

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ  
16.07.2013.Т.08.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ  
УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ**

**РАХМОНОВ ТОЙИР ЗОЙИРОВИЧ**

**ТАБИИЙ ГАЗНИ КОМПЛЕКС ТОЗАЛАШ УЧУН ЮҚОРИ  
САМАРАДОР УСКУНАЛАРНИ ЯРАТИШ**

**02.00.08 – Нефт ва газ кимёси ва технологияси  
(техника фанлари)**

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Ташкент шаҳри – 2015 йил**

**Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата докторской диссертации**  
**Content of the abstract of doctoral dissertation**

Рахмонов Тойир Зойирович Табиий газни комплекс тозалаш учун юқори самарадор ускуналарни яратиш.....	3
Рахмонов Тойир Зойирович Создание высокоэффективных аппаратов для комплексной очистки природного газа.....	27
Rakhmonov Toyir Creation of highly effective devices for complex purification of natural gas ....	51
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	73

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ  
16.07.2013.Т.08.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ  
УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ**

**РАХМОНОВ ТОЙИР ЗОЙИРОВИЧ**

**ТАБИИЙ ГАЗНИ КОМПЛЕКС ТОЗАЛАШ УЧУН ЮҚОРИ  
САМАРАДОР УСКУНАЛАРНИ ЯРАТИШ**

**02.00.08 – Нефт ва газ кимёси ва технологияси  
(техника фанлари)**

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Ташкент шаҳри – 2015 йил**

**Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси хузуридаги Олий аттестация комиссиясида 30.09.2014/В2014.5.Т271 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университети ва Умумий ва ноорганик кимё институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) веб-саҳифада [www.tkti.uz](http://www.tkti.uz) манзилига ҳамда “ZIYONET” ахборот таълим порталида [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz) манзилига жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчи:** **Салимов Зокиржон Салимович**  
техника фанлари доктори, профессор,  
Ўзбекистон республикаси фанлар академияси  
академиги

**Расмий оппонентлар:** **Икромов Абдуваҳоб Икромович**  
техника фанлари доктори, профессор  
**Хамидов Босит Набиевич**  
техника фанлари доктори, профессор  
**Ли Роберт Чанирович**  
техника фанлари доктори

**Етакчи ташкилот:** **И. М. Губкин номидаги Россия давлат  
нефть ва газ университетининг  
Тошкент шаҳридаги филиали**

Диссертация ҳимояси Тошкент кимё-технология институти хузуридаги 16.07.2013.Т.08.01 рақамли илмий кенгашнинг 2015 й. «\_\_» \_\_\_\_\_соат \_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100011, Ташкент, Навоий кўчаси, 32 уй. Тел/факс: (99871) 2447920, (99871) 2627917, e-mail: [tkti@mail.uz](mailto:tkti@mail.uz)).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент кимё-технологияси институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100011, Тошкент, Навоий кўчаси, 32 уй. Тел/факс: (99871) 2447920).

Диссертация автореферати 2015 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2015 йил \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).

**С.М. Туробжонов**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш раиси т.ф. д., профессор

**А.С. Ибадуллаев**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш котиби т.ф. д., профессор

**Г.Р. Раҳманбердиев**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
илмий кенгаш хузуридаги илмий семинар  
раиси к.ф. д., профессор

## Кириш (Докторлик диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Заминамизни истиқболли нефть ва газ захираларига бойлиги, тўпланган илмий-техник имкониятлар ва катта ишлаб чиқариш тажрибаси – буларнинг барчаси биргаликда нефть ва газ саноатининг келажакдаги сезиларли ривож учун қулай шарт-шароитларни яратади. «Ўзбекнефтегаз» миллий холдинг компаниясида сифат жиҳатдан янги бўлган сўнги авлод жиҳозлари, материаллар, замонвий инновацион технологияларни ишлаб чиқаришга жорий этиш ва қўллаш, эскирган техникани янгилаш ва алмаштириш суръатини тезлаштириш, етакчи чет эл компаниялари билан ҳамкорликда йирик инвестиция лойиҳаларини амалга ошириш, тайёр маҳсулотлар ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштириш ва зарур аҳамиятга эга бўлган ижтимоий масалалар комплексини ечиш муҳим вазифалардан саналади. Мазкур вазифаларнинг тўлиқ ўзлаштирилиши мамлакатимизнинг ёнилғи-энергетика соҳасидаги мустақиллигини сезиларли даражада мустаҳкамлаш имконини беради.

Диссертация ишининг долзарблиги, табиий газни тозалаш ва қайта ишлаш корхоналарида тайёрланаётган газ маҳсулотларининг сифатини яхшилашга ва турини янада кўпайтиришга хизмат қилувчи самарадор ускуна ва контактловчи мосламаларни яратиш, жиҳозларнинг технологик ва механик ишончилигини ошириш, технологик жараёнларни тубдан реконструкция қилиш ва модернизациялаш, ҳамда ушбу объектларда экологик ҳолатни яхшилаш масалаларига диққат билан аҳамият беришни талаб этиши билан боғлиқлиги орқали ифодаланади.

Республикамиз газни тайёрлаш ва қайта ишлаш корхоналарида янги технологияларнинг ривожланиши билан, дунёдаги иқтисодий ва экологик кризислар шароитида, жиҳозларни тайёрлаш учун ишлатиладиган материаллар сарфини камайтириш, хом ашё ва энергетик ресурсларни тежаб сарфлаш масалалари муҳим бўлиб қолмоқда. Тармоқнинг чет эллардан импорт қилинган асосий технологик машина ва ускуналари ўз техник захираларини ишлатиб бўлди ва уларни алмаштириш талаб этилади. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2011 йил 29 июлдаги ПФ-1590-сонли Фармойиши билан тасдиқланган 2011-2013 йилларга мўлжалланган «Тайёр маҳсулотлар ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштиришни чуқурлаштириш» дастурига асосан “Ўзнефтегазмаш” акциядорлик компаниясининг машинасозлик корхоналари олдида углеводородларни тайёрлаш ва қайта ишлаш учун қурилмалар ишлаб чиқаришни кенгайтириш вазифаси юклатилган.

Тадқиқот йўналиши ушбу дастурга мос равишда табиий газни суюқлик ва нордон компонентлардан комплекс тозалаш жараёнларини жадаллаштириш учун «газ-суюқлик» тизимларида ишловчи юқори самарадор

ускуналар ва контакт мосламаларини яратиш ва ишлаб чиқаришга жорий этишга қаратилган зарур илмий-техник муаммодир.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг асосий устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Диссертация фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мос равишда бажарилган: №3 – «2007-2011 йилларда фойдали қазилмаларни қидириш, қазиб олиш ва иккиламчи ресурсларни чуқур қайта ишлашнинг кўп илм талаб қиладиган технологияларини яратиш ва юқори самарали усулларини ишлаб чиқиш».

**Диссертация мавзуси бўйича халқаро илмий-тадқиқотлар шарҳи.**

Олтингугуртли газларни абсорбцион тозалашга бағишланган назарий ва амалий тадқиқотлар «Sulzer» (Швеция), «Koch – Glitsch» (Италия), «Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH» (Германия), «Norton Chemical Process Products Corporation» (АҚШ), ЦКБН (Россия), «Петон» (Россия) ва «Intalox High-Performance Structured Packing» (Австрия) каби мамлакатларнинг йирик фирмалари, компаниялари, илмий марказлари, университетларида олиб борилмоқда.

Нефт-газ саноати машина ва жиҳозлари бўйича кейинги йилларда муҳим илмий натижалар: модда алмашилиш ва нам газдан суюқлик томчиларини ажратиш жараёнларининг юқори унумдорликда ўтишини таъминловчи насадкалар олинган (Sulzer, Intalox High-Performance Structured Packing); суюқликнинг чизиқли, газнинг эса кесим бўйлаб кўндаланг йўналишда ҳаракатланиши таъминланловчи контактловчи мосламалар ишлаб чиқилган (Петон, Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH); клапанли, элаксимон, қолпоқчали, каскадли модда алмашилиш тарелкалар яратилган (Koch – Glitsch, Norton Chemical Process Products Corporation, ЦКБН).

Бугунги кунда ускуналар самадорлигини юқори унумдорликка эга бўлган контактловчи мосламалар ишлаб чиқиш орқали ошириш, табиий газни суюқ ва нордон қўшимчалардан тозалаш учун янги технология ва нисбатан ихчам ва самарали қурилмаларни яратиш ва такомиллаштириш бўйича устувор илмий тадқиқот ишлари амалга оширилмоқда.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Табиий газни тайёрлаш ва қайта ишлаш жараёнлари ва ускуналари соҳасида Basile R. J., Neumann W.L., Jonson E., Li Jia, Norbert A., Rodery C. D., Sha Yong, C. A. Ахметов, А. Ю. Вальдберг, В. Г. Систер, В. М. Рамм, О. С. Чехов, Г. К. Зиберт каби чет эллик олимлар илмий ишлар олиб боришган.

Ўзбекистонда Н.У. Ризаев, З. С. Салимов, Н.Р. Юсупбеков, В. И. Левш, С. Г. Закиров, Ш. М. Гулямов, Х. С. Нурмухамедов, С.А. Абдурахимов каби олимлар ва бошқалар томонидан саноатнинг кимё ва нефть-газни қайта ишлаш тармоқлари жараёнлари ва ускуналарининг назарий асосларини ривожлантиришга йўналтирилган тадқиқотлар ўтказилган ва амалиётга жорий қилинган.

Ушбу ишда асосий эътибор «газ-суюқлик» тизимида амалга ошириладиган жараёнларни жадаллаштиришнинг истиқболли йўллари таҳлил қилиш, газ тозалаш жараёнлари самарадорлигини ва ускуналар ва қурилмаларнинг иш унумдорлигини белгиловчи контакт мосламаларни ишлаб чиқишга қаратилган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилаётган олий таълим ва илмий-тадқиқот муассасаларининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Илмий тадқиқот иши, давлат илмий-техник дастури ДИТД-13 - «Энергия ва ресурсларни тежаш, қайта тикланадиган ва ноанъанавий энергия манбааларидан фойдаланиш, ёнилғи-энергетик ресурсларини ишлаб чиқариш ва улардан оқилона фойдаланишнинг юқори самарадор технологиялари ва техник воситаларини ишлаб чиқиш» (2007-2011 йй.) асосида амалга оширилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** табиий газни комплекс тозалаш қурилмаси учун юқори самарадор ускуналар (сепаратор, дегазатор, абсорбер ва десорбер) ва принципиал технологик схемасини ишлаб чиқишдан иборат.

Мақсадга эришиш учун қуйидаги **тадқиқот вазифалари** қўйилган:

табиий газни комплекс тозалаш ускуналари ишини тадқиқ этишнинг методологик асосларини шакллантириш;

икки фазали «газ (дисперс фаза) - суюқлик (узлуксиз фаза)» ва «суюқлик (дисперс фаза) - газ (узлуксиз фаза)» тизимларининг гидродинамик характеристикаларини тадқиқ этиш;

газ-суюқлик қатламнинг энергетик характеристикалари ва оптимал катталикларини ўрганиш;

газ-суюқлик оқимининг гидродинамикасини математик моделлаштириш ва шу асосда фазалар ҳаракатини, турбулент ҳаракат ҳосил қилувчи контакт элементлар конструкцияси ва уларнинг геометрик жойлашув ҳолатини аниқлаш;

газ бўйича колонна юкмасини орттириш ёки унинг диаметри сезиларли даражада кичрайтирилганда дастлабки иш унумдорлигини сақлаб қолиш мақсадида, жадаллаштирилган режимда ҳамда газ ва суюқлик сарфларининг кенг оралиғида самарали ишлайдиган контакт мосламалар ва ускуналар конструкциясини ишлаб чиқиш;

табиий газни бирламчи тозалаш ва қайта ишлашга тайёрлаш учун ишлаб чиқилган янги ускуналарнинг оптимал конструктив, гидравлик ва технологик катталикларини ҳисоблаш услубини асослаш ва уларни нефть-газ машинасозлиги корхоналарига қўллаш бўйича техник хужжатлар яратиш;

юқори жадалликда ишлайдиган сепаратор, дегазатор, абсорбер ва десорберларни лойиҳалаш ҳамда уларни нефть-газ ва бошқа саноат тармоқларида ишлаб чиқаришга жорий этиш борасида аниқ хулосалар ва конструктив тавсиялар ишлаб чиқиш;

янгидан ишлаб чиқилган ускуналарни, реал технологик катталиклари ва шароитларини эътиборга олган ҳолда, ишлаб чиқаришга жорий этиш.

**Тадқиқот объекти:** табиий газ, суюқлик томчиси, газ конденсати, катлам суви, водород сульфиди, амин эритмаси, карбонат ангидрид гази.

**Тадқиқот предмети:** технологик жараёнлар, табиий газни қайта ишлашга тайёрлаш ва суюқ ва нордон қўшимчалардан тозалаш ҳамда тўйинган амин эритмасини регенерация қилиш қурилмалари ва комплексларининг ускуналари.

**Тадқиқот усуллари.** Диссертация ишини бажариш мобайнида тажрибаларни экстремал режалаштириш услублари, тажриба натижаларини қайта ишлашнинг статистик услублари, технологик жараёнларни физик ва математик моделлаштириш ва оптималлаштириш услублари, гидродинамика ва масса алмашиниш қонуниятларини ўрганиш борасида тажрибалар ўтказишнинг синалган ва умумий сифатида қабул қилинган услублари, метрологик текширувдан ўтказилган замонавий ўлчов-назорат асбоблари воситасида технологик катталикларни аниқ ўлчаш услубларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилigi** қуйидагилардан иборат:

ўзаро таъсирланувчи мухитлар турбулент газ-суюқлик оқимининг гидродинамик режимларини тавсифловчи математик модель таклиф этилган;

коллоннали ускуналарнинг тарелкаларида ва дисперс газ фазали тизимларда ҳосил қилинадиган жадал барботаж режимларида фазавий ячейкалар сони ва икки фазали оқимнинг газ сифими орасидаги ўзаро боғлиқлик очиб берилган;

томчи қайтариш мосламаларини самарали жойлаштириш ва газ-суюқлик аралашмасини ажратиш самарадорлигини сезиларли ошириш имконини берувчи, турли ўлчамдаги суюқлик томчиларининг тарқалиш қонуниятлари ва сепараторнинг фойдали баландлиги аниқланган;

жадаллаштирилган режимларда ҳамда газ ва суюқлик сарфларининг кенг оралиғида ўзгариши шароитида самарали ишлайдиган контакт мосламалари ва ускуналарнинг янги конструкциялари ишлаб чиқилган;

эркин кесим юзаси 20% бўлган икки контакт зонали элаксимон тарелканинг турғун ва самарали ишлаш соҳаси аниқланган;

газ сифими, гидравлик қаршилиқ, томчини чиқиб кетиши ва тирқиш учун сарф коэффициенти каби гидродинамик катталикларни сепарация ва модда алмашиниш ускуналарининг технологик ва геометрик катталикларига боғлиқ ҳолда баҳолаш учун эмпирик тенгламалар тавсия этилган;

газ сепаратори ва тўйинган эритмалар учун юпка суюқлик оқими ҳосил қилувчи мосламали дегазаторнинг конструктив, гидравлик ва технологик катталикларини ҳисоблашнинг муҳандислик услублари яратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

табиий газни бирламчи тозалаш учун суюқлик тикинини ушлаб қолиш ва томчиларни сепарациялаш режимларида самарали ишлайдиган газ-суюқлик сепаратори (№ IAR 03763, 2008 й.); табиий газни намликдан чуқур тозалаш учун мўлжалланган, томчиларни инерцион ва марказдан қочма



кучлар таъсирида чўктириш асосида ишловчи учта функционал қисмдан ташкил топган ва марказдан қочма типдаги уюрмаловчи билан таъминланган юқори самарали сепаратор (№ IDR 04591, 2001й.) ва тўйинган амин эритмаси таркибидаги эримаган газларни дегазациялаш юзаси кенгайтирилган самарадор дегазатор (№ IAR 04060, 2009 й.) яратилди;

табiiй газни нордон компонентлардан тозалаш қурилмалари таркибига кирувчи колоннали аппаратлар учун элаксимон турдаги икки контакт зонали модда алмашилиш тарелкаси таклиф этилган бўлиб, ушбу тарелкалар абсорбция жараёнини жадаллаштирилиши ҳисобига, аппаратнинг иш унумдорлигини лойиҳавий кўрсаткичга нисбатан 1,4 мартаба орттириш имконини берди (Мубарак газни қайта ишлаш заводининг 2005 йил 25 мартдаги жорий қилиш далолатномаси);

табiiй газни тозалаш тизими учун янгидан яратилган ускуналарнинг оптимал катталикларини ҳисоблаш услублари ишлаб чиқилди ва амалиётга жорий қилинди («Ўзбеккимёмаш заводи» акциядорлик жамиятида 2015 йил 6 майда тасдиқланган РМ 371-12; РМ 382-12 ва РМ 423-13 сонли амалий қўлланмалар).

**Тадқиқот натижаларнинг ишончилиги** назарий натижаларни муаллифнинг тадқиқотлар орқали олган маълумотлари, адабиётларда келтирилган тажрибавий маълумотлар ва улардан фойдаланиб бажарилган назарий ҳисоблашлар билан ўзаро мослиги ҳамда ўтказилган тадқиқотлар асосида ҳисобланган ва лойиҳаланган аппаратларнинг саноат корхоналарида муваффақиятли эксплуатация қилинаётганлиги билан тасдиқланди.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Олинган тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти табiiй газни нордон компонентлардан абсорбцион тозалаш қурилмасининг ихчам, кам металл сарфланган, такомиллаштирилган, ва юқори жадалликда ишловчи ускуналаридан ташкил топган технологик схемасини яратишдан иборат. Диссертация ишининг илмий натижаларидан табiiй газни тозалаш ва қайта ишлашга тайёрлаш учун мўлжалланган сепаратор, дегазатор ва модда алмашилиш ускуналарининг муҳандислик ҳисобларини бажариш услубларини яратишда фойдаланилди.

Бажарилган ишнинг амалий аҳамияти қуйидагилардан иборатки, унда янгидан ишлаб чиқилган контакт мосламалари ва ускуналарни лойиҳалашнинг муҳандислик услублари ҳамда уларнинг гидравлик, конструктив ва технологик катталикларини ҳисоблаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилди; икки фазали газ-суюқлик тизимларини назарий ва тажрибавий тадқиқ этиш асосида табiiй газни суюқ ва нордон компонентлардан тозалаш қурилмалари таркибига кирувчи ускуналарнинг янги истиқболли конструкциялари тавсия этилди.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Яратилган газ сепараторлари (2001йилдаги IDR 04591 рақамли ва 2008 йил IAR 03763 рақамли Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигининг

ихтирога патентлари) ва тўйинган газ дегазатори (2009 йилдаги IAR 04060 рақамли Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти) «Муборак газни қайта ишлаш заводи», «Газлинефтваз қазиб чиқариш», «Мубаракнефтегаз», «Устюртгаз» унитар шубба корхоналари технологик жараёнларида қурилмалар сифатида жорий қилинган (2005 йил 25 мартдаги 3-сонли, 2012 йил 19 июндаги 7-сонли ва 2012 йил 29 июндаги 9-сонли далолатномалар); юқори самарали ва истиқболли ускуналарни ишлаб чиқаришга жорий этилиши натижасида ишлаб чиқариш унумдорлигини ошириш, газ сифати яхшиланиши, жиҳозларда металл сарфи ва истеъмол қилинадиган энергия миқдорини камайиши ҳамда валюта маблағларининг ва транспорт харажатларининг қисқаришини ҳисобига 700 миллион сўмдан ортиқ соф иқтисодий самара олинган («Ўзнефтегазмаш» акциядорлик компаниясининг 2015 йил 16 июндаги 641-сонли маълумотномаси).

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Ишнинг асосий мазмуни ва натижалари «Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-2000» (Санкт-Петербург, 2000 й.) ва «ММТТ-2001» (Смоленск, 2001 й.) халқаро илмий конференцияларда, «Цивилизация и глобализация духовных ценностей народов Средней Азии и Казахстана» халқаро илмий-амалий конференциясида (Шымкент, 2007 й.), «Ўзбекистонда нефтни қайта ишлашнинг долзарб муаммолари ва мойловчи материаллар ишлаб чиқариш истиқболлари» Республика илмий-техник конференциясида (Тошкент, 2005й.), «Современные машины и аппараты химических производств» I - Республика илмий-техник конференциясида (Фарғона, 2006 й.), «Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана» Республика илмий-техник конференциясида (Тошкент, 2007 й.), «Актуальные проблемы переработки нефти и газа Узбекистана» Республика илмий-техник конференциясида (Бухоро, 2009 й.) муҳокама қилинди ва маъқулланди.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация ишининг асосий мазмуни ва моҳияти 31 та илмий ишларда ўз аксини топди. Диссертация материаллари бўйича 1 та монография, хорижий ва етакчи республика нашрларида 12 та мақола ва 15 та маърузалар тезиси чоп этилди ҳамда Ўзбекистон Республикасининг 3 та патенти олинди.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация иши кириш, 6 та боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Иш 192 саҳифада баён қилиниб, 71 та расм ва 7 та жадвални ўз ичига олади. Иловаларда диссертация натижаларини амалиётга қўлланилганлигини тасдиқловчи ҳужжатларнинг нусхалари келтирилди.

