидкостями // ТошДТУ хабарлари, Ташкент, 2016. №2. -С.69-74. (02.00.00; №11).

5. Мавлонов Э.Т. Закиров С.Г. Нурмухамедов Х. Темиров О.Ш. Влияние скорости воды на интенсивность переноса тепла при течении в каналах со спиральными плавными очерченными турбулизаторами // Химия и химическая технология, Ташкент, 2017. №4. -С.52-55. (02.00.00; №3).

6. Закиров С.Г., Каримов К.Ф., Нурмухамедов Х.С., Аннаев Н.А., Рамбергенов А.К. Теплопередача при охлаждении аммонизированного рассола в трубчато-решетчатых насадках колонных аппаратов // Химическая технология. Контроль и управление, Ташкент, 2017. №6. -С.18-23. (02.00.00; №10).

7. Закиров С.Г., Мавлонов Э.Т., Нурмухамедов Х.С. и др. Интенсификация переноса тепла при охлаждении в абсорберах с трубчато-решетчатыми насадками с развитой поверхностью //Химическая промышленность, Санкт-Петербург, 2019. №3. -С.146-150. (02.00.00; №21).

8. Закиров С.Г., Нурмухамедов Х.С., Мавлонов Э.Т., Бабатуллаев Б.Б. Гидравлическое сопротивление при течении вязких жидкостей в межтрубном пространстве холодильных зон абсорбционных колонн // Химическая технология. Контроль и управление, Ташкент, 2019. №2. -С.11-16. (02.00.00; №10).

**II бўлим (часть II; part II)**

9. Закиров С.Г., Нурмухамедов Х.С., Мавланов Э.Т. Интенсивность теплообмена при обтекании спирально-накатанных труб аммонизированном

рассолом// Химическая промышленность сегодня, Москва, 2012. №9. -С.53-58. (02.00.00; №22).

10. Мавланов Э.Т., Нурмухамедов Х.С., Закиров С.Г. Гидравлическое сопротивление пучка спирально-накатанных труб при омывании кристаллизующимися растворами / Тез. докл. Межд. науч.-техн. конф. «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и их пути развития», Навои, 2010. -С.440-441.

11. Мавлонов Э.Т., Закиров С.Г., Рейимбаев Р.С. Гидравлическое сопротивление спирально-накатанных труб при течении воды / Тез. докл. респ. науч.-практ. конф. «Киме, нефт-газ кайта ишлаш ва озик-овкат саноатлари инновац. технология долзарб муамм.», Кунград, 2010. -С.66-67.

12. Мавлонов Э.Т., Нуриллаева А.А. и др. Влияние шага расположения турбулизаторов на гидравлическое сопротивление при течении воды / Тез. докл. респ. науч.-практ. конф. «Киме, нефт-газ кайта ишлаш ва озик-овкат саноат. инновац. технология долзарб муамм.», Кунград, 2010. -С.136-137.

13. Мавлонов Э.Т., Норматов А.У., Нурмухамедов Х.С. Влияние шага расположения спиральных канавок на коэффициент гидравлического сопротивления при течении воды в каналах / Тр. XX-науч.-техн. конф. молодых ученых, магистрантов и бакалавров, Ташкент.: ТХТИ, 2011. -т.1. -С.240-241.

14. Мавлонов Э.Т., Закиров С.Г., Сагдуллаев У.Х., Нурмухамедов Х.С. Влияние геометрических параметров турбулизаторов на гидравлическое сопротивление при течении жидкостей в каналах / Межд. науч.-практ. конф. «Инновационные технологии продуктов здорового питания, их качество и безопасность», Алматы, 2011, 20-21 октября, С.158-160.

15. Закиров С.Г., Мавлонов Э.Т., Сагдуллаев У.Х., Нурмухамедов Х.С. Интенсивность теплообмена при обтекании пучка труб с плавно очерченными спиральными канавками вязкими жидкостями / Тез. докл. Межд. науч.-техн. конф. «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов», Минск, 17-18 мая 2012, -С.204-206.

16. Zakirov S.G., Mavlanov E.T., Nurmuhamedov H.S. Hydraulic resistance nakatala spiral tube with flow fluid in the channel. 6-th World Conf. On Intelligent Sitemis for Industrial Automation «WCIS-2012», Tashkent.: 3-4 nov., 2012. P.209-212.

17. Халилов Х.Ш., Реймбаев Д.С., Эшбоев Б.Б. Нигмаджонов С.К. Мавлонов Э.Т. Влияние глубины спирально-накатанных канавок на интенсивность теплоотдачи при охлаждении вязких жидкостей. Труды 23-науч.-техн. конф. «Умидли кимегар», Ташкент, ТХТИ, 2014. ч.1. -С.248-249.

18. Мавлонов Э.Т., Каримов К.Ф., Нурмухамедов Х.С. и др. Влияние шага расположения турбулизаторов на интенсивность теплоотдачи при охлаждении аммонизированного рассола / VII-межд. симпозиум «Химия и химическое образование» Владивосток, 2017, 17-20 октября, -С.81-83.

19. Мавлонов Э.Т., Аннаев Н.А., Нурмухамедов Х.С. и др. Улучшение обтекания теплообменных труб с развитой поверхностью на

интенсификацию теплопередачи / Мат. 3-ей межд. науч.-практ. конф. «Global science and innovation-2018: Central Asia» Астана, 2018. ч.2. -С.280-282.

20. Мавлонов Э.Т., Закиров С.Г., Бабатулаев Б.Б., Нурмухамедов Х.С. Влияние шага накатки спиральных канавок на теплоотдачу при обтекании пучка труб вязкими жидкостями / Мат. межд. науч. -практ. конф «Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе» Воронеж, 2019. -С.151-154.

Автореферат «Техника фанлари ва инновация» илмий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.  
Шартли босма табағи: 2,8. Адади 100 нусха. Буюртма № 19.

Гувоҳнома № 10-3719  
«Тошкент кимё технология институти» босмаҳонасида чоп этилган.  
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.