## Диссертациянинг асосий мазмуни

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари аниқланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамиятлари очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш рўйхати, ишнинг апробацияси натижалари, эълон қилинган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг биринчи боби «**Газларни тозалашнинг замонавий услублари, схемалари ва мосламаларини таҳлил қилиш ва уларни истиқболда ривожлантириш йўналишларини аниқлаш**»да табиий ва бошқа газларни икки фазали «газ-суюқлик» тизимида комплекс тозалашнинг замонавий усуллари, схемалари ва қурилмалари таҳлили келтирилган.

Табиий газни тозалаш технологик жараёнларини ишлаб чиқишда ҳал этиладиган муҳим масалалардан бири модда алмашилиш ва сепарациялаш ускуналарининг оптимал конструкциялари ва ўлчамларини танлаш эканлиги қайд этилган. Бу ўз навбатида жараёнларнинг тежамкорлигини, жиҳозларни яшаш учун сарфланадиган капитал (конструкция материаллар) ва эксплуатация (жараённинг энергия сарфи, таъмирлаш ишлари ҳажми) харажатлари миқдорининг камайтирилишини белгилаб беради. Ушбу масаланинг ечими, юқори самарали контакт мосламаларини яратиш, гидродинамик катталикларини тадқиқ этиш ва «газ-суюқлик» тизимида ишловчи жиҳозларни оптимал лойиҳалашнинг ишончли ҳисоблаш услублари билан бевосита боғланган.

Адабий манбааларда келтирилган маълумотлар таҳлили шуни кўрсатадики, табиий газни тозалаш жараёнларини турбулентлик ҳосил қилувчи қурилмалар - марказдан қочма турдаги уюрмаловчи, юқори самарали модда алмашилиш тарелкалари, суюқлик юпқа қатламини ҳосил қилувчи мосламалар ва бошқалардан фойдаланиб жадаллаштириш ва шу асосда нефть-газ саноати корхоналари учун нисбатан кам металл сарфланадиган самарали ускуналар яратиш йўналишларида фойдаланилмаган техник имкониятлар мавжуд.

Ушбу ҳолатлар асосида илмий тадқиқот вазифалари шакллантирилган.

Диссертациянинг иккинчи боби «**Газларни тозалашда икки фазали газ-суюқлик оқимларининг гидродинамик характеристикалари**» табиий газни комплекс тозалаш технологик жараёнларига тегишли, суюқлик ва газ дисперс фазали тизимларда икки фазали газ-суюқлик оқимлари гидродинамикасининг илмий-назарий асосларини ишлаб чиқишга бағишланган.

Дисперс газ-суюқлик оқимида суюқлик томчиси ташувчи газ муҳитида муаллақ ҳолатда бўлади. Суюқлик заррачаларини газ таркибида олиб кетилиш даражаси, уларнинг ўлчамлари ва оқимнинг тезлигидан келиб чиқиб, турлича бўлади. Газ оқимида ҳаракатланаётган суюқлик томчилари

катталиклари - нисбий тезлик, газ муҳитида босиб ўтган йўл, жараённинг асосий омили – сепарациялаш самарадорлигини белгилайди.

Ўқли уюрма ҳосил қилиш мосламали сепараторнинг эркин кесим юзаси бўйлаб томчининг ҳаракатланиш траекториясини ҳисоблаш учун ишлаб чиқилган жараённинг математик модели ва ҳисоблаш алгоритми турлича ўлчамлардаги томчиларни ҳаракатланиш йўли ва уларни аппаратда бўлиш вақтини аниқлаш имконини беради. Бу эса ўз навбатида сепарациялаш зоналаридан томчини чиқиб кетишини олдини олувчи сифат жиҳатдан янги конструктив элементларни мақсадли лойиҳалаш имконият яратади.

Юқори даражада турбулизацияланган «газ суюқликда» тизимлари модда алмашилиш ускуналарининг тарелкаларида ҳосил қилиниши кузатилган. Газ-суюқлик тизимлари фазаларининг контакт юзалари фазавий ячейкалар ўлчамлари ва газ сиғими билан аниқланади. Барботаж қатламининг ҳажми куйидаги ифодадан аниқланади:

$$V_c = HF_c, \quad (1)$$

бунда  $H$  – қатлам баландлиги, м;  $F_c$  – қатламнинг кесим юзаси, м<sup>2</sup>.

Ускунанинг интенсив иш режимларида оқимдаги муаллақ томчилар миқдори жараённинг технологик кўрсаткичлари – газ тезлиги ва суюқлик оқими сарфига боғлиқ бўлади. Ускунадаги суюқликнинг миқдори, агар у газ ва суюқликнинг тезликлари ўртасидаги фарқ ҳисобига тўпланмаса, куйидаги ифода бўйича топилади:

$$G_x = V_{an} \rho_r B, \quad (2)$$

бунда  $V_{an}$  – ускуна ҳажми, м<sup>3</sup>;  $\rho_r$  – газ зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $B$  – суюқликнинг нисбий сарфи, кг суюқлик/кг газ;  $\rho_{ж}$  - суюқлик зичлиги, кг/м<sup>3</sup>.

Агар суюқлик оқимининг сарфи  $L$  (м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>с) бўлса, у ҳолда вақт бирлиги ичида ускуна орқали ўтган суюқлик миқдори  $q_{ж}$  (кг/с) куйидагича аниқланади:

$$q_{ж} = L \cdot F_c \cdot \rho_{ж}, \quad (3)$$

Муайян  $U_{cp}$  (м/с) тезликда газ миқдори  $q_r$  (кг/с) куйидагича ифодаланади:

$$q_r = U_{cp} F_c \rho_r, \quad (4)$$

Суюқликнинг бирлик сарфи куйидаги ифода бўйича топилиши мумкин:

$$B = \frac{q_{ж}}{q_r} = \frac{L \rho_{ж}}{U_{cp} \rho_r} \quad (5)$$

Ускунадаги суюқликнинг умумий ҳажми куйидагини ташкил қилади:

$$V_{ж} = \frac{G_x}{\rho_{ж}} = \frac{L F_c H}{U_{cp}} \quad (6)$$

Сирпаниш коэффициентини  $i = \frac{W_K}{U_{cp}}$  эътиборга олсак,

$$V_{ж} = \frac{LF_c H}{iU_{cp}} \quad (7)$$

Тенглама (7) дан фойдаланиб, суюқлик газ сиғимини жараённинг технологик катталиклари орқали ифодалаймиз:

$$\varphi = \frac{V_c - V_{ж}}{V_c} = 1 - \frac{V_{ж}}{V_c} = 1 - \frac{L}{iU_{cp}}. \quad (8)$$

Агар газ-суюқлик қатламига келиб тушаётган суюқликнинг бир қисми барботаж ҳолатида бўлса, у ҳолда тизимдаги томчилар миқдори  $n_k$ , уларни газ таркида чиқиб кетишининг нисбий кўрсаткичини  $e$  эътиборга олиб, куйидаги ифода бўйича аниқланади:

$$n_k = \frac{LeF_c H}{AiU_{cp} d_k^3}. \quad (9)$$

бунда  $A$  – томчининг шакл коэффициенти;  $d_k$  – томчи диаметри, м.

Назарий тадқиқотлар натижасида колоннали ускуналарнинг тарелкаларида ҳосил қилинадиган жадаллаштирилган барботаж режимларида ва дисперс газ фазали тизимларда фазавий ячейкалар сони ва икки фазали қатламнинг газ сиғими ўртасидаги боғлиқлиги аниқланган.

Ускунанинг газ бўйича иш унумдорлигини баҳолаш учун тезликнинг  $F$ -омилидан фойдаланиш тавсия этилган. Ушбу катталик колоннанинг тўлик кесим юзаси бўйича газнинг ҳақиқий тезлигини  $U$  (м/с) унинг ҳақиқий зичлигининг  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) квадрат илдиз остидаги қиймати кўпайтмасига тенг:

$$F = U\sqrt{\rho}. \quad (10)$$

Газ-суюқлик аралашмаларини ажратиш қурилмалари (сепаратор, дегазатор) ва колоннали модда алмашилиш ускуналари (абсорбер, десорбер) нинг контакт мосламалари ишининг интенсивлигини баҳолаш учун тезликнинг  $F$  - омилидан фойдаланиш лаборатория тадқиқотлари натижаларини саноатда бевосита қўллаш имкониятини яратади.

Ишнинг учинчи боби «**Табиий газни тозалаш учун газ-суюқлик сепарацияси мосламаларини яратиш**» табиий газни тайёрлаш ва тозалаш қурилмалари учун газ-суюқлик сепарацияси ускуналарини яратишга бағишланган.

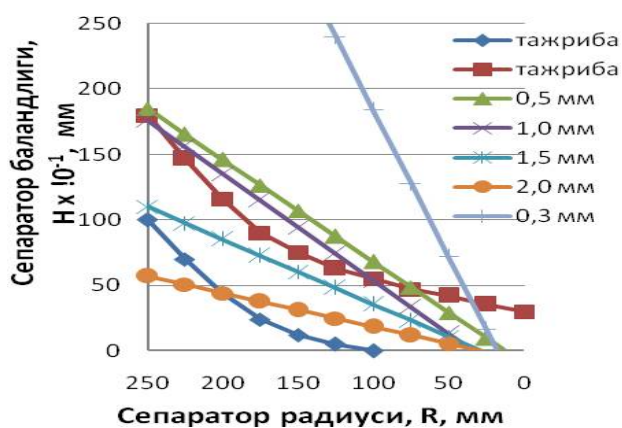
Сепарациялаш жиҳозлари ишининг самарадорлиги кўп жиҳатдан табиий газни бирламчи тайёрлаш ва уни нордон компонентлардан тозалаш ускунаси жиҳозлари ишининг ишончлигини, ҳамда уларнинг эксплуатацион ва энергетик ҳаражатлари ҳажмини белгилайди.

Суюқлик томчиларини цилиндрик юзага чўктириш жараёни самарадорлигига таъсир кўрсатувчи омилларнинг назарий таҳлилига асосан, ташувчи муҳит ва суюқлик томчиларининг физик катталиклари ўзгармас бўлган ҳолатларда, тўкнашиш ва ажралиш коэффициентлари ташувчи газ оқимининг тезлигига боғлиқ бўлиши аниқланди.

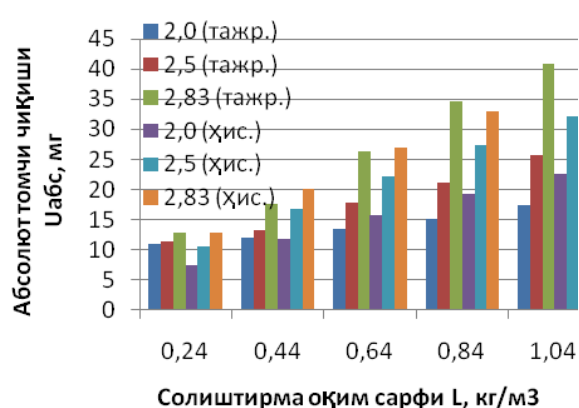
Томчиларни сепарациялаш жараёни самарадорлигига гидродинамик, геометрик ва эксплуатацион катталикларнинг таъсирини аниқлаш мақсадида, лаборатория шароитида тадқиқотлар ўтказилди. Бунинг учун параллел оқимларда ҳаракатланиётган фазаларни аралаштирувчи камералар ва ўқий уюрмаловчи билан таъминланган ички сепаратордан иборат қурилма ишлаб чиқилди. Сепараторда ташкил этилган тажрибалар уюрмаловчи мослама билан ва унинг иштирокисиз ўтказилди.

Сепаратордан чиқаётган ҳаво таркибидаги томчиларнинг қолдиқ миқдорини аниқлаш учун аналитик тарозида тортиш услубидан фойдаланилди. Сув томчиларини сепараторнинг ҳажми бўйича тарқалиш майдонини аниқлашда махсус асбоб ишлатилди. Асбобнинг ишлаш моҳияти сувда электр ўтказувчанлик мавжудлиги ва уни ҳаво бўшлиғида мавжуд эмаслигига асосланган. Мазкур асбоб сепараторнинг кесим юзаси ва баландлиги бўйича ҳаракатланиш имкониятига эга бўлган датчикка уланди.

Суюқликнинг газ сифимини аниқлаш бўйича тадқиқотлар сепараторнинг кесим юзасида газ тезлиги  $2 \div 3$  м/с, яъни тезлик омили  $F=2,3 \div 3,2$  бўлганда, сепаратор баландлиги бўйича турли кесимларда ўтказилди.



1-расм. Суюқлик томчиларини газ сепараторининг кесим юзалари бўйича тақсимланиши, бунда  $L=0,64$  кг/м<sup>3</sup>,  $F=2,8$



2-расм. Томчи чиқиб кетиши абсолют кўрсаткичини суюқлик оқимининг солиштирма сарфига боғлиқлиги

Суюқлик бўйича юклама  $0,24 \div 1,04$  кг/м<sup>3</sup> оралиғида ўзгартирилди. Газнинг томчи сифимини аниқлаш борасида олинган натижалар асосида газ-суюқлик оқимини сепараторнинг муайян кесим юзалари бўйлаб тарқалиш характери ҳақида хулоса қилиш мумкин (1- расм).

Сепараторнинг эркин юзасида газ-суюқлик оқимининг тезлик омилини  $F=2,8 \div 3,2$  чегараларида ортиши билан унинг барча кесим юзаларида, уюрмаловчи мосламадан  $180 \div 220$  мм масофаларда, томчилар мавжуд бўлиши кузатилди. Суюқлик бўйича аппарат юкласининг ортиши билан газнинг ўзгармас тезликларида томчиларнинг асосий қисмини чўктириш баландлиги

уормаловчи мосламадан  $60 \div 30$  мм бўлган масофагача камаяди. Бундан келиб чиқадики, газ тезлигининг ортиши билан сепаратордан чиқиб кетадиган томчилар миқдори ортади. Ушбу ҳолатнинг олдини олиш мақсадида сепарация зонасининг баландлигини ошириш ёки майда томчиларнинг ҳаракатланиш йўлига қўшимча томчи қайтаргичларни ўрнатиш талаб этилади.

Ишлаб чиқилган математик модел, ташувчи газнинг сепаратордаги уормавий оқим майдонида белгиланган ўлчамдаги томчи траекториясини - тадқиқ этилган геометрик ўлчамлар нисбатлари чегараларида ҳисоблаш имконини берди. Моделда келтирилган тенгламалар воситасида амалга оширилган ҳисоблаш натижалари 1-расмда ўз ифодасини топган ва уларнинг тўғрилиги тажриба маълумотлари билан тасдиқланди.

Графиклардан кўринадики, диаметри  $0,5 \div 3,0$  мм бўлган барча томчилар траекториялари сепаратор деворларида яқунланади.  $0,5 \div 0,3$  мм ўлчамдаги томчилар сепаратор баландлигининг юқори бўлишини талаб этади. Ўлчами  $\approx 0,3$  мм ва унлан кичик томчилар сепаратор деворига етиб бормасликлари сабабли, унинг баландлиги етарли даражада юқори бўлса ҳам, газ оқими таркибида сепаратордан чиқиб кетади.

Тажрибавий ва назарий тадқиқотлар натижаларига асосан сепараторларнинг шакли ва конструкцияларини такомиллаштириш, томчи қайтариш мосламаларини самарали жойлаштириш, шунингдек тўкнашиш ва ажратиш коэффицентлари қийматларини ошириш имконияти юзага келди.

Табиий газни томчидан тозалаш учун газларни сепарациялаш ва суюқлик тикинини ушлаб қолиш режимларида самарали ишлайдиган, шарсимон шаклдаги янги бирламчи сепаратор конструкцияси ишлаб чиқилди. Тавсия этилган сепараторнинг газ-сув аралашмасини қабул қилиш камераси, киритиладиган суюқликни зарбаларсиз қабул қилиш ва тўкиб олиш ҳамда газнинг динамик ҳаракатини ташкил этиш ҳисобига газни суюқликдан самарали ажратилишини таъминлайди. Бундан ташқари, янги сепараторнинг сферик шакли туфайли унинг девор қалинлиги ва массаси, анъанавий цилиндрик корпусларга нисбатан 2 маротабага камаяди.

Табиий газни чуқур тозалаш учун сепаратор яратиш мақсадида диаметри  $D_c = 500$  мм, баландлиги  $H_c = 680$  мм ва ички цилиндрик қистирмалар билан жиҳозланган сепараторда тадқиқотлар ўтказилди. Тажрибалар фазаларнинг параллел ҳаракатида, газ тезлиги  $2 \div 3$  м/с ва сувнинг бирлик сарфи  $0,24 \div 1,04$  кг/м<sup>3</sup> бўлган шароитларда ташкил этилди. Натижада уормаловчи устига цилиндрик қистирмаларни жойлаштиришнинг оптимал геометрик ўлчамлари - диаметри ва баландлиги аниқланди.

Цилиндрик қистирмалар билан таъминланган газ сепараторининг оптимал геометрик ўлчамларининг нисбатлари учун, тезликнинг  $F$ – омилини турли қийматларида томчиларни абсолют чиқиб кетиш кўрсаткичинини сувнинг солиштирма сарфига боғлиқлиги 2-расмда келтирилган. Сепаратордан чиқаётган ҳаводаги томчи чиқишини максимал қиймати иш катталикларининг энг юқори қийматларига мос келади, ҳамда  $40$  мг/м<sup>3</sup> дан ошмайди. Такқослаш учун, қистирмасиз сепараторларда бу кўрсаткич  $120$  мг/м<sup>3</sup> бўлади.

Сепараторнинг кесим юзасида газ тезлиги ва суюқлик бирлик сарфини ортиши билан унинг қаршилигини ўсади. Максимал тезликда ( $U=2,85$  м/с) гидравлик қаршилиқнинг энг катта қиймати қистирмасиз сепаратор учун  $\Delta P=610$  Па, қистирмали сепаратор учун -  $\Delta P=660$  Па га тенг бўлди.

Қистирмали сепараторлар учун томчиларни абсолют чиқиб кетиш кўрсаткичини  $U_{abc}$  ( $\text{мг/м}^3$ ) иш катталикларига боғлиқлиги, томчиларни сепарациялаш борасида ўтказилган тажрибалар натижаларини таҳлили орқали олинган қуйидаги эмпирик тенглама билан тавсифлаш мумкин:

$$U_{abc} = 7,61U^{1,536}L^{0,75}\left(\sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_0}}\right)^{0,768}, \quad (11)$$

бунда  $U$  - газ тезлиги, м/с;  $L$  - сувнинг нисбий сарфи,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_0, \rho_1$  - мос равишда, газнинг нормал ва иш ҳолатдаги зичликлари,  $\text{кг/м}^3$ .

Қистирмали сепараторнинг ажратиш имконияти чегараларини ўрганиш учун сув оқими сарфининг кичик қийматлари ( $0,05\div 0,20$   $\text{кг/м}^3$ ) да тадқиқотлар ўтказилди. Бунда томчиларни чиқиб кетиш кўрсаткичининг абсолют қийматини қистирмали сепаратордаги оқим тезлигига боғлиқлигини ифодаловчи эмпирик тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлди:

$$U_{abc} = 24,06U_1^{0,097}L^{0,69}\left(\sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_0}}\right)^{0,049}. \quad (12)$$

Тажриба маълумотларини таҳлил қилиш натижалари сепараторнинг тавсия этилган конструкцияси иш катталикларининг кенг оралиғида юқори самарадорлик билан ишлаш қобилиятини кўрсатди.

Табиий газни чуқур тозалаш сепараторлари ва модда алмашиниш колонналаринг ички сепараторининг контакт элементи сифатида қўлланиладиган уюрмали марказдан қочма турдаги сепарацион элементни тадқиқ этишнинг натижалари келтирилган. Қувурчасининг диаметри 100 мм, куракчаларнинг киришдаги йўналтириш бурчаги  $70-75^\circ$  ва уларни ўзаро ёпиш бурчаги  $6-10^\circ$  бўлган уюрмаловчининг янги конструкциясида сепарация жараёни энг самарали кечиши аниқланган. Сепаратор атмосфера босими остида газнинг тезлиги  $U_T=1,3\div 3,2$  м/с, унга мос келувчи тезлик омили  $F=6,6\div 17,2$  ва суюқлик бўйича юклама қиймати  $0,4$  л/м<sup>3</sup> гача бўлган чегараларда самарали ишлайди. Катталикларнинг кўрсатилган қийматларида сепаратор, ундан чиқаётган газ таркибида томчилар концентрациясини  $7\div 11$  мг/м<sup>3</sup> оралиғида бўлишини таъминлайди.

Сепаратордан чиқаётган газнинг томчи ушлаши  $K_2(\text{мг/м}^3)$  қуйидаги эмпирик формула бўйича аниқланиши мумкин:

$$K_2=10,56 + \exp[3,023 + 0,191 F + (-1,409) H_1], \quad (13)$$

бунда  $H_1=H/D_c$ - сепараторнинг нисбий баландлиги;  $H$  - сепараторнинг умумий баландлиги, м.

Газ оқимида чиқиб кетаётган томчиларнинг медиан диаметри  $d_{50}$  (мкм), қуйидаги эмпирик формула бўйича аниқланади:

$$d_{50}=1,36 + \exp[1,626 + (-0,013) F + (-0,127) H_1]. \quad (14)$$



Тўртинчи боб «**Табиий газни тозалаш қурилмасидаги колонна шаклидаги ускуналарининг модда алмашилиш тарелкаларини тадқиқ қилиш**»да табиий газни тозалаш қурилмаларининг модда алмашилиш аппаратлари – абсорбер ва десорбер учун, эркин кесим юзаси 20% ва тешиклари диаметри  $d_{\text{отв}}=9,4$  мм бўлган икки контакт зонали элаксимон тарелканинг гидродинамик катталикларини тадқиқ этиш натижалари келтирилган. Тавсия этилаётган масса алмашилиш тарелкаси газ ва суюқлик бўйича ишчи юкламалар ўзгаришининг кенг чегаралари, паст гидравлик қаршилиги ва модда алмашилиш характеристикалари бўйича нисбатан устун кўрсаткичлари билан фарқланади. Ушбу кўринишдаги тарелкалар тезлик омилининг  $F=2\div 3$  қийматларида ҳам самарали ишлаши мумкин. Ҳозирги кунда газни қайта ишлаш корхоналарида тарелкалар  $F \leq 1$  қийматларда ишлатилишини алоҳида таъкидлаб ўтамыз.

Конструктив жиҳатдан тарелка марказий қуйилиш мосламаси бўлган элаксимон асосдир. Тарелкани ишлаши мобайнида амин эритмаси юқоридан пастга томон ҳаракатланади. Бу пайтда газнинг кинетик энергияси таъсири остида тарелка тешикларида барботаж ҳолати юзага келади. Эритма қувурчалардан оқиб тушиш пайтида «суюқлик пардаси» ҳосил бўлади ва суюқликни газ билан қўшимча тарзда тўқнаштириш имконияти пайдо бўлади. Қуйилиш стакани ичига ўрнатилган кўпик сўндиргич газни чиқариш ва шу тариқа қуйилиш мосламаларининг ўтказиш қобилиятини ошириш учун хизмат қилади.

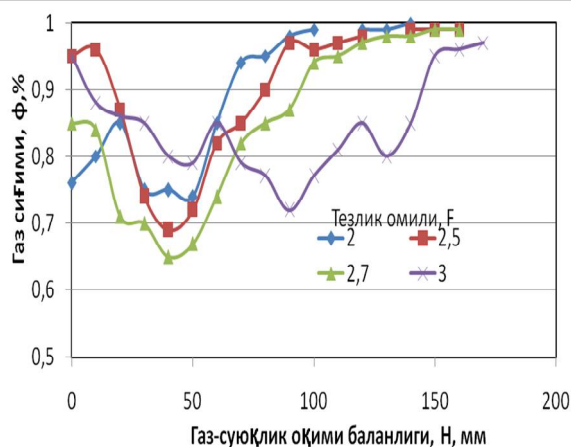
Тажрибалар катталикларнинг қуйидаги чегараларида ўтказилди: колоннанинг эркин кесим юзасида газ тезлиги  $0,8\div 2,5$  м/с, бу  $F$ -омил  $1,0 \div 2,9$  оралиқда ўзгаришига мос келади; сув оқимининг сарфи  $20\div 75$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·соат чегараларда бошқарилди, бу эса қуйилиш мосламаси периметрига тўғри келадиган юкламани  $5,1-19,1$  м<sup>3</sup>/м ·соат оралиғида ўзгаришига мос тушади.

Тадқиқотлар мобайнида барботаж қатлам баландлиги бўйича оқимнинг газ сиғими, томчиларининг чиқиб кетиши, газ ва суюқлик бўйича иш юкламаларнинг ўзгариш чегараларида тарелканинг гидравлик қаршилиги ва унинг турғун ишлаш соҳаси аниқланди.

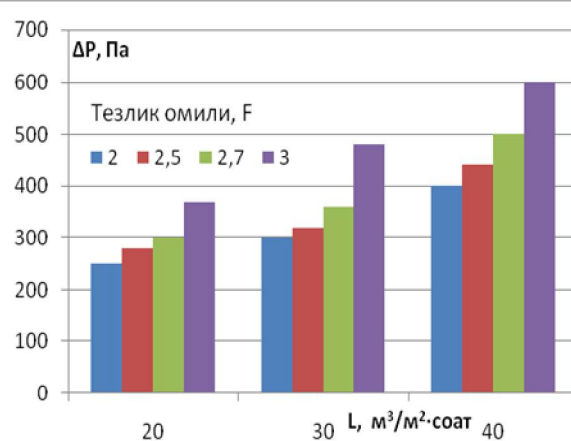
Мисол тариқасида 3-расмда, тезликнинг  $F$ -омилини турлича қийматларида оқим газ сиғимининг ўзгариши келтирилган. Графиклардан сув оқими сарфининг паст қийматларида унинг газ сиғимининг ўсиши кўришиб турибди. Бунда газнинг кинетик энергияси суюқликнинг потенциал энергиясидан устун бўлиб, унинг қиймати  $0,7\div 0,8$  атрофида бўлади.

Оқим газ сиғимини иш катталикларга боғлиқлигини ифодаловчи натижалар 20% эркин юзали тарелканинг иш қобилияти  $F= 2,84$  гача етишини кўрсатади.

Ҳар бир режимда босимлар фарқи сув билан тўлдирилган U-шаклидаги дифференциал манометр воситасида ўлчанди. Тарелкасининг бирлик юзасидаги суюқликнинг ҳажмий сарфи ортиши билан гидравлик қаршилиқни сезиларли даражада ўсиши 4-расмда кузатилади. Газ тезлигини ортиши эса тадқиқ этилаётган катталиқнинг кескин ўсишига олиб келмаслиги аниқланди.



3-расм. Газ сиғимини газ-суюқлик қатламининг баланд-лигига боғлиқлиги,  $L=30 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{соат}$



4-расм. Гидравлик қаршилик  $\Delta P$  ни газнинг тезлик омили  $F$  нинг турли қийматларида суюқлик сарфиға боғлиқлиги

«Ҳаво-сув» тизимида томчи чиқиб кетишини тажриба йўли билан аниқлаш учун 2 донга икки контакт юзали элаксимон тарелкалар билан таъминланган, диаметри 300 мм бўлган колоннадан фойдаланилди. Тарелкаларнинг асосий техник кўрсаткичлари: эркин кесим юзасининг ўзгариш чегараси  $F_{\text{св}}=10\div 20\%$ , қалинлиги - 6 мм, тарелкадаги тешиклар диаметри – 9,4 мм ва тарелкалар орасидаги масофа - 500 мм.

Колоннанинг юқори қисмидан чиқиб кетаётган томчиларни ушлаб қолиш учун ҳавонинг чиқиш йўлига ўрнатилган циклондан фойдаланилди. Томчиларни чиқиб кетиши, газ таркибида олиб кетилган суюқлик миқдорини унга берилаётган умумий суюқлик миқдорига нисбати (кг/кг) орқали ифодаланди.

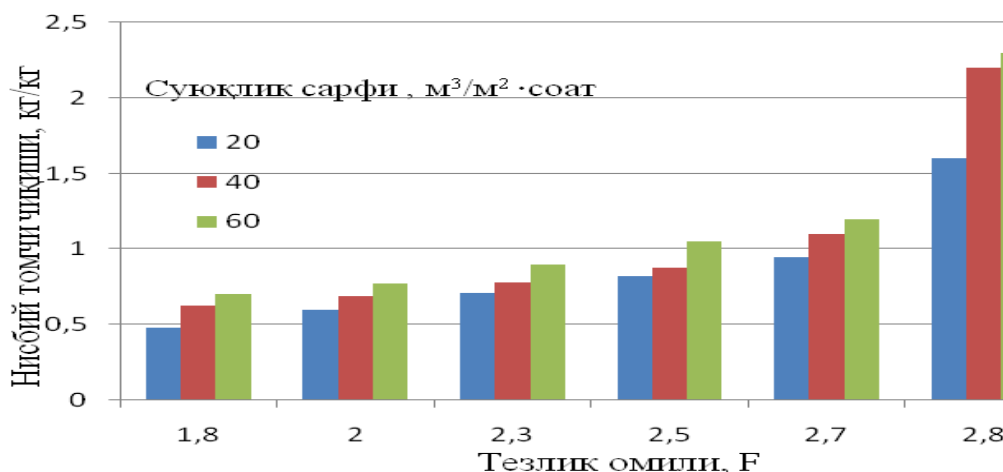
Суюқлик оқими сарфининг турли қийматларида кесим юзаси 20% бўлган тарелкадан томчиларни чиқиб кетишининг нисбий кўрсаткичи тезликнинг  $F$  омилига боғлиқлиги 5-расмда тасвирланган. Тарелка юзасидаги суюқлик қатламини кўтарилиши ва тарелка сув билан тезда тикилиб қолиши сабабли суюқлик оқими сарфининг ортиши билан томчи чиқиб кетишининг нисбий қиймати ва газнинг чегаравий тезлиги камаяди. Ўтказилган тажрибаларда газнинг чегаравий тезлиги  $2,4\div 2,6 \text{ м/с}$  ни ташкил этди.

Тажриба натижаларини таҳлили натижасида суюқлик томчиларини чиқиб кетишининг нисбий кўрсаткичинини жараённинг технологик катталиклари ва тарелканинг эркин юзасига боғлиқлигини ифодаловчи қуйидаги эмпирик тенглама олинди:

$$e = 0,75 * 10^{-3} U^{1,8} L^{-1,3} F_{\text{св}}^{-2,5}, \quad (15)$$

Ушбу тенглама (15)  $H_{\text{т}}=500\div 600 \text{ мм}$ ,  $F_{\text{св}}=10\div 20 \%$ ,  $L= 20 \div 75 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{соат}$  ва  $U=0,8-2,5 \text{ м/с}$  бўлганда ҳақиқийдир.

Газ ва суюқлик бўйича турлича юкламаларда колоннанинг самарали ишлаш имкониятини баҳолаш учун одатда унинг турғун ишлаш соҳасидан фойдаланилади. Ушбу соҳа чегаралари асосан контактловчи мосламанинг тури ва конструкциясига боғлиқ бўлади.



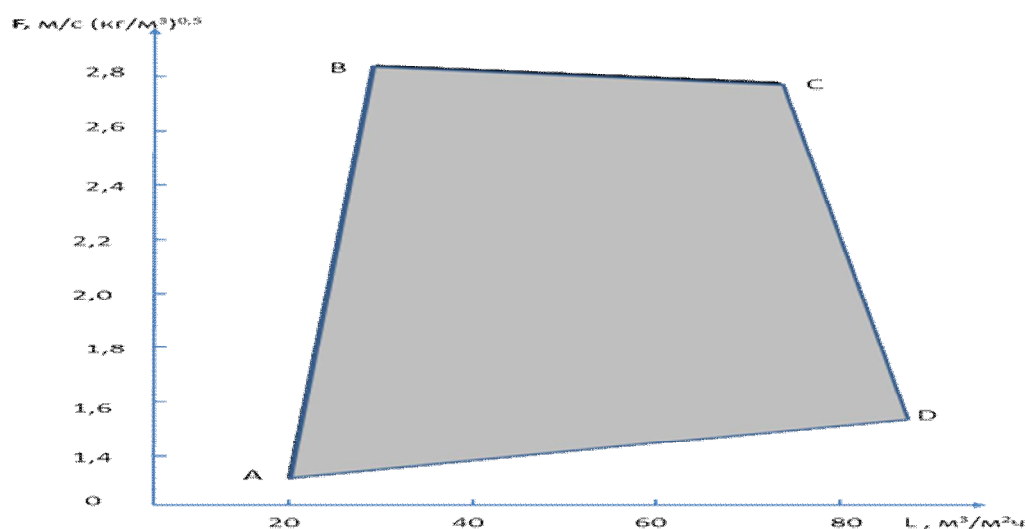
5- расм. Сууюқлик оқими сарфининг турли қийматларида томчилар чиқиб кетиши  $e_n$  ни тезлик омилига  $F$  боғлиқлиги

Катта ҳажмдаги тажриба натижаларини умумлаштириш йўли билан аниқланган, тадқиқ этилган тарелканинг турғун ишлаш соҳаси 6- расмда кўрсатилган. График «F-тезлик омили – L-сууюқлик оқимининг сарфи» координаталарида қурилган.

Колоннадаги газ тезлиги  $F$ - омилининг чегаравий максимал қиймати ( $BC$  чизик) чиқиб кетаётган сууюқлик томчилари миқдори орқали аниқланади.  $AD$  чизиги 10% миқдордаги сууюқликни тарелка тешикларидан тўкилиб кетиши ҳолатига мос келувчи газнинг чегаравий минимал тезлигини белгилайди. Турғун ишлаш соҳаси ўнг томондан  $CD$  чизик билан чегараланган; бу чизик тарелка тешикларини сууюқлик билан тикилиб қолиш режимининг 85% ига мос келувчи сууюқлик бўйича юкламанинг максимал чегараларини ифодалайди.  $AB$  чизиги тарелкада турғун барботаж қатлами юзага келишини таъминловчи юкламанинг сууюқлик бўйича минимал қийматларини белгилайди. Ушбу соҳанинг ичида жойлашган ҳар қандай нуқтанинг тегишли координаталарига мос келувчи газ ва сууюқлик бўйича юклама аппаратнинг турғун ишлашини таъминлайди.

Графикдан кўринадикки, 20% эркин кесим юзасига эга бўлган тарелканинг иш кўрсаткичлари қуйидагича: газнинг минимал иш тезлиги 1,2 м/с ( $F_{\min}=1,36$ ); газнинг максимал иш тезлиги 2,5 м/с ( $F_{\max}=2,84$ ). Демак, тарелканинг газ бўйича ишга лаёқатлилиги сақланиб қолишини таъминловчи юкламанинг ўзгариш соҳаси  $F_{\max}/F_{\min}=2,1$  бўлади. Сууюқлик бўйича юкламанинг юқори чегарасига сууюқлик оқими сарфи  $75 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{соат}$  бўлганда эришилади; бу қуйилиш мосламаси периметри узунлигига тўғри келувчи  $19,2 \text{ м}^3/\text{м} \cdot \text{соат}$  юкламани ифодалайди.

Шундай қилиб, тадқиқотлар натижасида ихчам технологик ускуналарда кечадиган модда алмашиниш - абсорбция ва десорбция жараёнларини юқори жадалликда амалга ошириш учун қўлланиладиган тарелканинг оптимал гидродинамик кўрсаткичлари ва турғун ишлаш соҳаси аниқланди.



6- расм. Эркин кесим юзаси 20 % бўлган икки контакт юзали элаксимон тарелканинг турғун ишлаш соҳаси

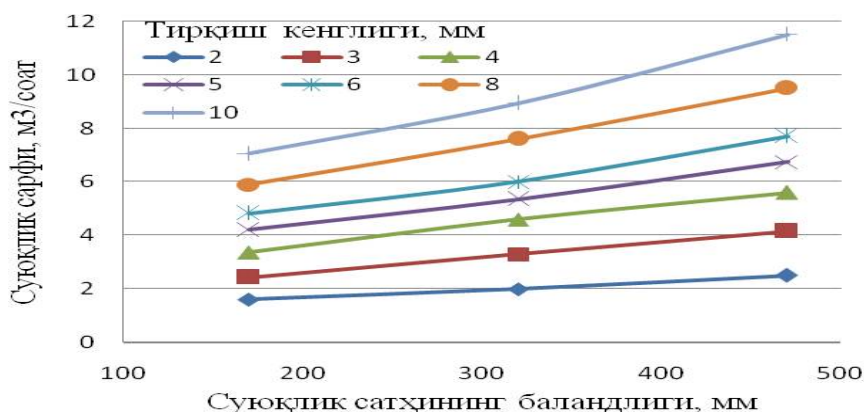
Бешинчи боб «**Табий газни олтингугуртдан тозалаш қурилмалари учун тўйинган амин эритмаларининг дегазаторини тадқиқ қилиш ва яратиш**»да тўйинган эритмаларни дегазациялаш жараёнини тадқиқ этиш натижалари келтирилган ва амин эритмаси дегазаторининг гидродинамик тавсифлари берилган.

Тўйинган эритмаларни дегазациялаш жараёнининг назарий асосларига биноан газ пуфакчасини суюқлик юзасига ламинар ва турбулент қалқиб чиқиш тезлигини аниқлаш учун тенгламалар тавсия этилган.

Газ конденсатини қайта ишлашга тайёрлаш, газни водород сульфидидан тозалаш ва бошқа тўйинган эритмаларни тайёрлаш саноат қурилмаларида ички конструктив элементлар мавжуд бўлмаган дегазаторлар қўлланилади. Бундай ускуналарда эритмани дегазациялаш жараёни фақатгина суюқликнинг эркин юзасида кечади. Аммо «газ-суюқлик» тизимидаги суюқ аралашмаларни дегазациялаш самарадорлигини ошириш учун аралаштиргичлар, пластиналар ёки тақсимлаш мосламалари кўринишидаги турлича конструктив мосламалар жаҳон амалиётида кенг қўлланилади.

Тўйинган эритмани дегазациялаш жараёнини самарали ўтказиш учун тақсимловчи мосламалар яратиш мақсадида, лаборатория шароитларида, «ҳаво-сув» тизимида тажрибавий тадқиқотлар ўтказилди. Тажрибалар икки режимда ўтказилди. Биринчи режимда, қуйилиш стаканидаги суюқликнинг қайд этилган сатҳида, яъни суюқликнинг берилган босимида, тирқишнинг ўтказувчанлик қобиляти ва қуйилиш мосламасининг баландлиги бўйича аралашмани газ сифими аниқланди. Иккинчи режимда эса суюқлик бўйича юклама нулдан тарелка суюқлик билан тўлиб қолиш режими юзага келгунча ўзгартирилди ва гидравлик қаршилик миқдорлари аниқланди.

Тадқиқотлар аппаратнинг эркин юзасидаги газ тезлиги  $0,4 \div 1,2$  м/с, ( $F = 0,5 \div 1,4$ ) ва суюқлик оқими сарфи  $20 \div 50$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·соат бўлган шароитларда ўтказилди. Тажрибаларда эркин кесим юзаси 6% бўлган элаксимон тарелкалардан фойдаланилди. Бунда диаметри 4 мм бўлган 154 та тешикдаги газнинг тезлиги  $7 \div 20$  м/с чегараларида бўлди.



**7 - расм. Тирқишлар кенлигининг турлича қийматларида сууюқлик сатҳи баландлигини сарфига боғлиқ ўзгариши**

Элаксимон тарелкадан фойдаланиш ғояси тарелкага берилаётган сууюқликни қуйилиш стакани орқали оқиб тушишини таъминловчи барботажли қатлам яратиш заруриятдан келиб чиқади. Бунда, оқиб тушаётган сууюқлик пленкасига газ тикини таъсирини ўрганиш имконияти юзага келади. Тажрибаларнинг натижалари асосида сууюқлик пленкаси ҳосил қилиш мосламасининг асосий ишчи катталиклари ўртасидаги боғлиқлик аниқланган.

Тирқишли қуйилиш стаканининг ўтказиш қобилиятининг тадқиқ этиш натижалари тирқиш кенлиги ва стакандаги сууюқлик қатламининг баландлиги ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш имконини берди.

Графиклардан (7-расм) кўринадики, сууюқлик сатҳи баландлигининг ўзгармас қийматларида тирқиш кенлигининг ортиши билан унинг ўтказиш қобилияти ҳам ошиб боради. Шунингдек, тирқиш кенлиги 2-6 мм бўлганда сатҳ баландлигининг барча қийматларида ўтказиш қобилиятининг ўсиши, тирқиш кенлиги 6-8 мм бўлган ҳолатга нисбатан, секинроқ бўлиши кузатилди. Олинган маълумотлар газ босими ҳам тирқишларнинг ўтказиш қобилиятига таъсир кўрсатишини тасдиқлайди. Сууюқлик сатҳи баландлигининг кичик қийматларида газнинг қуйилиш стаканигача бўлган ва ундан кейинги босимлари ўртасидаги фарқ (тарелканинг гидравлик қаршилигига тенг) оқимга қаршилик кўрсатади.

Технологик катталиклар – газ ва сууюқлик сарфларини ортиши билан гидравлик қаршиликнинг ўсиши кузатилади. Бу пайтда сууюқлик оқими сарфини ўзгариши гидравлик қаршиликнинг ўсишига, газ тезлигига нисбатан, камроқ таъсир кўрсатишини қайд этиш мумкин.

Масалан, газ тезлиги 0,4 ва 0,6 м/с бўлганда, сочиб берилаётган сууюқлик оқими зичлигининг турлича қийматларида гидравлик қаршилик амалий жиҳатдан деярли параллел ўсади, 0,8 ва 1,0 м/с тезликларда эса гидравлик қаршиликнинг тегишли қийматлари ўртасидаги фарқ сезиларли бўлади.

Тажрибалар воситасида барботаж қатлами баландлиги бўйича газ-сууюқлик оқимининг газ сиғими миқдорлари белгиланган. Иш катталикларининг тадқиқ этилган чегараларида сууюқлик қатламининг баландлиги (газ билан тўйиниш кўрсаткичи 0,86) 300 миллиметрдан паст бўлиши аниқланган. Бундан келиб чиқиб, тирқиш юзасидаги сууюқлик

сатҳининг максимал баландлиги 300 миллиметрга тенг деб қабул қилишни тавсия этамиз. Суюқлик сатҳининг қуйилиш стаканидаги минимал баландлиги 50 миллиметрдан кам бўлмаслиги керак.

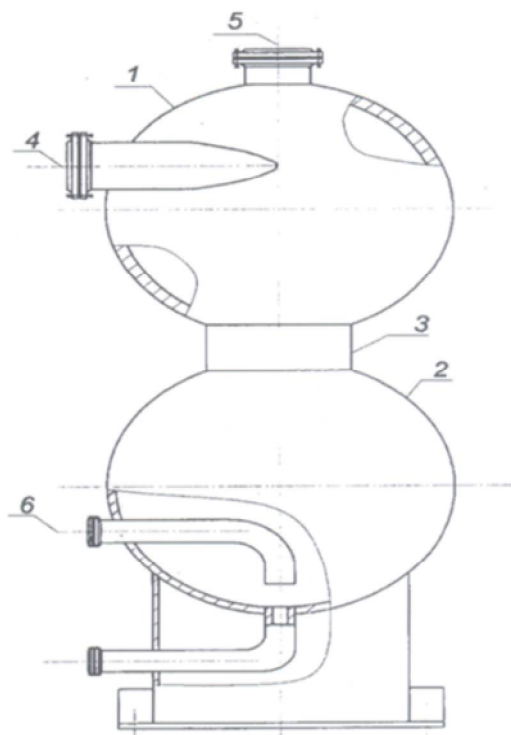
Маълумотларни таҳлил натижалари асосида тирқишнинг сарф коэффициентини ҳисоблаш учун эмпирик тенгламалар олинди ва тадқиқот натижаларини таққослаш йўли билан уларнинг мослиги тасдиқланди.

Суюқлик тақсимлагичнинг оптимал иш катталикларини ва суюқлик пленкасининг газ оқими билан ўзаро таъсирлашув схемасини аниқлаш бўйича ўтказилган тадқиқотлар асосида тўйинган эритма учун мўлжалланган дегазациялаш юзаси кенгайтирилган дегазатор ишлаб чиқилди.

Олтинчи боб «**Табиий газни комплекс тозалаш учун янги яратилган ускуналарини саноатда синаш ва ишлаб чиқаришга жорий этиш**»да табиий газни суюқлик ва нордон компонентлардан самарали тозалаш технологиясини амалга ошириш учун водород сульфидидан тозалаш ускунасининг такомиллаштирилган технологик схемаси тавсия этилган.

Табиий газни суюқлик ва газ компонентларидан комплекс тозалаш учун ишлаб чиқилган ва Ўзбекистон Республикасининг патентлари билан ҳимояланган контакт мосламалари ва ускуналар конструкцияларининг конструктив схемалари ва тавсифлари келтирилди.

Табиий газни томчилардан ва суюқлик тикинидан тозалаш сепаратори (8-расм) шарсимон шаклдаги газ-суюқлик аралашмасини қабул қилиш ҳамда сепарациялаш 1 ва йиғиш 2 камераларидан иборат бўлган корпус, камераларни ўзаро туташтирувчи патрубк 3 ва аралашмани қабул қилиш камерасига киритувчи тангенциал ўрнатилган қувурчадан 4 иборат. Сепарациялаш камерасининг 1 юқори қисмида суюқликдан ажратиб олинган газни чиқариб юбориш учун вертикал патрубк 5 жойлашган. Йиғиш камерасининг 2 қуйи қисмида суюқликни



1- қабул қилиш камераси; 2- йиғувчи камера; 3-улаш қувури; 4 – газнинг кириш штуцери; 5 - газнинг чиқиш штуцери; 6 – суюқликнинг тўкилиш штуцери.

**8-расм. Газ сепаратори**

дренаж сиғимига тушириб юбориш учун штуцер 6 ва йиғилиб қолган қаттиқ чўкиндиларни чиқариб ташлаш учун штуцер 7 жойлашган.

Табиий газни чуқур тозалаш учун мўлжалланган сепаратор конструкцияси 9-расмда тасвирланган. Сепаратор учта ишчи қисмлардан иборат. Нам газ штуцер А орқали кириб, ичкарида жойлашган йўналтирувчи тарнов ёрдамида ускунанинг ярим шар шаклидаги туби бўйлаб

харакатланади. Ускунанинг ушбу зонасида каттиқ заррачалар ва суюқликнинг йирик томчилари гравитацион ва марказдан қочма кучлар таъсирида чўкади. Сўнгра, бирламчи тўрли коагулятор орқали газ, аппарат тўсиғидаги тўйнуқ орқали иккинчи қисмга ўтади. Йириклашган томчилар иккинчи қисмда, инерцион-гравитацион механизм бўйича чўктирилади. Учинчи қисмда газни эркин намликдан яқуний тозалаш амалга оширилади. Конструкция жиҳатдан ускунанинг ушбу қисми уюрма ҳосил қилувчи мосламали цилиндрик кистирмалар билан таъминланган марказдан қочма типдаги сепаратордир. Сув томчиларидан ажратилган газ штуцер *Б* орқали қайта ишлашга узатилади.

Тўйинган амин эритмасини дегазациялаш учун мўлжалланган дегазатор (10-расм) горизонтал цилиндрик ускуна кўринишида ишланган. Эллиптик қопқоқлар билан таъминланган горизонтал қобик ичига балкаларга ўрнатилган суюқлик тақсимлагич жойлаштирилган. Тақсимлагич олтига юпқа қатламли суюқ «парда» ҳосил қилади ва уларда суюқликнинг жадал газсизланиши амалга оширилади.

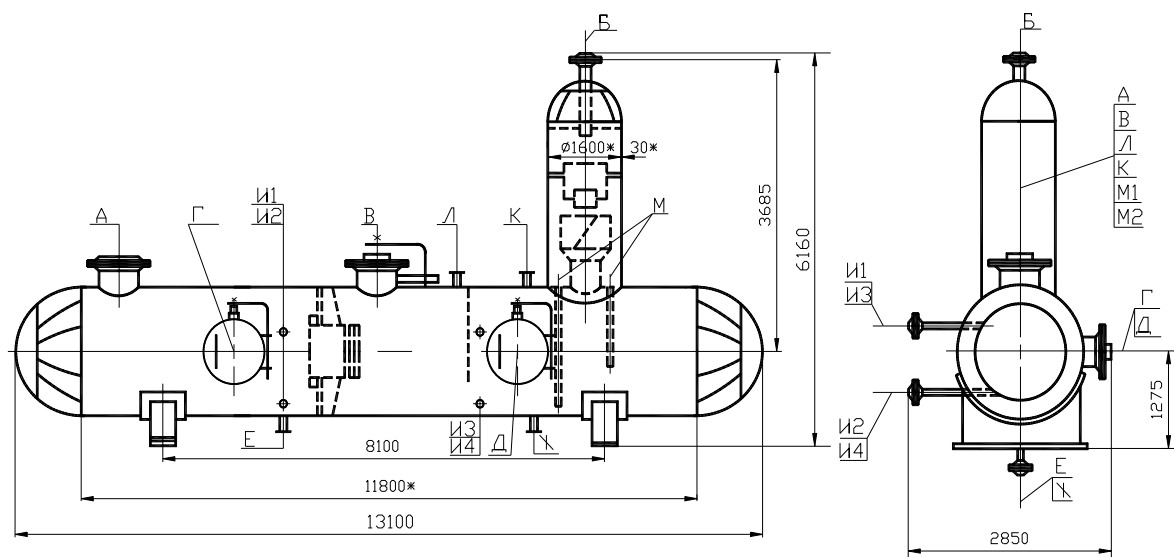
Абсорбер вертикал колонна шаклида бўлиб, модификацияланган икки контакт юзали элаксимон тарелкаларга эга. Ускунада суюқлик ва газ муҳитлари юпқа суюқлик ва барботаж қатламларда жараёнга киришади. Абсорбернинг юқори қисмида уюрмаловчи мосламали марказдан қочма элементлардан ташкил топган томчи қайтаргич ўрнатилган.

Табиий газни  $H_2S$  ва  $CO_2$  қўшимчалардан метилдиэтанолламин эритмаси ёрдамида абсорциялаш тезлигини аниқлаш тадқиқоти Муборак газни қайта ишлаш корхонаси тўртинчи цехининг 12-блокида бажарилди.

Саноат шароитидаги тадқиқотлар диаметри 2600 мм абсорберда ўтказилди. Модда алмашиниш мосламаси сифатида 18 дона модификацияланган икки контакт юзали тарелкалар ўрнатилди. Ҳар бир тарелкада диаметри 400 мм бўлган 5 та қуйилиш мосламаси жойлаштирилган; қуйилиш остонасининг баландлиги 50 мм; қуйилиш мосламасининг максимал иш юқламаси  $63,1 \text{ м}^3/\text{м}\cdot\text{с}$  қабул қилинган.

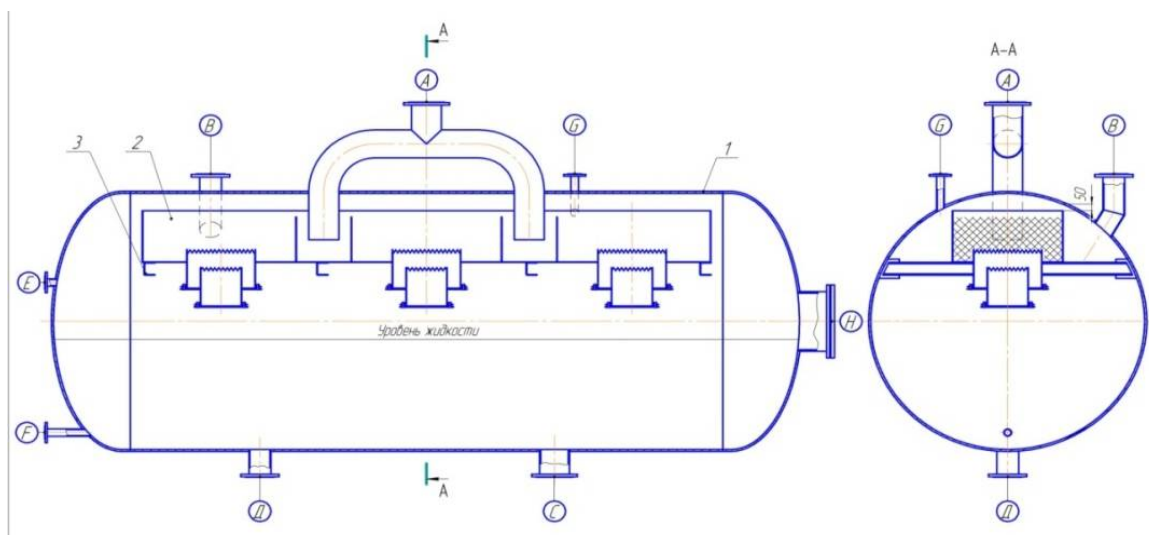
Модернизацияланган абсорберни синашда тезлик омили  $F=1-2,4$  чегарасида ўзгартирилди. Аниқландики, суюқликнинг нисбий сарфи ўзгармас бўлганда, тезлик омилининг ортиши водород сульфидини танлаб ютиш коэффициентининг ўсишига олиб келади:  $F=1,0$  бўлганда қолдиқ  $H_2S$  тозаланган газда  $14 \text{ мг}/\text{м}^3$ ;  $F=2,4$  бўлганда бу кўрсаткич  $4,7 \text{ мг}/\text{м}^3$  бўлади. Назаримизда, газнинг юқори тезликда муҳитларнинг таъсирланиш юзаси вақти, ва бунинг натижасида эса танлаб ютиш самарадорлиги ортади.

Тадқиқ этилган абсорбер модернизациялашгача эркин юзаси 5 % бўлган 18 та элаксимон тарелка билан жиҳозланган, ҳамда лойихага кўра газ бўйича  $47 \text{ минг м}^3/\text{соат}$  унумдорликка эга бўлган.



А – газ киритиш штуцери; Б – газни чиқариш штуцери; В, Г, Д – люклар; Е – дренаж, Х – конденсатни чиқариш учун штуцер; И<sub>1,2,3,4</sub> – сатҳ кўрсаткич учун штуцерлар; К – химоя клапани учун штуцер; Л – намуна олиш учун штуцер; М<sub>1,2</sub> – суюкликни куйиб олиш учун штуцер

**9- расм. Табиий газ сепаратори**



1 - корпус, 2 - тақсимлаш мосламаси, 3 - балка; штуцерлар: А – амин эритмасини киритиш учун, В - экспанзер газлар чиқиши, С - эритмани чиқариш учун, D – дренаж учун, F, E – сатҳ ўлчагич учун, G – манометр учун; H – техник хизмат кўрсатиш люки

**10-расм. Тўйинган эритма дегазатори**

Модда алмашиниш тарелкасини алмаштириш оқибатида абсорбернинг газ бўйича унумдорлиги 65 минг м<sup>3</sup>/соат етди. Натижада бир йилда қўшимча тарзда 144 миллион метр куб газни тозалашга эришилди.

Яратилган юқори самарадорли контакт мосламалари ва ускуналарини «Муборак газни қайта ишлаш заводи» УШК ва «Газли нефт-газни қазиб чиқариш» УШК ларида ва бошқа корхоналарда қўллаш орқали табиий газни қайта тайёрлаш ва тозалаш қурилмаларининг бирлик ишлаб чиқариш қувватини ортишига, геометрик ўлчамлари ва металл сарфини қисқартирилишига эришилди.



## Хулоса

Табиий газни суюқлик ва нордон компонентлардан тозалаш учун юқори самарадор ускуналар яратиш мақсадида ўтказилган комплекс илмий-тадқиқот ишларининг натижалари бўйича қуйидаги асосий хулосаларни шакллантириш мумкин:

1. Табиий газни тозалаш ускуналари таркибидаги ускуналарда амалга оширилаётган технологик жараёнлар шароитида оқимлар ҳаракатининг қонуниятлари таҳлил этилди.

2. Суюқ дисперс фазадаги суюқлик томчиларини сепараторнинг эркин қесим юзаси бўйлаб ҳаракатланиш траекториясини аниқлаш учун математик модел қурилди ва унинг ҳисоблаш алгоритмининг амалга ошириш учун дастур ишлаб чиқилди.

3. Колоннали ускуналар тарелкаларида ҳосил қилинадиган жадал барботаж режимлари ва дисперс газ фазали тизимлар учун фазавий ячейкалар сони ва икки фазали қатламнинг газ сифими ўртасидаги ўзаро боғлиқлик очиб берилган; контакт мосламалари ва ускуналар ишининг жадаллигини белгиловчи кўрсаткич сифатида тезликнинг F-омилини қабул қилиш тавсия этилди.

4. Суюқлик тиқинини ушлаш ва таркибидан газни ажратиш учун шарсимон шаклдаги бирламчи газ сепараторининг рационал конструкцияси ишлаб чиқилди ва Ўзбекистон Республикаси патенти (№ IAR 03763, 2008 й.) билан ҳимояланди. Газни эркин намликдан тозаланиш самарадорлиги юқорилигини сақлаб қолган ҳолда ушбу ускуна конструкцияси, мавжуд цилиндрик шаклдаги горизонтал сепараторларга нисбатан металл сарфини 2 мартаба қисқартириш имконини берди.

5. Радиал цилиндрик қистирмалар кўринишидаги қўшимча конструктив элементлари бўлган марказдан қочма типдаги сепараторнинг рационал конструкцияси ишлаб чиқилди ва Ўзбекистон Республикаси патенти (№ IDR 04591, 2001й.) билан ҳимояланди. Ўқ бўйлаб уюрмаловчи мосламага эга мазкур сепаратор табиий газни тозалаш ва қайта ишлашга тайёрлаш қурилмаларида, уни суюқ компонентлардан самарали тозалаш учун қўлланилди.

6. Модда алмашилиш колонналарининг ички сепараторлари ва табиий газни ўта юқори даражада тозаловчи сепараторлар учун уюрмаловчи мосламали марказдан қочма турдаги сепарациялаш элементининг янги конструкцияси ишлаб чиқилди. Марказий ўқга ўрнатиладиган ушбу элемент радиус бўйича эгилган шаклли паррақлардан иборат бўлиб, уларнинг кириш зонасидаги йўналтирувчи бурчаги  $70-75^\circ$  ва паррақларнинг бир-бирини ўзаро ёпиш бурчаги  $6-10^\circ$  чегараларида ўзгаради.

7. Эркин қесим юзаси 20 % бўлган икки контакт зонали элаксимон тарелканинг тажрибавий ва саноатдаги синовлари натижаларига кўра, газ ва суюқлик фазалари сарфлари ўзгаришининг кенг чегараларида барботаж қатламининг газ сифими, гидравлик қаршилиги ва томчиларни газ таркибида чиқиб кетиши бўйича янги маълумотлар олинди; тадқиқ этилган модда

алмашиниш тарелкаси конструкциясининг турғун ва самарали ишлаш соҳаси аниқланди, унинг гидродинамик катталикларининг оптимал қийматларини ҳисоблаш учун эмпирик тенгламалар олинди ва тажрибавий ва ҳисобланган қийматларни таққослаш асосида мазкур тенгламаларнинг ҳақиқий жараёнларга мослиги аниқланди.

8. Янги кўринишдаги тарелкалар билан таъминланган модификацияланган абсорбернинг иш унумдорлиги, унинг лойиҳавий қувватига нисбатан 1,4 маротабага ортиши мумкинлиги кўрсатилди; мазкур самара адсорбция жараёнини жадаллаштириш ва айна пайтда тозаланган табиий газнинг юқори сифат кўрсаткичлари ( $H_2S$  миқдори  $7 \text{ мг/м}^3$  дан кичик) сақланиши ҳисобига эришилди.

9. Тўйинган эритмалар учун юпқа суюқлик қатлами ҳосил қилувчи мосламали дегазаторнинг Ўзбекистон Республикаси патенти (№IAR 04060, 2009 й.) билан ҳимояланган конструкцияси ишлаб чиқилди. Тавсия этилган ускуна конструкциясида, мавжуд ускуналар конструкцияларига нисбатан, металл сарфини 1,5 маротабага қисқариши ва дегазациялаш юзасини 33 % га ортиши тасдиқланди.

10. Табиий газни бирламчи ва чуқур тозалаш учун янгидан яратиладиган сепараторлар, уярма ҳосил қилиш мосламаси ва эркин кесим юзаси 20 % ни ташкил этувчи икки контакт зонали модда алмашиниш тарелкалари билан таъминланувчи колоннали ускуналар ва тўйинган эритмалар учун юқори самарадорликка эга бўлган дегазаторларни, жиҳозларни эксплуатацион катталиклардан келиб чиқиб, технологик катталикларини аниқлаш имконини берувчи эмпирик тенгламалар олинди ва мазкур жиҳозлар ва уларда амалга ошириладиган жараёнларнинг муҳандислик ҳисобларини бажариш услублари яратилди.

11. Таркибида истиқболли кўринишдаги ускуналар мавжуд газни водород сульфидидан тозалаш қурилмасининг технологик схемаси ишлаб чиқилди ва уни табиий газни самарали тозалаш технологиясини амалга ошириш учун амалиётга тавсия этилди.

12. Юқори самарали ва истиқболли ускуналарни ишлаб чиқаришга жорий этилиши натижасида ишлаб чиқариш унумдорлигини ошиши, газ сифати яхшиланиши, жиҳозларда металл сарфи ва истеъмол қилинадиган энергия миқдорини камайиши ҳамда валюта маблағларининг ва транспорт харажатларининг қисқаришини ҳисобига 700 миллион сўмдан ортиқ соф иқтисодий самара олинди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК 16.07.2013.Т.08.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

**РАХМОНОВ ТОЙИР ЗОЙИРОВИЧ**

**СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ  
КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

**02.00.08 – Химия и технология нефти и газа  
(технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

**Ташкент – 2015**

**Тема докторской диссертации зарегистрирована за 30.09.2014/В2014.5.Т271 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.**

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете и Институте общей и неорганической химии.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице по адресу [www.tkti.uz](http://www.tkti.uz) и информационно-образовательном портале ZIYONET по адресу [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

<b>Научный консультант:</b>	<b>Салимов Зокиржон Салимович</b> доктор технических наук, профессор, академик академии наук Республики Узбекистан
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Икромов Абдувахоб Икромович</b> доктор технических наук, профессор  <b>Хамидов Босит Набиевич</b> доктор технических наук, профессор  <b>Ли Роберт Чанирович</b> доктор технических наук
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Ташкентский филиал Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина</b>

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г. в «\_\_» часов на заседании Научного совета 16.07.2013. Т.08.01 при Ташкентском химико-технологическом институте по адресу: 100011, г. Ташкент, ул. Навои, 32, тел. (+99871) 244-79-20, Факс: (+99871) 262-79-17, e-mail: [tkti@mail.uz](mailto:tkti@mail.uz).

Докторская диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре (ИРЦ) Ташкентского химико-технологического института за № \_\_, с которой можно ознакомиться в ИРЦ (100011, г. Ташкент, ул. Навои, 32, тел. (+99871) 244-79-20).

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 года.  
(протокол рассылки № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2015 г.).

**С.М. Туробжонов**  
Председатель научного совета по  
присуждению учёной степени доктора наук,  
д.т.н., профессор

**А.С. Ибадуллаев**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению учёной степени доктора наук,  
д.т.н., профессор

**Г.Р. Рахманбердиев**  
Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению учёной  
степени доктора наук, д.х.н., профессор

## **Введение (Аннотация докторской диссертации)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Перспективы нефтегазозапасности недр, накопленный научно - технический потенциал, богатый производственный опыт – все это вкуче создает вполне благоприятные предпосылки для дальнейшего существенного развития отрасли. Важнейшими задачами Национальной холдинговой компании «Узбекнефтегаз» являются внедрения и применения в производстве качественно нового оборудования последних поколений, материалов, современных инновационных технологий, ускорения темпов обновления и замены устаревшей техники по реализации крупных инвестиционных проектов с ведущими зарубежными компаниями, а также решения комплекса значимых социальных задач. Освоение этих задач позволит нашей стране значительно укрепить топливно-энергетическую независимость.

Актуальность диссертации характеризуется тем, что выпуск качественных и новых видов товаров из природного газа, связано с требующими пристального внимания задачами создания высокоэффективных аппаратов и контактных устройств, повышения технологических и механических надежностей оборудования, коренной реконструкции и модернизации технологических установок, а также, улучшения экологической обстановки на объектах очистки и переработки природного газа.

С развитием новых технологий комплексной подготовки и очистки газа на предприятиях страны в условиях мирового экономического и экологического кризиса становится актуальным вопрос снижения материалоемкости оборудования, экономного расходования сырья и энергетических ресурсов. Основные технологические аппараты и машины отрасли, импортируемые из зарубежных стран, отработали свой ресурс и требуют замены. В соответствии с Программой углубления локализации производства готовой продукции на 2011-2013 гг., утвержденного 29 июля 2011 г., Постановлением Президента Республики Узбекистан ПП-1590, перед машиностроительными предприятиями акционерной компании «Узнефтегазмаш» поставлены задачи расширения выпуска оборудования по подготовке и переработке углеводородов.

В сложившихся условиях создание высокоэффективных аппаратов и контактных устройств для интенсификации технологических процессов комплексной очистки природного газа от жидкостных и кислых компонентов, протекающих в газожидкостных системах, представляет актуальную и востребованную задачу.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Диссертация выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан: № 3 – «Создание наукоемких технологий и разработка высокоэффективных методов поиска, добычи полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья и вторичных ресурсов на 2007-2011 гг.».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации.**

Теоретические и практические исследования, посвященные абсорбционной очистке сероводородсодержащего природного газа, ведется крупными фирмами, компаниями, научными центрами и университетами зарубежных стран, такими как «Sulzer» (Швеция), «Koch – Glitsch» (Италия), «Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH» (Германия), «Norton Chemical Process Products Corporation» (АКШ), ЦКБН (Россия), «Петон» (Россия) и «Intalox High-Performance Structured Packing» (Австрия).

В последние годы достигнуты весомые результаты по машинам и аппаратам нефтегазовой промышленности: получены насадки, обеспечивающей проведение процессов массообмена и разделение капель жидкости от влажного газа с высокой эффективностью (Sulzer, Intalox High-Performance Structured Packing); разработаны контактные устройства для организации прямолинейного течения жидкости и поперечного движения газового потока по сечениям колонны (Петон, Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH); созданы клапанные, ситчатые, колпачковые, каскадные массообменные тарелки широко применяемых в промышленности с учетом реальных технологических параметров и условий эксплуатации (Koch – Glitsch, Norton Chemical Process Products Corporation, ЦКБН).

На сегодняшний день осуществляются приоритетные научно-исследовательские работы по направлениям повышения эффективности аппаратов за счет создания высокопроизводительных контактных устройств, разработка технологий и нового более компактного и эффективного оборудования для очистки природного газа от жидкостных и кислых примесей.

**Степень изученности проблемы.** К различным теоретическим и прикладным вопросам в области процессов и аппаратов подготовки и переработки природного газа посвящены работы таких зарубежных ученых, как Basile R.J., Cornelis A.P., Chien T.W., Gold M., Neumann W.L., Jonson E., Li Jia, Norbert A., Sha Yong, Ахметов С., Вальдберг А.Ю., Систер В.Г., Рамм В.М., Чехов О.С., Зиберт Г.К.

В Узбекистане такими учеными, как Ризаев Н.У., Салимов З.С., Юсупбеков Н.Р., Левш В.И., Закиров С.Г., Гулямов Ш.М., Нурмухамедов Х.С., Абдурахимов С.А. и другими проводились исследования, направленные на развитие теоретических основ процессов и аппаратов

химической и нефтегазоперерабатывающей отраслей промышленности и внедрены в практику.

В настоящей работе основное внимание сосредоточено на анализе возможных перспективных путей интенсификации процессов в системе «газ-жидкость» и разработку контактных элементов, определяющих эффективность процессов и производительность аппаратов и установок для очистки газов в целом.

**Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения и научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Научно-исследовательская работа, выполнена на основе государственного научно-технического проекта ППИ-13 - «Разработка высокоэффективных технологий и технических средств энерго- и ресурсосбережения, использование возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, рационального производства и потребления топливно-энергетических ресурсов» (2007-2011 гг.).

**Цель исследования** состоит в создании высокоэффективных аппаратов (сепаратора, дегазатора, абсорбера и десорбера) и принципиальную технологическую схему для комплексной очистки природного газа.

В соответствии поставленной цели решались следующие **задачи исследования:**

формирование методологических основ исследований функционирования аппаратов комплексной очистки природного газа;

исследование гидродинамических характеристик двухфазных систем «газ (дисперсная фаза) – жидкость (сплошная)» и «жидкость (дисперсная фаза) – газ (сплошная)»;

изучение энергетических характеристик и оптимальных параметров газожидкостного слоя;

математическое моделирование гидродинамических параметров газожидкостного течения и на этой основе рациональная организация движения фаз в зависимости от конструкции и геометрии расположения турбулизирующих контактных элементов;

разработка контактных устройств и аппаратов, работающих в интенсивном режиме и в широком диапазоне нагрузки газа и жидкости, с целью увеличения нагрузки на колонну по газу или сохранении производительности агрегата при существенном уменьшении диаметра аппарата;

обоснование методик расчета оптимальных конструктивных, гидравлических и технологических параметров разработанных аппаратов для первичной подготовки и очистки природного газа и подготовка технических документов по их применению в нефти - и газоперерабатывающей промышленности;

выработка конкретных выводов и конструктивных рекомендаций по проектированию и внедрению высокоинтенсивных и эффективных аппаратов в нефтегазовой и других отраслях промышленности;

внедрение разработанных аппаратов в промышленность с учетом реальных технологических параметров и условий эксплуатации.

**Объекты исследования:** природный газ, капли жидкости, газовый конденсат, пластовая вода, сероводород, аминовой раствор, углекислый газ.

**Предмет исследования:** технологические процессы, машины и аппараты установок и комплексов для подготовки и очистки природного газа от жидкостных и кислых компонентов и регенерации насыщенного аминового раствора.

**Методы исследований.** При выполнении диссертационной работы использованы: методы экстремального планирования экспериментов; статистические методы обработки экспериментальных данных; методы физического, математического моделирования и оптимизации технологических процессов и производств; апробированные общепринятые методы проведения опытов по изучению закономерностей гидродинамики и массообмена с использованием современных метрологически аттестованных контрольно – измерительных приборов и точных методов измерения технологических параметров.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

предложена математическая модель гидродинамических режимов турбулентного газожидкостного течения взаимодействующих фаз;

вскрыта взаимосвязь между количеством фазовых ячеек и газосодержанием двухфазного слоя в интенсивных барботажных режимах, создающихся на тарелках колонных аппаратов и систем с газовой дисперсной фазой;

определены закономерности распределения капель жидкости различного размера и полезная высота сепаратора, позволяющие эффективно расположить отбойные устройства и значительно повысить эффективность газожидкостной сепарации;

разработаны новые контактные устройства и аппараты, работающие в интенсивном режиме и в широком диапазоне нагрузок по газу и жидкости;

определена область устойчивой и эффективной работы ситчатой тарелки с двумя зонами контакта со свободным сечением 20 %;

предложены эмпирические уравнения для оценки газосодержания, гидравлического сопротивления, уноса капель и коэффициента расхода щели в зависимости от технологических и геометрических параметров сепарационных и массообменных аппаратов;

обоснована инженерная методика расчета конструктивных, гидравлических и технологических параметров сепаратора шаровой формы и дегазатора насыщенных растворов с пленкообразователем жидкости.



**Практические результаты** исследования заключаются в следующем:

разработан газожидкостной сепаратор первичной очистки природного газа, эффективно работающий в режимах залпового выброса и сепарации капельной жидкости (№ IAR 03763, 2008 г.), предложен высокоэффективной сепаратор с центробежным завихрителем, состоящий из трех функциональных частей, использующих инерционные и центробежные эффекты осаждения капель и предназначенных для глубокой очистки природного газа от свободной влаги (№ IDR 04591, 2001г.) и создан высокоэффективный дегазатор с развитой поверхностью дегазации нерастворенных газов насыщенного раствора амина (№ IAR 04060, 2009 г.);

предложены конструкции массообменных тарелок ситчатого типа с двумя зонами контакта газожидкостных фаз для колонных аппаратов в установках очистки природного газа от кислых компонентов, позволяющие увеличить производительность аппарата в 1,4 раза относительно проектного уровня за счет интенсификации процесса абсорбции (Акт внедрения Мубарекского газоперерабатывающего завода от 25.03.2005 года);

обоснована методика расчета оптимальных параметров разработанных аппаратов для систем очистки природного газа (Практические руководства под № РМ 371-12; РМ 382-12 и РМ 423-13, утвержденные на АО «Завод Узбекхиммаш» от 06.05.2015 года).

**Достоверность результатов исследований** подтверждается согласованностью теоретических результатов с собственными экспериментальными данными и данными экспериментов и теоретическими расчетами из литературных источников; успешной промышленной эксплуатацией аппаратов, рассчитанных и спроектированных на основе проведенных исследований.

**Теоретическая и практическая значимость результатов исследования.** Теоретическая значимость полученных результатов работы состоит в создании модернизированной технологической схемы очистки природного газа от кислых компонентов, позволяющей проводить процессы абсорбционной очистки природного газа в малогабаритных, неметаллоемких и высокоинтенсивных аппаратах. Научные результаты диссертации использованы в процессе создания инженерной методики расчета сепарационных и массообменных аппаратов, предназначенных для первичной подготовки и очистки природного газа.

Практическая значимость выполненной работы заключается в том, что разработаны инженерные методики и рекомендации по проектированию и расчету гидравлических, конструктивных и технологических параметров разработанных контактных устройств и аппаратов; предложены новые перспективные конструкции аппаратов установки очистки природного газа от жидкостных и кислых компонентов, созданных на основе экспериментальных и теоретических исследований двухфазных газожидкостных систем.

**Внедрение результатов исследования.** Созданные газовые сепараторы (патенты на изобретения Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан под № IDR 04591, 2001 года и № IAR 03763, 2008 года) и дегазатор насыщенного раствора (патент на изобретения Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан под № IAR 04060, 2009 года) внедрены в качестве оборудования технологических процессов унитарных дочерних предприятий «Мубарекской газоперерабатывающий завод», «Газли нефтгаздобыча», «Мубарекнефтегаз» и «Устюртгаз». (Акты внедрения №3 от 25 марта 2005 года, №7 от 09 июня 2012 года и №9 от 29 июня 2012 года); фактический совокупный экономический эффект от внедрения новых высокоэффективных аппаратов, за счет повышения производительности аппаратов, улучшения качества товарного газа, уменьшения металлоемкости и энергоемкости оборудования, а также с учетом экономии валютных средств и транспортных затрат составил более 700 миллионов сумов (справка АК «Узнефтегазмаш» №641 от 16 июня 2015 года).

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на: Международных научных конференциях «Математические методы в технике и технологиях» - «ММТТ-2000» (Санкт-Петербург, 2000 г.) и «ММТТ-2001» (Смоленск, 2001 г.), Международной научно-практической конференции «Цивилизация и глобализация духовных ценностей народов Средней Азии и Казахстана» (Шымкент, 2007 г.), научно-технических конференциях НТК Ташкентского государственного технического университета (Тошкент, 2003-2005 гг.), Республиканской НТК «Ўзбекистонда нефтни қайта ишлашнинг долзарб муаммолари ва мойловчи материаллар ишлаб чиқариш истиқболлари» (Ташкент, 2005 г.), I Республиканской НТК «Современные машины и аппараты химических производств» (Фергана, 2006 г), Республиканских НТК «Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов» (Ташкент, 2007 г.), «Актуальные проблемы переработки нефти и газа Узбекистана» (Бухара, 2009 г.).

**Опубликованность результатов.** Основное содержание и положения диссертации отражены в 31 опубликованных научных работах. По материалам диссертации издана одна монография, опубликовано 12 статей в отечественных и зарубежных журналах, 15 тезисов докладов и получены 3 патента Республики Узбекистан на изобретения.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и приложений. Она изложена на 192 страницах, имеет 71 рисунка и 7 таблиц. В приложениях приведены копии документов, подтверждающих практическое использование результатов диссертации.

## Основное содержание диссертации

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений в практику результатов исследования, результаты апробация работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе **«Анализ современных методов, схем и устройств очистки газа и выявление тенденций их дальнейшего развития и совершенствования»** приведены результаты анализа методов, схем и устройств комплексной очистки природного газа и других газов в двухфазных системах «газ – жидкость».

Отмечено, что одной из важных задач, решаемых при разработке технологического процесса очистки природного газа, является выбор оптимальных размеров и конструкции массообменного и сепарационного аппарата, что предопределяет экономичность процесса, снижение как капитальных затрат на изготовление оборудования (экономия конструкционных материалов), так и эксплуатационных затрат (снижение энергоемкости процесса, объема ремонтных работ). Решение этой задачи напрямую связано с разработкой контактных устройств и исследованием гидродинамических параметров устройств и использованием надежных расчетных методов оптимального проектирования газожидкостного оборудования.

Анализ литературных источников показывает, что существуют неиспользованные технические возможности для интенсификации процессов очистки природного газа с применением турбулизирующих контактных устройств – центробежных завихрителей, высокоэффективных массообменных тарелок, пленкообразователей и т.д., а также разработки на этой основе менее металлоемких аппаратов для нефтегазовой промышленности.

Исходя из этого, сформулированы задачи научного исследования.

Вторая глава **«Гидродинамические характеристики двухфазных газожидкостных потоков в процессах очистки газов»** посвящена разработке научно-теоретических основ гидродинамики двухфазных газожидкостных потоков в системах с жидкостной и газовой дисперсных фаз, применительно к процессам очистки природного газа от различных примесей.

В дисперсном газожидкостном потоке капли жидкости взвешены в газовой среде и является несущим. В зависимости от размера капель и скорости потока степень увлечения частиц различна. Параметры движения капель жидкости в потоке газа, к которым принадлежат относительная

скорость их, путь, проходимый в газовом потоке, определяют основной фактор процесса – эффективность сепарации.

Разработанная математическая модель и алгоритм расчета траектории капель в свободном сечении сепаратора позволяют определять путь передвижения и время пребывания капель различного размера, что дает возможность целенаправленно проектировать конструктивные элементы, качественно предотвращающие унос капель из сепарационных зон.

Отмечено, что в турбулизированных системах газ в жидкости высокой интенсивности создаются на тарелках массообменных аппаратов. Поверхность контакта фаз газожидкостной системы определяется размерами фазовых ячеек и газосодержанием. Объем барботажного слоя  $V_c$ ,  $m^3$  определяется выражением:

$$V_c = HF_c, \quad (1)$$

где  $H$  – высота слоя, м;  $F_c$  – площадь сечения слоя,  $m^2$ .

Количество взвешенных в потоке капель, при работе аппарата в интенсивных режимах, определяется технологическими показателями процесса – скоростью газа и плотностью орошения. Количество жидкости, находящееся в аппарате, в том случае, если нет ее накопления в аппарате за счет разности скоростей газа и жидкости, определяется из выражения:

$$G_x = V_{ан} \rho_r B, \quad (2)$$

где  $V_{ан}$  - объём аппарата,  $m^3$ ;  $\rho_r$  - плотность газа,  $кг/м^3$ ;  $B$  – удельное орошение,  $кг ж./кг газ$ ;  $\rho_ж$  - плотность жидкости,  $кг/м^3$ .

Количество жидкости, проходящее через аппарат в единицу времени,  $q_{жс}$ ,  $кг/с$  при плотности орошения  $L$ ,  $м/с$ , определяется как

$$q_{жс} = L \cdot F_c \cdot \rho_{жс}, \quad (3)$$

Количество газа  $q_r$ ,  $кг/с$  при скорости  $U_{ср}$ ,  $м/с$  выражается следующим образом:

$$q_r = U_{ср} F_c \rho_r. \quad (4)$$

Удельное орошение определяется выражением:

$$B = \frac{q_{жс}}{q_r} = \frac{L \rho_{жс}}{U_{ср} \rho_r}. \quad (5)$$

Общий объем жидкости в аппарате составляет

$$V_{ж} = \frac{G_x}{\rho_{жс}} = \frac{L F_c H}{U_{ср}}. \quad (6)$$

С учетом коэффициента скольжения  $i = \frac{W_K}{U_{cp}}$ , получим,

$$V_{ж} = \frac{LF_c H}{iU_{cp}} \quad (7)$$

Используя выражение (10), выразим газосодержание через технологические параметры процесса:

$$\varphi = \frac{V_c - V_{ж}}{V_c} = 1 - \frac{V_{ж}}{V_c} = 1 - \frac{L}{iU_{cp}}. \quad (8)$$

В том случае, если часть жидкости, поступающей в газожидкостный слой, находится в состоянии барботажа, количество капель в системе определяется с учетом показателя относительного брызгоуноса  $e$  определяется по выражению

$$n_K = \frac{LeF_c H}{AiU_{cp} d_K^3}, \quad (9)$$

где  $A$  – коэффициент формы капель;  $d_K$  – диаметр капель жидкости, м.

В результате теоретических исследований определена взаимосвязь между количеством фазовых ячеек и газосодержанием двухфазного слоя в интенсивных барботажных режимах, создающихся на тарелках колонных аппаратов и систем с газовой дисперсной фазой.

Для оценки способности оборудования нести нагрузку по газу предложено использовать F- фактор скорости, являющийся произведением фактической скорости газа в расчете на полное сечение колонны ( $U$ , м/с) на корень квадратный из фактической плотности газа ( $\rho_{г}$ , кг/м<sup>3</sup>) в колонном аппарате:

$$F = U \sqrt{\rho_{г}}. \quad (10)$$

Использование F- фактора скорости для оценки интенсивности работы контактных устройств газожидкостных разделителей (сепаратора и дегазатора) и массообменных колонных аппаратов (абсорбера и десорбера) позволяет применять результаты лабораторных исследований в промышленности.

Третья глава «Создание устройств в газожидкостной сепарации для очистки природного газа» посвящена созданию устройств газожидкостной сепарации в установках подготовки и очистки природного газа.

Эффективность работы сепарационного оборудования во многом определяет надёжность работы оборудования установок предварительной подготовки природного газа и очистки газа от кислых компонентов, а также обуславливает объём их эксплуатационных и энергетических затрат.

На основе теоретического анализа факторов, влияющих на эффективность процесса осаждения капель жидкости на цилиндрической

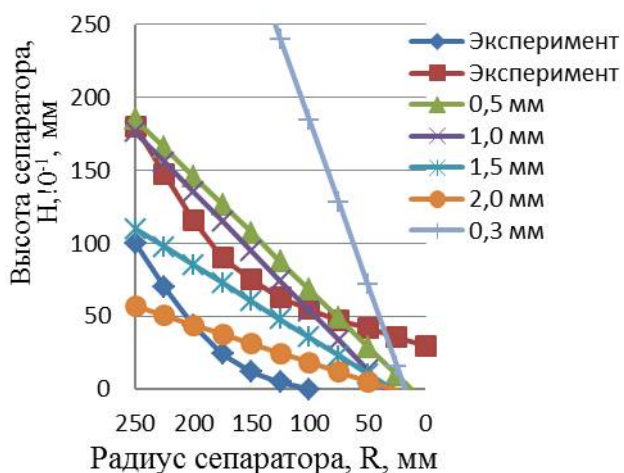
поверхности, установлено, что при постоянных физических параметрах несущей среды и капель жидкости коэффициенты столкновения и разделения, в основном, зависит от скорости несущего газового потока.

С целью определения влияния гидродинамических, геометрических и эксплуатационных параметров на эффективность сепарации капель проведены исследования в лабораторных условиях. Разработана установка, состоящая из камеры смешения с прямоточным движением фаз и встроенный сепаратор с осевым завихрителем съемного типа. Это позволило проводить исследования в сепараторе с завихрителем и без него.

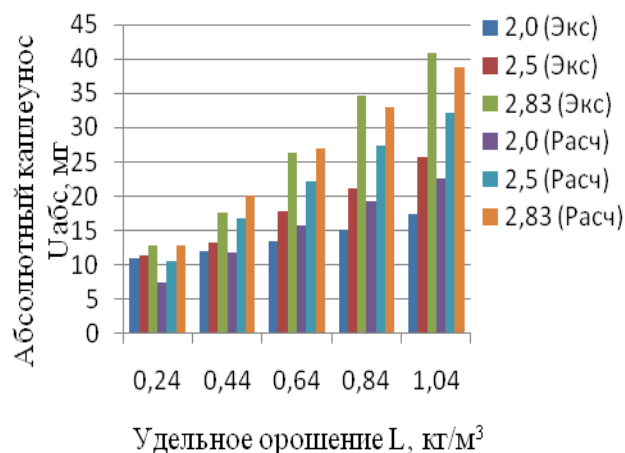
Для определения остаточного каплесодержания воздуха на выходе из сепаратора использован весовой метод при помощи аналитических весов. Для определения поля распределения капельной влаги по объему сепаратора использован специальный прибор, принцип действия которого основан на наличии электропроводности воды и отсутствии электропроводности в воздухе. Прибор подключен к датчику, способному перемещаться по сечению и высоте сепаратора. Положение датчика фиксируется по шкале.

Исследования по определению содержания жидкости проводили при скоростях в свободном сечении сепаратора  $2 \div 3$  м/с, т. е. при факторе скорости  $F = 2,3 \div 3,2$ , в различных сечениях по всей высоте сепаратора.

Нагрузки по жидкости варьировали в диапазоне  $0,24 \div 1,04$  кг/м<sup>3</sup>. По полученным результатам каплесодержания можно судить о распределении газожидкостного слоя по сечениям сепаратора.



**Рис. 1. Распределение капель жидкости по сечениям сепаратора при  $F=2,8$  и  $L=0,64$  кг/м<sup>3</sup>**



**Рис. 2. Зависимость абсолютного каплеуноса от удельного орошения**

Установлено, что с увеличением фактора скорости газожидкостного потока в свободном сечении сепаратора в пределах  $F = 2,8 \div 3,2$  наблюдается наличие капель жидкости на расстояниях  $180 \div 220$  мм от завихрителя во всех сечениях сепаратора. С увеличением нагрузки по жидкости при постоянной скорости, высота осаждения основной массы капель снижается и составляет  $60 \div 30$  мм от завихрителя. Из этого следует, что с увеличением скорости наблюдается рост уноса капель из сепаратора и требуется увеличить высоту

сепарационного пространства или установить на пути движения мелких капель дополнительные отбойные устройства.

Разработанная нами математическая модель позволяет провести расчет траектории капель заданного размера в поле скоростей закрученного несущего газового потока сепаратора – в пределах исследованных геометрических соотношений размеров. Результаты расчетов по формулам модели представлены на рис.1 и подтверждаются экспериментальными данными.

Из графика видно, что траектории всех частиц диаметром  $0,5 \div 3,0$  мм оканчиваются на стенках сепаратора. Капли размером  $0,5 \div 0,3$  мм требуют больших высот сепаратора. Капли размером  $\approx 0,3$  мм и менее выносятся из сепаратора, поскольку не достигают его стенок даже при достаточно большой высоте.

На основании результатов экспериментальных и теоретических исследований появилась возможность усовершенствовать форму и конструкцию сепараторов, эффективно расположить отбойные устройства и увеличить коэффициенты столкновения и разделения.

Предложен вновь разработанный сепаратор шаровой формы, эффективно работающий в двух режимах: режиме сепарации и режиме защиты от залпового выброса жидкости. Специфическая форма приемной камеры обеспечивает безударный прием и слив поступающей жидкости и отделение газа за счет особого динамического движения. Кроме того, благодаря сферической форме толщина стенки и масса сепаратора уменьшаются в 2 раза по сравнению с цилиндрическим корпусом.

С целью разработки сепаратора для глубокой очистки природного газа нами проведены исследования в прямоточном сепараторе диаметром  $D_c = 500$  мм и высотой  $H_c = 680$  мм с цилиндрическими вставками при скоростях  $2 \div 3$  м/с и удельном орошении  $0,24 \div 1,04$  кг/м<sup>3</sup>. В процессе исследования находили оптимальные геометрические размеры (диаметр и высоту) расположения отбойных устройств – цилиндрических вставок над завихрителем.

Зависимость абсолютного каплеуноса от удельного орошения для оптимальных значений соотношений геометрических размеров при различных значениях F-фактора скорости в сепараторе с вставкой приведена на рис.2. Максимальное значение каплесодержания отходящего воздуха соответствует максимальным значениям рабочих параметров и составляет не более 40 мг/м<sup>3</sup>. Для сравнения отметим, что для сепаратора без вставки каплесодержание достигало 120 мг/м<sup>3</sup>.

В результате опытов выявлена тенденция роста сопротивления с увеличением скорости в свободном сечении и удельного орошения. Максимальные значения гидравлического сопротивления, соответствующие максимальной скорости ( $U = 2,85$  м/с), составили: для сепаратора с осевым завихрителем  $\Delta P = 610$  Па; для сепаратора со вставками -  $\Delta P = 660$  Па.

Зависимость абсолютного каплеуноса от рабочих параметров, полученных в результате обработки опытных данных по сепарации капель,

для сепараторов со вставками можно описать эмпирическим уравнением в следующем виде:

$$U_{abc} = 7,61U^{1,536}L^{0,75}\left(\sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_0}}\right)^{0,768}, \quad (11)$$

где  $U_{abc}$  - абсолютный каплеунос, мг/м<sup>3</sup>;  $L$  - удельное орошение, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  - плотность газа в нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_1$  - плотность газа в рабочих условиях, кг/м<sup>3</sup>;

Для изучения диапазона сепарирующей возможности сепаратора со вставками были проведены исследования с малыми плотностями орошения. Эмпирические уравнения, описывающие зависимости каплеуноса от скорости потока при малых значениях (0,05÷0,20 кг/м<sup>3</sup>) удельного орошения в сепараторе со вставками имеют следующий вид:

$$U_{abc} = 24,06U_1^{0,097}L^{0,69}\left(\sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_0}}\right)^{0,049}. \quad (12)$$

Результаты обработки экспериментальных данных показывают, что предложенная конструкция сепаратора может работать с высокой эффективностью в широком диапазоне рабочих параметров.

Приведены результаты исследования центробежного сепарационного элемента с завихрителем, служащего в качестве контактного элемента встроенного сепаратора массообменных колонн и сепараторов тонкой очистки природного газа. Установлено, что процесс сепарации наиболее эффективно протекает в новой конструкции центробежного сепарационного элемента с завихрителем с диаметром патрубка 100 мм, когда угол атаки лопатки на входе составляет 70 -75°, а угол перекрытия лопаток находится в пределах 6-10°. Сепаратор может эффективно работать при  $F = 6,6\div 17,2$ , что при атмосферном давлении соответствует скоростям газа,  $U_{\Gamma} = 1,3\div 3,2$  м/с. Нагрузка по жидкости составляет до 0,4 л/м<sup>3</sup> газа. При указанных параметрах сепаратор обеспечивает каплесодержание на выходе из аппарата в пределах 7÷11 мг/м<sup>3</sup>.

Каплесодержание газа на выходе из сепаратора  $K_2$  (мг/м<sup>3</sup>) можно определить по эмпирической формуле:

$$K_2 = 10,56 + \exp[3,023 + 0,191 F + (-1,409) H_1], \quad (13)$$

где  $H_1 = H/D_c$  - относительная высота сепаратора;  $H$  - общая высота сепаратора, м;  $F$  - фактор скорости.

Медианный диаметр капель  $d_{50}$ , мкм уносимых газовым потоком, определяют по эмпирической формуле:

$$d_{50} = 1,36 + \exp[1,626 + (-0,013) F + (-0,127) H_1]. \quad (14)$$



В четвертой главе «Исследование гидродинамики массообменных тарелок колонных аппаратов установок для очистки природного газа» приведены результаты исследований гидродинамических параметров ситчатой тарелки с двумя зонами контакта фаз со свободным сечением 20 % с отверстиями на полотне тарелки  $d_{отв} = 9,4$  мм применительно к массообменным аппаратам – абсорберу и десорберу установки сероочистки природного газа. Предлагаемая массообменная тарелка отличается большим диапазоном рабочих нагрузок по газу и жидкости, малым гидравлическим сопротивлением и более высокими показателями по массообменным характеристикам. Эти тарелки могут работать при значениях F- фактора 2÷3. Отметим, что эксплуатирующиеся на газоперерабатывающих заводах тарелки работают при значении  $F \leq 1$ .

Конструктивно тарелка представляет собой ситчатое полотно с центральным переливным устройством (рис. 3) . При работе раствор амина движется сверху вниз и происходит барботаж в отверстиях под действием кинетической энергии газа. При переливе раствора создается «жидкостной занавес», что позволяет дополнительно контактировать жидкости с газом. Внутри переливного стакана установлен пеногаситель, изготовленный из уголков. Пеногаситель служит для отвода газа и тем самым способствует увеличению пропускной способности переливных устройств.

Опыты были проведены при скоростях газа в свободном сечении колонны от 0,8 до 2,5 м/с, что соответствует F-фактору 1,0÷2,9. Диапазон плотностей орошения меняли от 20 до 75 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч, что соответствует нагрузке на длину порога от 5,1 до 19,1 м<sup>3</sup>/м·ч.

При исследованиях определены газонаполнения по высоте барботажного слоя, брызгоунос и гидравлическое сопротивление тарелок в диапазоне рабочих нагрузок по газу и жидкости и диапазон устойчивой работы тарелки.

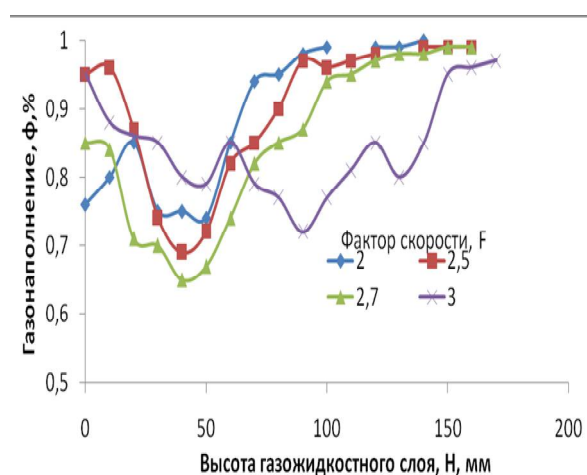


Рис. 3. Зависимость газонаполнения от высоты газожидкостного слоя при плотности орошения  $L=30$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч

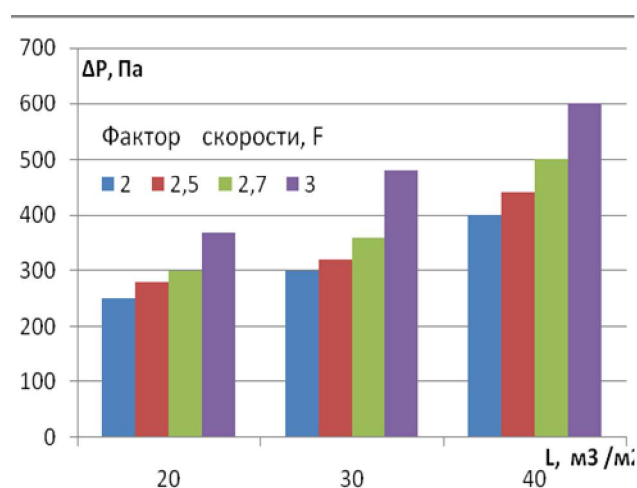


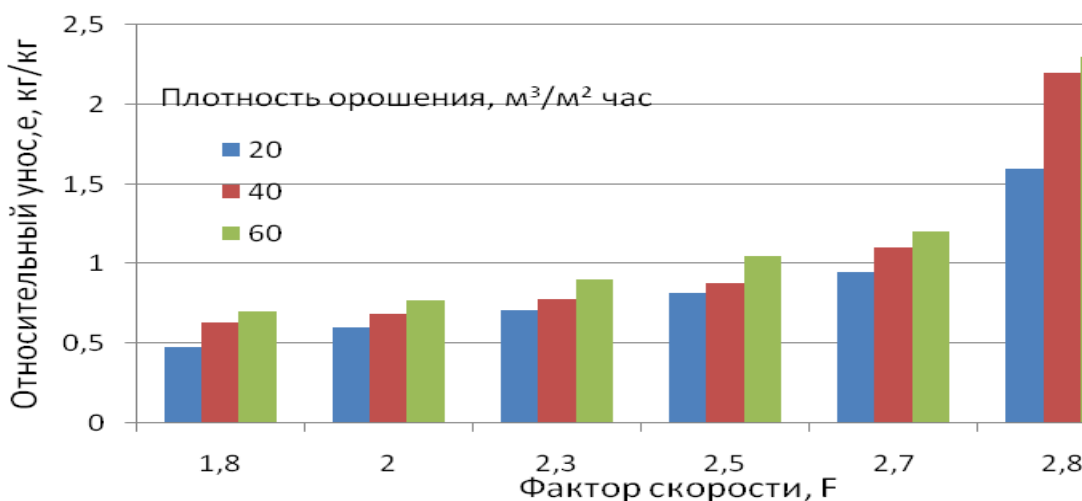
Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления от фактора скорости газа

На рис. 3, в качестве примера иллюстрируются закономерности изменения газонаполнения при различных значениях F- фактора. По графикам виден рост газонаполнения при низких значениях плотности орошения, когда кинетическая энергия газа преобладает над потенциальной энергией жидкости и находится в пределах  $0,7 \div 0,8$ . Полученные зависимости газонаполнения от рабочих параметров показывают, что рабочий режим тарелки со свободным сечением 20% достигает до  $F=2,84$ .

На каждом режиме проводились измерения перепада давления с U-образным дифференциальным манометром водяного заполнения. Из рис.4 видно, что с увеличением объемного расхода жидкости на единицу массообменной тарелки, т.е. плотности орошения, наблюдается заметный рост гидравлического сопротивления. При этом установлено, что увеличение скорости газа не приводит к резкому росту исследуемого параметра.

Для экспериментального определения уноса при работе в системе «воздух-вода» была использована колонна диаметром 300 мм, снабженная двумя ситчатыми тарелками с двумя зонами контакта, свободное сечение которых изменяли в диапазоне  $F_{св}=10 \div 20$  %. Толщина тарелок составляла 6 мм, диаметр отверстия – 9,4 мм, расстояние между тарелками - 500 мм.

Для улавливания капель, уносящихся через верхнюю часть колонны, использовали циклон, установленный на линии выхода воздуха. Унос выражали через отношение количества унесенной жидкости к количеству подаваемой, т.е. относительный унос, в кг/кг.



**Рис.5. Зависимость удельного уноса  $e_{уд}$  от фактора скорости  $F_{\phi}$  при различных значениях плотности орошения ( $F_{св.}=20$  %)**

На рис.5 приведена зависимость относительного уноса капель с тарелки со свободным сечением 20 % от F- фактора скорости при различных плотностях орошения. С увеличением плотности орошения относительный унос и предельные скорости газа уменьшаются вследствие роста слоя жидкости на тарелке и более быстрого захлебывания аппарата. В условиях

проведенных опытов предельные скорости газа составляли 2,4÷2,6 м/с (F=2,7÷2,9).

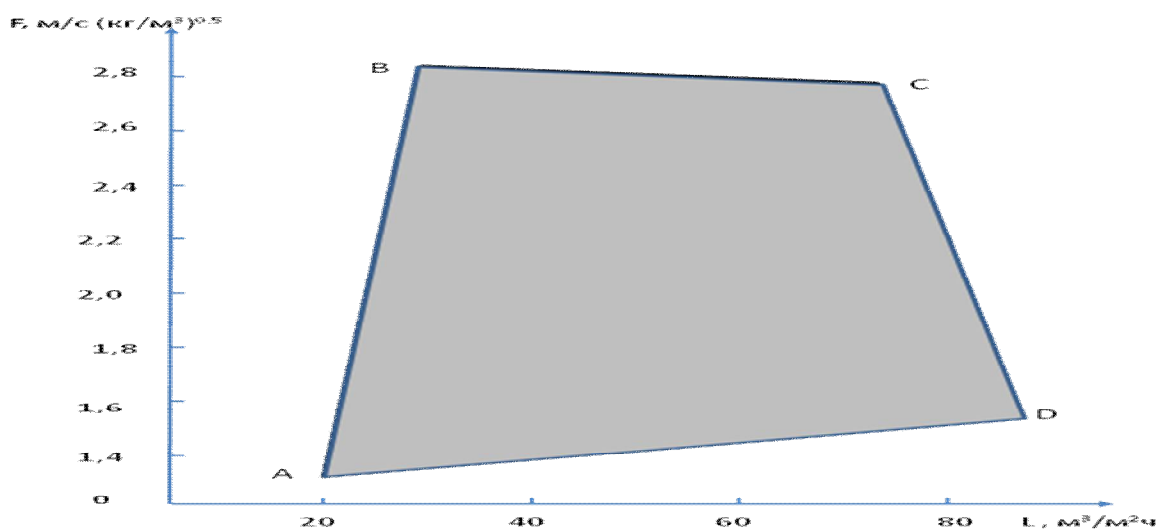
В результате обработки экспериментальных данных нами получена зависимость, позволяющая определять относительный унос жидкости в зависимости от технологических параметров процесса и свободного сечения тарелки:

$$e = 0,75 * 10^{-3} U^{1,8} L^{-1,3} F_{cu}^{-2,5}. \quad (15)$$

Уравнение (15) справедливо для  $H_T = 500 \div 600$  мм,  $F_{cb} = 10 \div 20$  %,  $L = 20 \div 75$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч,  $U = 0,8 \div 2,5$  м/с.

Для оценки возможности эффективного функционирования колонны при различных нагрузках по газу и жидкости обычно используют область ее устойчивой работы, которая зависит главным образом от типа и конструкции контактного устройства.

Диапазон устойчивой работы тарелок определяется сочетанием нагрузок по газу и жидкости. На рис. 6 показана область устойчивой работы исследованной нами тарелки, соответственно, полученная путем обобщения значительного объема экспериментальных данных. График построен в координатах «F-фактор скорости - L – плотности орошения».



**Рис. 6. Область устойчивой работы ситчатой тарелки с двумя зонами контакта со свободным сечением 20 %**

Максимально допустимый F-фактор скорости газа в колонне (линия BC) определяется величиной уноса жидкости. Линия AD определяет минимально допустимые скорости газа, соответствующие 10 % провалу жидкости. Справа область устойчивой работы ограничена линией CD, которая соответствует максимальным нагрузкам по жидкости, соответствующим 85 % режима захлебывания. Линия AB определяет минимальные нагрузки по жидкости, при которых на тарелке обеспечивается устойчивый барботажный слой. Нагрузки по газу и жидкости, соответствующие координатам любой точки

внутри области, обеспечивают устойчивое функционирование аппарата.

Из графика видно, что рабочий диапазон тарелки со свободным сечением 20 % по нагрузке: минимальная рабочая скорость газа 1,2 м/с ( $F_{\min}=1,36$ ) - максимальная рабочая скорость газа 2,5 м/с ( $F_{\max}=2,84$ ). Следовательно, диапазон изменения нагрузки по газу, при котором сохраняется работоспособность тарелки, равен  $F_{\max} / F_{\min} = 2,1$ . Нагрузка по жидкости достигает плотности орошения  $75 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ , что соответствует нагрузке на длину порога  $19,2 \text{ м}^3/\text{м}\cdot\text{ч}$ .

Таким образом, в результате исследования определены оптимальные гидродинамические показатели и выявлена область устойчивой работы тарелки для проведения абсорбционных и десорбционных процессов с высокой интенсивностью протекания массообменных процессов в малогабаритных технологических аппаратах.

В пятой главе **«Исследование и разработка дегазатора насыщенных аминовых растворов для сероочистой установки природного газа»** приведены результаты исследования процесса дегазации насыщенных растворов, даны гидродинамические характеристики разработанного дегазатора аминового раствора и предложены уравнения для определения скорости ламинарного и турбулентного всплывания пузырьков газа полученные на основе теоретических предпосылок процесса дегазации насыщенных растворов.

В промышленных установках подготовки газового конденсата, сероочистки и других объектах подготовки насыщенных растворов применяются дегазаторы без внутренних конструктивных элементов (пустотелые), и дегазация раствора происходит лишь с поверхности зеркала жидкости. С другой стороны, в мировой практике для повышения эффекта дегазации жидкостной смеси широко применяются конструктивные элементы в виде завихрителей, пластин или распределительных устройств.

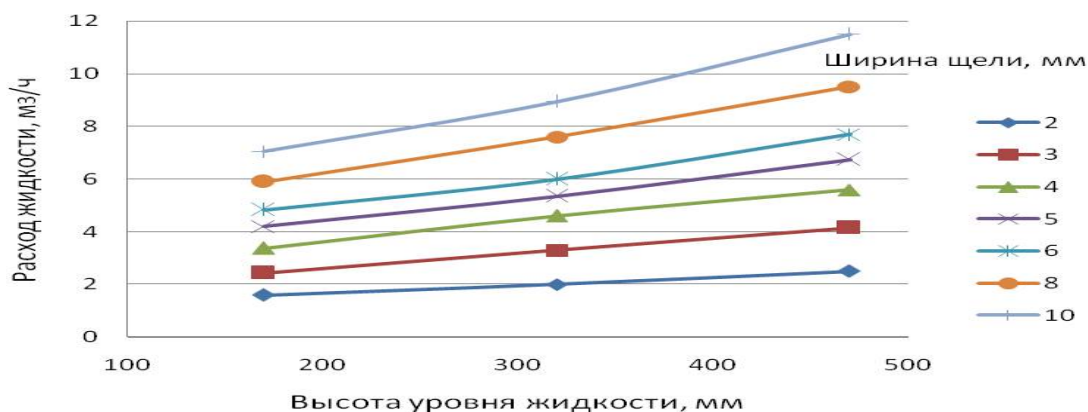
С целью создания распределительных устройств для эффективного проведения процесса дегазации проведены экспериментальные исследования в системе «воздух – вода». Эксперименты осуществлены в двух режимах. В первом режиме, при фиксированном уровне жидкости в переливном стакане – заданном напоре жидкости, - определяли пропускную способность щели и газонаполнение смеси по высоте переливного устройства. Во втором режиме нагрузки по жидкости меняли от нуля до наступления режима захлебывания и определяли гидравлическое сопротивление.

Исследования проводились при скоростях газа в свободном сечении аппарата  $0,4 \div 1,2$  м/с, соответствующего F-фактору  $0,5 \div 1,4$ , и при плотности орошения  $20 \div 50 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ . В опытах использовали ситчатые тарелки со свободным сечением 6 %; при этом скорость газа в отверстиях тарелки с диаметром  $\varnothing 4$  мм, находилась в диапазоне  $7 \div 20$  м/с.

Использование ситчатой тарелки обусловлено необходимостью создания барботажного переливного слоя, способствующего обеспечению перелива жидкости через переливной стакан, подаваемой на тарелки аппарата. При

этом появляется возможность изучать влияние подпора газа на стекающую жидкостную пленку. По результатам опытов установлена взаимосвязь между основными рабочими параметрами пленкообразователя жидкости.

Исследования пропускной способности переливного стакана с различной шириной щели позволили определить зависимость данного параметра от высоты уровня жидкостного слоя в переливном стакане. По графикам (рис. 7) не трудно увидеть, что с увеличением ширины щели при постоянных



**Рис. 7. Изменение высоты уровня жидкости в переливном стакане при различных значениях ширины щелей в зависимости от расхода жидкости**

значениях высоты уровня жидкости пропускная способность щели увеличивается. Причем, при ширине щели 2-6 мм рост при всех уровнях медленнее, чем при ширине щели 6-8 мм. Полученные данные свидетельствуют также о влиянии подпора газа на пропускную способность щелей. При малых значениях высоты уровня жидкости разность давления газа до и после переливного стакана (равная гидравлическому сопротивлению тарелки) препятствует течению. Чем больше высота уровня жидкости, тем интенсивнее истечение жидкости через щель. Данное явление влияет на коэффициент расхода жидкости, который определяли по результатам исследований.

С увеличением технологических параметров – нагрузки по газу и жидкости - наблюдается рост гидравлического сопротивления. При этом можно отметить, что изменение плотности орошения влияет на рост гидравлического сопротивления менее активно, нежели скорости газа. Например, при скорости газа 0,4 и 0,6 м/с при различных значениях плотности орошения гидравлическое сопротивление растет практически параллельно, при скоростях 0,8 и 1,0 м/с разность значений гидравлического сопротивления существенна.

Опытами установлены значения газонаполнения газожидкостного потока по высоте барботажного слоя. Выявлено, что в исследованных диапазонах рабочих параметров высота жидкостного слоя с газонаполнением до 0,86, находится ниже 300 мм. Исходя из этого, максимальную высоту уровня жидкости над щелью рекомендуем принимать

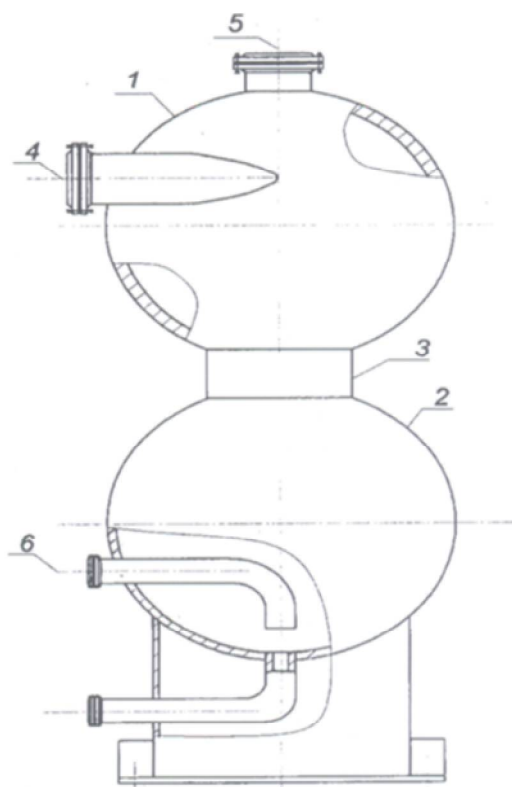
300 мм. Минимальная высота жидкости в переливном стакане должна быть не менее 50 мм.

По результатам обработки полученных данных выведены эмпирические уравнения для расчета коэффициента расхода щели и путем сравнения результатов исследований подтверждена их адекватность.

На основании приведенного исследования по определению оптимальных рабочих параметров распределителя жидкости и схемы взаимодействия пленки жидкости с газовым потоком разработан дегазатор насыщенного раствора с развитой поверхностью дегазации.

В шестой главе **«Промышленные испытания и внедрение в производство новых аппаратов для комплексной очистки природного газа»** предложена модернизированная технологическая схема сероочистной установки для реализации эффективной очистки природного газа от жидкостных и кислых компонентов.

Приведены конструктивные схемы и дано описание разработанных и защищенных патентами Республики Узбекистан конструкций контактных устройств и аппаратов для комплексной очистки природного газа от жидкостных и газовых компонентов.



1- приемная камера; 2- камера накопительная; 3-патрубок соединения; 4 - штуцер входа газа; 5-штуцер выхода газа; 6 -штуцер слива жидкости.

**Рис. 8. Сепаратор газа**

Сепаратор первичной очистки природного газа от капель и залпового выброса жидкости (рис. 8) состоит из корпуса, состоящего из двух камер - приемной 1, сепарационной шарообразной формы и накопительной 2, соединенных между собой патрубком 3, патрубка, тангенциально установленного в штуцере 4 и служащего для ввода в приемную камеру газожидкостной смеси. В верхней части сепарационной камеры 1 расположен вертикальный патрубок 5 для отвода отсепарированного газа. В нижней части накопительной камеры 2 расположен штуцер 6 для сбрасывания жидкости в дренажную емкость, а также штуцер 7 для удаления накопившихся твердых осадков.

Конструкция разработанного сепаратора для глубокой очистки природного газа представлена на рис.9. Сепаратор состоит из трех функциональных частей. Влажный газ входит через штуцер (А) и при помощи расположенного внутри направляющего лотка движется по полушаровому днищу

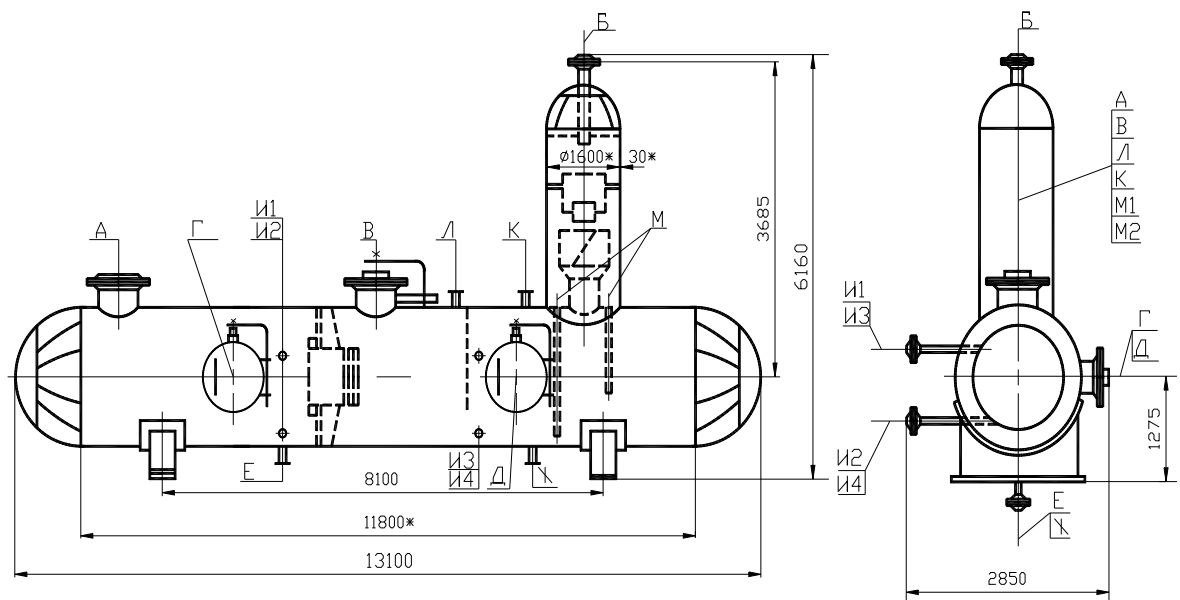
аппарата. Отделение твердых частиц и крупных капель жидкости в этой зоне происходит за счет гравитационного и центробежного эффектов. Затем через окно в перегородке аппарата газ поступает во вторую секцию, пройдя предварительно сетчатый коагулятор частиц. Укрупненные капли осаждаются во второй зоне по инерционно-гравитационному механизму. В третьей зоне происходит окончательная очистка газа от свободной влаги. Конструктивно эта часть аппарата представляет собой центробежный сепаратор с осевым завихрителем и внутренними цилиндрическими вставками. Освобожденный от капельной влаги газ через штуцер (Б) поступает на дальнейшую обработку.

Дегазатор (рис. 10), предназначенный для дегазации насыщенного аминного раствора, представляет собой горизонтальный аппарат с установленным внутри пленочным распределителем жидкости. Экспанзер состоит из корпуса (поз.1), представляющего собой горизонтальный цилиндрический сосуд с эллиптическими днищами и расположенным внутри распределителем жидкости (поз.2), установленным на балках (поз.3). Распределитель жидкости создает шесть пленочных зонтов, из которых происходит интенсивная дегазация жидкости.

Абсорбер представляет собой вертикальный тарельчатый колонный аппарат с модифицированными ситчатыми тарелками с двумя зонами контакта. В абсорбере сорбция осуществляется путем контакта газа с жидкостью в пленке и в барботажном слое. В верхней части абсорбера устанавливается каплеотделитель, состоящий из цилиндрических центробежных элементов с завихрителем.

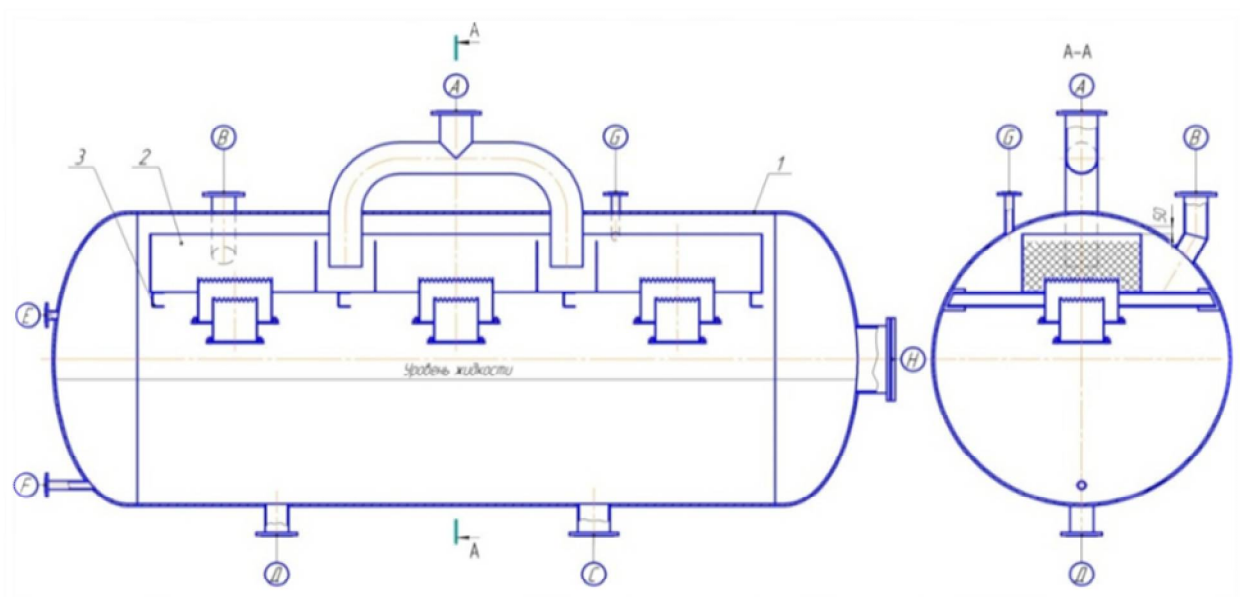
Исследование скорости абсорбции  $H_2S$  и  $CO_2$  из природного газа водным раствором метилдиэтиламина (МДЭА) проводили на 12-сероочистном блоке четвертого цеха Мубарекского ГПЗ.

Эксперименты производили в промышленных условиях на абсорбере диаметром 2600 мм. В качестве массообменного устройства принята конструкция модифицированной ситчатой тарелки с двумя зонами контакта в количестве 18 шт. На каждой тарелке установлено 5 переливных устройств диаметром 400 мм; высота порога перелива принята 50 мм. Общая длина порогов перелива  $l = 6,28$  м. Максимальная расчетная нагрузка на перелив  $q = 63,1 \text{ м}^3/\text{м} \cdot \text{ч}$ . В переливах установлены пеногасящие устройства, величивающие пропускную способность тарелки при вспенивании жидкости. При испытании модернизированного абсорбера фактор скорости варьировали в диапазоне  $F = 1 \div 2,4$ . Установлено, что с повышением фактора скорости  $F$  при постоянном значении удельного орошения коэффициент селективности извлечения сероводорода  $K_C$  растет, при  $F = 0,7$  содержание  $H_2S$  в очищенном газе составляет  $14 \text{ мг}/\text{м}^3$ , при  $F = 2,4$  содержание  $H_2S$  составило  $4,7 \text{ мг}/\text{м}^3$  газа. Это явление, на наш взгляд, объясняется тем, что при высоких скоростях увеличивается поверхность и время контакта фаз и, как результат повышение эффективности селективной очистки.



А – штуцер входа газа; Б – штуцер выхода газа; В, Г, Д – люки; Е – дренаж, Х – штуцер для вывода конденсата; И<sub>1,2,3,4</sub> – штуцеры для указателя уровня; К – штуцер для предохранительного клапана; Л – штуцер для отбора проб; М<sub>1,2</sub> – слив жидкости

**Рис. 9. Сепаратор природного газа**



1-корпус дегазатора, 2- распределительное устройство, 3-балки. штуцеры: А – вход аминового раствора, В - выход экспанзерных газов, С- выход раствора, D – для дренажа, F, E –для уровнемера, G – для манометра; H - люк для обслуживания

**Рис. 10. Дегазатор насыщенного раствора**

Испытанный абсорбер до модернизации был снабжен ситчатыми тарелками со свободным сечением 5% в количестве 18 шт. и по проекту имел производительность по газу 47 тыс. м<sup>3</sup>/ч. В результате замены массообменной тарелки, производительность абсорбера по газу достигает 65 тыс. м<sup>3</sup>/ч, и это позволила дополнительно переработать серосодержащий природный газ в объеме 144000 тыс. м<sup>3</sup>/год.



В результате использования разработанных высокоинтенсивных контактных элементов и аппаратов в промышленных условиях в УДП «Мубарекский ГПЗ», УДП Газлинефтегаздобыча» и в других предприятиях достигнуто увеличение единичной мощности, уменьшение габаритных размеров и металлоемкости оборудования установок подготовки и очистки природного газа.

### **Заключение**

По результатам проведения комплексных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью создания высокоэффективных аппаратов для очистки природного газа от жидкостных и кислых компонентов, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Проанализированы закономерности движения газожидкостных потоков применительно к условиям технологических процессов, протекающих в аппаратах установок очистки природного газа.

2. Разработана математическая модель и программно реализован вычислительный алгоритм расчета для определения траекторий движения капель жидкости по свободному сечению сепаратора в системе с жидкостной дисперсной фазой.

3. Вскрыта взаимосвязь между количеством фазовых ячеек и газосодержанием двухфазного слоя в интенсивных барботажных режимах, создаваемых на тарелках колонных аппаратов и систем с газовой дисперсной фазой; предложено принимать F-фактор скорости в качестве показателя интенсивности работы аппаратов и контактных устройств.

4. Разработан и защищён патентом Республики Узбекистан сепаратор газа первичной очистки природного газа (№ IAR 03763, 2008 г.), работающий в режиме сепарации и залповых выбросов жидкости. Металлоёмкость аппарата шаровой формы по сравнению с существующими горизонтальными сепараторами цилиндрической формы в 2 раза меньше и при этом сохраняется высокая эффективность очистки газа от свободной влаги.

5. Разработана и защищена патентом РУз рациональная конструкция центробежного сепаратора с радиально расположенными дополнительными конструктивными элементами в виде цилиндрических вставок (№ IDR 04591, 2001г.). Разработанный сепаратор с осевым завихрителем предназначен для глубокой очистки природного газа от жидкостных компонентов в установках подготовки и очистки природного газа.

6. Разработана новая конструкция центробежного сепарационного элемента с завихрителем для встроенных сепараторов массообменных колонн и сепараторов тонкой очистки природного газа, состоящих из профилированных лопаток, изогнутых по радиусу и установленных на центральном сердечнике; при этом угол атаки лопатки на входе составляет 70-75°, а угол перекрытия лопаток находится в пределах 6-10.°

7. По результатам экспериментальных и промышленных исследований ситчатой тарелки с двумя зонами контакта со свободным сечением 20 % получены новые данные по газонаполнению барбатажного слоя, гидравлическому сопротивлению и каплеуносу в широком диапазоне изменения нагрузок по газу и жидкости; определена область устойчивой и эффективной работы исследованной конструкции массообменной тарелки, получены эмпирические уравнения для расчета оптимальных гидродинамических параметров и выполнено сравнение экспериментальных и расчетных данных, свидетельствующие адекватности полученных уравнений.

8. Показано, что модифицированной абсорбер с тарелками нового типа позволяет увеличить производительность аппарата в 1,4 раза относительно проектного уровня; эффект достигается за счет интенсификации процесса абсорбции при сохранении высоких показателей качества (не более  $7 \text{ мг/м}^3$   $\text{H}_2\text{S}$  в очищенном газе) очистки природного газа.

9. Разработан и защищен патентом РУз дегазатор насыщенных растворов с пленкообразователем жидкости (№IAR 04060, 2009 г.). По сравнению с существующими конструкциями в предлагаемом аппарате металлоемкость снижается в 1,5 раза и при этом поверхность дегазации увеличивается на 33%, что является показателем высокой эффективности предложенного аппарата для дегазации насыщенного аминного раствора.

10. Получены эмпирические уравнения и обоснованы инженерные методы процессно-технологического расчета, позволяющие проектировать вновь разрабатываемые сепараторы первичной и глубокой очистки, колонные аппараты с массообменными тарелками с двумя зонами контакта со свободным сечением 20% и встроенным завихрителем, а также дегазаторы насыщенных растворов с максимальной эффективностью - в зависимости от технологических параметров эксплуатации.

11. Разработана и предложена технологическая схема сероочистной установки с перспективными типами аппаратов для реализации эффективной технологии очистки природного газа.

12. Фактический совокупный экономический эффект от внедрения новых высокоэффективных аппаратов, за счет повышения производительности аппаратов, улучшения качества товарного газа, уменьшения металлоемкости и энергоемкости оборудования, а также с учетом экономии валютных средств и транспортных затрат составил более 700 миллионов сумов.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD SCIENTIFIC DEGREE  
OF DOCTOR OF SCIENCES 16.07.2013.T.08.01 AT  
TASHKENT CHEMICAL-TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY  
INSTITUTE OF GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY**

**RAKHMONOV TOYIR**

**CREATION OF HIGHLY EFFECTIVE DEVICES FOR COMPLEX  
PURIFICATION OF NATURAL GAS**

02.00.08 – Chemistry and technology of oil and gas  
(technical science)

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION**

**Tashkent – 2015**

**The subject of the doctoral dissertation in registered Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number 30.09.2014/B2014.5.T271.**

Doctoral dissertation is carried out at the Tashkent state technical university and Institute of General and Inorganic Chemistry.

Abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English) is placed on the web page to the address [www.tgtu](http://www.tgtu) and information-education portal ZIYONET to the address [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)

**Scientific consultant:**

**Salimov Zokirzhon Salimovich**  
doctor of technical sciences, professor,  
academician of the Academy of Sciences  
of the Republic of Uzbekistan

**Official opponents:**

**Ikramov Abduvahob Ikramovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Khamidov Bosit Nabievich**  
doctor of technical sciences, professor

**Li Robert Chanirovich**  
doctor of technical sciences

**Leader organization:**

**Tashkent branch of the Russian State  
University of Oil and  
Gas named I.M Gubkin**

Defense will take place « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 at «\_\_\_» at the meeting of scientific council number 16.07.2013.T.08.01 at Tashkent chemical-technological institute to address: 32 Navoi str., Tashkent city, 100011 Uzbekistan, Ph.: (+99871) 244-79-20, Fax: (+99871)244-79-17, e-mail: [tkti@mail.uz](mailto:tkti@mail.uz).

The doctoral dissertation is registered at Information - resource center of Tashkent chemical-technological institute № \_\_. It is possible to review it in the IRC (32, Navoi str., Tashkent city, 100011 Uzbekistan, Ph./Fax: (+99871) 244-79-20).

Abstract of dissertation sent out on «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 year.  
(mailing report No. \_\_\_ dated \_\_\_\_\_ 2015).

**S. M. Turobjonov**  
Chairman of scientific council on award of  
scientific degree of doctor of sciences,  
d.t.s., professor

**A.S. Ibadullaev**  
Scientific secretary of scientific council on  
award of scientific degree of the doctor  
of science d.t.s., professor

**G. R. Rahmanberdiev**  
Chairman of a scientific seminar under  
scientific council on award of an academic  
degree of doctor of sciences, d.ch.s., professor

## **Introduction (Annotation of doctoral dissertation)**

**Topicality and demand of the subject of dissertation.** Prospective oil-and-gas content of subsoil, the scientific technical potential, huge know-how, all combined create quite favorable prerequisites for further essential development of the oil and gas industry. «Uzbekneftegaz» National Holding Company developed and still successfully carries out large-scale activities at intensive development of oil and gas complex of the Republic of Uzbekistan by implementing and introducing in production of novel equipment, materials, modern innovative technologies, speeding up renovation and replacement of old equipment, and by implementing big investment projects jointly with leading foreign companies. In parallel a plethora of significant social tasks are solved. Development of this program will allow to significantly strengthen fuel and energy independence of our country.

The relevance of the thesis is characterized by the fact that the issue of quality and new products from natural gas, due to the demanding attention tasks of creating a high-performance devices and contact devices, enhancing technological and mechanical reliability of the equipment, major reconstruction and modernization of processing units, as well as improving the environmental situation at the facilities purification and processing of natural gas.

With the development of new technologies for complex preparation and purification of natural gas enterprises of the country in the global economic and environmental crisis, the question becomes relevant reduction of material equipment raskhodivaniya economical raw materials and energy. Main technological machines and equipment industry, imported from foreign countries, have fulfilled their service life and require replacement. In accordance with the program of deepening of localization of production of finished products in 2011-2013, approved 29 July 2011 year, the Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan RP-1590 machinery enterprises to joint-stock company "Uzneftegazmash" task will expand the production of equipment for the preparation and processing of hydrocarbons.

Under these circumstances, the creation of high-performance devices and contact devices for intensification of technological processes of complex cleaning of natural gas from the liquid and acid components occurring in gas-liquid systems, is relevant and useful task.

**Conformity of research on priority directions on development of science and technologies of the Republic of Uzbekistan.** This work is performed in accordance with the priority directions for the development of science and technology in the Republic of Uzbekistan: №3-«Creation of high-tech products and development of highly effective methods of exploration, extraction of mineral resources and advanced processing of mineral raw materials and secondary resources for the year 2007-2011».

**Review of international scientific research devoted the theme of dissertation.** Theoretical and practical research on the purification of hydrogen sulfide absorption of natural gas being large firms, companies, research centers and universities in foreign countries, such as the «Sulzer» (Sweden), «Koch - Glitsch» (Italy), «Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH» (Germany), «Norton Chemical Process Products Corporation» (USA) CKBN (Russia), "PETON" (Russia) wa «Intalox High-Performance Structured Packing» (Austria).

Machine and apparatus oil and gas industry in recent years has achieved significant results: obtained nozzle ensures the implementation processes of mass transfer and separation of liquid droplets from the wet gas with high efficiency (Sulzer, Intalox High-Performance Structured Packing); contact devices designed to organize the straight liquid flow and the transverse motion of the gas flow on the section of the column (PETON, Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH); designed valve, sieve, bubble cap, cascading mass transfer plates are widely used in the industry, taking into account the actual technological parameters and operating conditions (Koch - Glitsch, Norton Chemical Process Products Corporation, CKBN).

Today, implementation of priority research projects in areas of increase of efficiency of devices by creating a high-contact devices, the development of new technologies and a more compact and efficient equipment for the purification of natural gas from the liquid and acid impurities.

**Degree of study of problem.** Such foreign scientists as Basile R.J., Cornelis A.P., Chien T.W., Gold M., Heumann W.L., Jonson E., Li Jia, Norbert A., Pastor T. P., Rodery C.D., Sha Yong, Akhmetov S., Valdborg A.Yu., Sisters V.G., Ramm V. M., Chekhov O. S., Zibert G. K. have studies various theoretical and applied aspects of the natural gas treatment and processing units.

In Uzbekistan such prominent scientists, as, Rizayev N. U., Salimov Z.S., Yusupbekov N.R, Levsh V. I., Zakirov S.G., Gulyamov Sh. M., Nurmukhamedov H., Abdurakhimov S.A., Li R., etc. conducted the research aimed at the development of theoretical bases of processes and devices of chemical and oil and gas processing industries and put into practice.

In the present thesis the main attention is drawn to the analysis of possible perspective ways of an intensification of processes in the «gas-liquid» system and development of the contact elements defining efficiency of processes and productivity of devices and installations for purification of gases in general.

**Connection of dissertation research with the plans of scientific-research works** is a reflected in following projects: the state scientific and technical project PPI-13 - «Development of highly effective technologies and technical means power - and resource-saving, use of renewable and nonconventional power sources, rational production and consumption of fuel and energy resources» (2007-2011).

**Purpose of research** consists in creation of highly effective devices (separator, degasser, absorber and desorber) and principal process diagram for integrated purification of natural gas.

In order to achieve this objective it was necessary to solve the following **tasks of research:**

formation of methodological bases of researches of functioning of devices of complex purification of natural gas;

research of hydrodynamic characteristics of two-phase systems «gas (a disperse phase) – liquid (continuous)» and «liquid (a disperse phase) – gas (continuous)»;

research of power characteristics and optimum parameters of a gas-liquid layer;

mathematical modeling of hydrodynamic parameters of a gas-liquid current and on this basis the rational organization of the movement of phases depending on a design and geometry of an arrangement the turbulent contact elements;

development of the contact devices and devices working in the intensive mode and in the wide range of loading of gas and liquid for the purpose of increase in load of a column on gas or preservation of productivity of the unit at essential reduction of diameter of the device;

justification of method of calculation of optimum design, hydraulic and technological data of the developed devices for primary preparation and purification of natural gas and synthesis of recommendations of their application in petro - and the gas-processing industry;

development of concrete conclusions and constructive recommendations about design and introduction of high-intensity and effective devices in oil and gas and other industries;

introduction of the developed devices in the industry taking into account real technological parameters and service conditions.

**Object of research:** natural gas, liquid drops, gas condensate, reservoir water, hydrogen sulfide, amine solution, carbon dioxide.

**Subject of research:** technological processes, cars and devices of installations and complexes of preparing and purification of natural gas and regeneration of saturated amine solution.

**Methods of research.** In the course of performing dissertation work the following were used: methods of extreme planning of experiments; statistical methods of processing of experimental data; methods of physical, mathematical modeling and optimization of technological processes and productions; the approved standard methods of carrying out experiments on studying of regularities of hydrodynamics and to a mass exchange with use modern metrological certified control – measuring devices and exact methods of measurement of technological parameters.

**Scientific novelty of dissertation research** consists in the following:

the mathematical model of the hydrodynamic modes of a turbulent gas-liquid flow is offered;

interrelation between quantity of phase cells and gas content of a two-phase layer in the intensive bubbling modes which are created on plates of columned devices and systems with a gas disperse phase is opened;

regularities of distribution of drops of liquid of various size and the useful height of a separator allowing to arrange effectively release devices are defined and considerably to increase efficiency of gas-liquid separation;

new contact devices and devices working in the intensive mode and in the wide range of loadings on gas and liquid are developed;

area of steady and effective work mesh plates with two zones of contact with the free section of 20% is defined;

empirical equations for an assessment of gas content, hydraulic resistance, ablation of drops and coefficient of an expense of a crack depending on technological and geometrical parameters of separation and mass-exchange devices are offered;

engineering technique of calculation of design, hydraulic and technological data of a separator of a spherical form and a degasser of saturated solutions with filming agent of liquid is proved.

**Practical results of research** consist in the following:

- the gas-liquid separator of primary purification of natural gas which is effectively working in the modes of volley emission and separation of drop liquid was developed (№ IAR 03763, 2008), separator with a centrifugal vortex consisting of three functional parts, the using ratchet and centrifugal effects of sedimentation of drops and intended for deep purification of natural gas of free moisture is offered highly effective (№ IDR 04591, 2001), highly effective degasser with the developed surface of decontamination of not dissolved gases of saturated solution of amine is created (№ IAR 04060, 2009);

designs of mass-exchanged plates of mesh type with two zones of contact of gas-liquid phases for columned devices in installations of purification of natural gas, from sour components allowing to increase device productivity by 1,4 times of rather design level at the expense of an absorption process intensification are offered (Report of implementation of the Mubarek Gas Processing Plant on 25.03.2005);

the method of calculation of optimum parameters of the developed offices of systems of purification of natural gas is proved (Practical guide reports under № PM 371-12; PM 382-12 and PM 423-13, approved by JSC «Zavod Uzbekhimmash»).

**Reliability of obtained results** is confirmed by coherence of theoretical results with own experimental data and data of experiments and theoretical calculations from references; successful commercial operation of the devices calculated and designed on the basis of the conducted researches.

**The oretical and practical value of research results.** The theoretical importance of results of dissertation work consists in creation of the upgraded technological scheme of the purification of natural gas of sour components allowing to carry out processes of absorbing purification of natural gas in small-sized, not metal-consuming and high-intensity devices. Scientific results of the thesis are used in the course of creation of an engineering method of calculation of the separation and mass-exchanged devices intended for primary preparation and purification of natural gas.



The practical importance of the performed work is that engineering techniques and recommendations about design and calculation of hydraulic, design and technological data of the developed contact devices and devices are developed; new perspective designs of devices of installation of purification of natural gas of the liquid and sour components created on the basis of pilot and theoretical studies of two-phase gas-liquid systems are offered.

**Realization of results.** By gas separator (patent agency on intellectual property of the Republic of Uzbekistan for № IDR 04,591, and the number 2001 03 763 IAR, 2008.) And a saturated solution of the degasser (patent agency on intellectual property of the Republic of Uzbekistan under №IAR 04060, 2009) embedded in equipment quality processes unitary subsidiaries «Mubarek Gas Processing Plant», «Gazlineftgazdobycha», «Mubarakneftegaz», «Ustyurtgaz» (certificates №3 from 25.03.2005g., №7 from 19.06.2012, and is being №9 from 29.06. 2012); the actual cumulative economic effect of the introduction of new high-performance and advanced manufacturing devices, by increasing productivity, improving the quality of gas, reduce energy intensity of metal and equipment, as well as the saving of foreign currency and transport costs amounted to 700 million soms (certificate №641 from 06.05.2015, joint-stock company «Uzneftegazmash»).

**Approbation of work.** Basic provisions and results of work are reported, discussed and approved on: International scientific conferences «Mathematical Methods in Equipment and Technologies» - «MMTT-2000» (St. Petersburg, 2000) and «MMTT-200» (Smolensk, 2001), International scientific and practical conference «Civilization and Globalization of Cultural Wealth of the People of Central Asia and Kazakhstan» (Shymkent, 2007), NTK scientific and technical conferences of the Tashkent state technical university (Toshkent, 2003-2005), Republican NTC «O'zbekistonda neftni qayta ishlashning dolzarb muammolari va moylovchi materiallar ishlab chiqarish istiqbollari» (Tashkent, 2005), I-of Republican NTC «Modern Cars and Devices of Chemical Productions» (Fergana, 2006), Republican NTC «Actual Problems of Creation and Use of High Technologies of Processing of Mineral Raw Material Resources of Uzbekistan» (Tashkent, 2007), «Actual problems of oil refining and gas of Uzbekistan» (Bukhara, 2009).

**Publication of results.** The main contents and provisions of the thesis are reflected in 31 published scientific works. On materials of the thesis one monograph is published, 12 articles, are published in the leading peer-reviewed domestic and foreign magazines, 15 theses of reports and are taken out 3 patents of the Republic of Uzbekistan for inventions.

**Structure and volume of dissertation.** The thesis consists of introduction, 6 heads, the conclusion, the list of the quoted literature and appendices. It is stated on 192 pages, has 71 drawings and 7 tables. Copies of the documents confirming practical use of results of the thesis are given in appendices.

## Main contents of dissertation

**In the introduction** the urgency and relevance of the dissertation topic, stated purpose and objectives, identified the object and subject of research, identify relevant research priority areas of science and technology of the Republic of Uzbekistan, presented scientific novelty and practical results of the study proved the reliability of the results obtained revealed theoretical and practical significance the results obtained are given a list of implementing the findings of research, testing operation, data from published work and structure of the dissertation.

In the first chapter «**Analysis of modern methods, schemes and devices of gas purification and identification of trends of their further development and improvement**» of the thesis results of the analysis of modern methods, schemes and devices of complex purification of natural gas and other gases are given in two-phase systems «gas – liquid».

It is noted that one of the important tasks solved when developing technological process of purification of natural gas is the choice of the optimum sizes and a design of the mass-exchange and separation devices that predetermines profitability of process, decrease as capital expenditure for production of the equipment (economy of constructional materials), and operational expenses (decrease in power consumption of process, volume of repair work). The solution of this task is directly connected with development of contact devices and research of hydrodynamic parameters of devices and use of reliable calculation methods of optimum design of the gas-liquid equipment.

The analysis of references shows that there are unused technical capabilities for an intensification of processes of purification of natural gas with application the turbulent flow of contact devices – centrifugal vortex, highly effective mass-exchanged plates, filming agents, etc., and also development on this basis of less metal-consuming devices for the oil and gas industry.

Proceeding from it, problems of scientific research are formulated.

The second chapter of the thesis «**Hydrodynamic characteristics of gas-liquid two-phase flows in the gas cleaning process**» is devoted to development of scientific-theoretical fundamentals of hydrodynamics of two-phase gas-liquid streams in systems from liquid and gas disperse phases.

In disperse gas-liquid stream, droplets are weighed in the gas environment and are bearing. Depending on the size of drops and speed of a stream degree of hobby of particles is various. Parameters of the movement of drops of liquid in a gas stream to which belong their relative speed, the way passed in a gas stream define a major factor of process – efficiency of separation.

The developed mathematical model and algorithm of calculation of a trajectory of drops in the free section of a separator with an axial vortex allow to figure out the way of movement and time of stay of drops of various size that gives the chance purposefully to project the constructive elements which are qualitatively preventing ablation of drops from separation zones.

It is noted that in the turbulent flow systems gas in liquid of high intensity are created on plates of mass-exchanged devices. The surface of contact of phases of gas-liquid system is defined by the sizes of phase cells and gas content. The volume of a bubbling layer  $V_c, m^3$  is defined by expression:

$$V_c = HF_c \quad (1)$$

where  $H$  – height of a layer in m; area of section of a layer,  $m^2$ .

The quantity of the drops weighed in a stream, during the operation of the device in the intensive modes, is defined by technological indicators of process – the speed of gas and density of an irrigation. The amount of liquid which is in the device in case there is no its accumulation in the device at the expense of a difference of speeds of gas and liquid is defined by expression:

$$G_x = V_{an} \rho_r B, \quad (2)$$

where  $V_{an}$ - volume of the tank in  $m^3$ ;  $\rho_r$  – gas density,  $kg/m^3$  and  $B$ – specific irrigation,  $kg\ liquid/kg\ gas$ .

The amount of liquid passing through the device in unit of time  $q_l, kg/s$  at the density of irrigation of  $L, m/s$  is defined as:

$$q_l = L \cdot F_c \cdot \rho_l, \quad (3)$$

The amount of  $q_l$  gas,  $kg/s$  at a speed is expressed as follows:

$$q_r = U_{av} F_s \rho_r, \quad (4)$$

The specific irrigation is defined by expression:

$$B = \frac{q_l}{q_r} = \frac{L \rho_l}{U_{av} \rho_r} \quad (5)$$

The total amount of liquid in the device:

$$V_{ж} = \frac{G_x}{\rho_l} = \frac{L F_s H}{U_{av}} \quad (6)$$

Taking into account sliding coefficient,  $i = \frac{W_K}{U_{av}}$  we will receive,

$$V_l = \frac{L F_s H}{i U_{av}} \quad (7)$$

Using expression (10), we will express gas content through technological parameters of process:

$$\varphi = \frac{V_s - V_l}{V_s} = 1 - \frac{V_l}{V_s} = 1 - \frac{L}{iU_{av}} \quad (8)$$

In case the part of the liquid coming to a gas-liquid layer is in a condition of bubbling, the quantity of drops in system is defined with an indicator of a relative splashes ablation  $e$  and is determined by expression

$$n_K = \frac{LeF_s H}{AiU_{av} d_K^3} \quad (9)$$

where  $A$  – the form coefficient and  $d_K$  – diameter of droplets, m.

As a result of theoretical researches, the interrelation between quantity of phase cells and gas content of a two-phase layer in the intensive bubbling modes which are created on plates of columned devices and systems with a gas disperse phase is defined.

For an assessment of ability of the equipment to bear loading on gas it is offered to use, F- speed factor which is work of the actual speed of gas per the full section of a column ( $U$ , m/s) on a root square from the actual density of gas ( $\rho$ , kg/m<sup>3</sup>) in the columned device:

$$F = U\sqrt{\rho}. \quad (10)$$

The use of F- factor of speed for the assessment of intensity of operation of contact devices of gas-liquid dividers (a separator and a degasser) and mass-exchange column units (an absorber and desorber) allows to apply results of laboratory researches in the industry.

The chapter three of works «**Creating a gas-liquid separation device for the purification of natural gas**» is devoted to creation of devices of gas-liquid separation in installations of preparation and purification of natural gas.

Overall performance of the separation equipment in many respects defines reliability of work of the equipment of installations of preliminary preparation of natural gas, purification of gas of sour components, and also causes the volume of its operational and power expenses.

On the basis of the theoretical analysis of factors of the liquid drops influencing efficiency of process of sedimentation on a cylindrical surface it is established that at constant physical parameters of the bearing environment and a thaw of liquid coefficients, collision and divisions generally depends on the speed of the bearing gas stream.

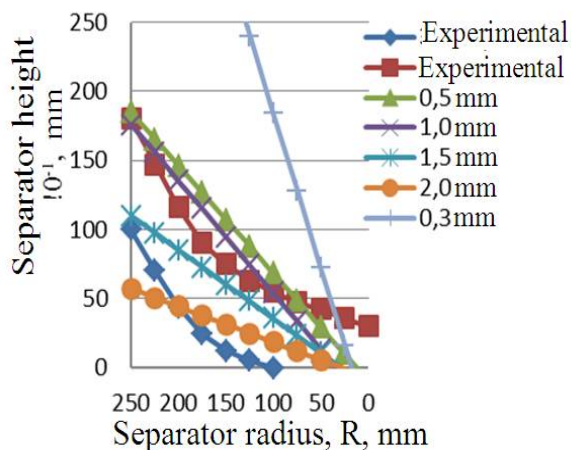
For the purpose of definition to influence of hydrodynamic, geometrical and operational parameters on efficiency of separation of drops researches in vitro are

conducted. The installation consisting of the mixture camera with the direct-flow movement of phases and the built-in separator with an axial vortex of removable type is developed. It allowed to conduct research in separator equipped with vortex and without it.

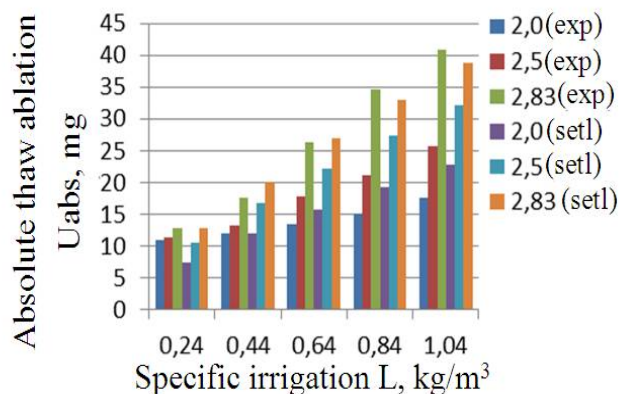
For definition of a residual thaw ablation of air at the exit from a separator the weight method is used. For definition of a field of distribution of drop moisture on the volume of a separator the special device which principle of action is based on existence of conductivity of water and lack of conductivity in air is used. The device is connected to the sensor capable to move on the section and height of a separator. Position of the sensor is fixed on a scale.

Research on definition of the content of liquid were conducted at speeds in the free section of a separator 2,3 m/s, i.e. at F speed factor =  $2,3 \div 3,2$ , in various sections on all height of a separator.

Loadings on liquid varied in the range of 0,24,1,04 kg/m<sup>3</sup>. By the received results of a thaw contents it is possible to judge distribution of a gas-liquid layer on separator sections.



**Fig.1. Distribution of drops of liquid on separator sections at  $F=2,8$  and  $L=0,64$  kg/m<sup>3</sup>**



**Fig.2. Dependence of the absolute entrainment of liquid droplets on the specific irrigation**

It is established that with increase in a factor of speed of a gas-liquid stream in the free section of a separator within  $F = 2,8 \div 3,2$  existence of drops of liquid at distances 180÷220 of mm from a vortex in all sections of a separator is observed. With increase in loading on liquid at a constant speed, height of sedimentation of bulk of drops decreases and accounts 60÷30 mm from a vortex. It follows from this that with increase in speed growth of ablation of drops from a separator is observed and it is required to increase height separation space or to install additional release devices on the way of the movement of small drops.

The mathematical model developed by us allows to carry out calculation of a trajectory of drops of a given size in the field of speeds of the twirled bearing gas stream of a separator – within the studied geometrical ratios of the sizes. Results of calculations for model formulas are presented in fig. 1 and are confirmed by experimental data.

From graphs it is visible that trajectories of all particles with a diameter of 0,5÷3,0 mm terminate on separator walls. Drops of 0,5÷0,3 mm in size demand big heights of a separator. Drops  $\approx 0,3$  mm are also less taken out by the size from a separator as don't reach it walls even with rather big height.

On the basis of results of pilot and theoretical studies an opportunity appeared to improve a form and a design of separators, effectively to arrange impact devices and to increase coefficients of collision and division.

Previously developed separator of a spherical form was suggested which effectively operates in two modes: mode of separation and mode of protection against volley emission of liquid. The separator serves for primary purification of natural gas. The specific form of the reception camera provides unaccented reception and plums of the arriving liquid and office of gas due to the special dynamic movement. Besides, thanks to a spherical form thickness of a wall and mass of a separator decrease twice on comparison with cylindrical cases.

For the purpose of development of a separator for deep purification of natural gas we conducted researches in a direct-flow separator by diameter of  $D_s = 500$  mm and height of  $H_s = 680$  mm with cylindrical inserts at speeds of 2,3 m/s and a specific irrigation of 0,24÷1,04 kg/m<sup>3</sup>. In the course of research found the optimum geometrical sizes (diameter and height) of an arrangement of inserts over a vortex.

Dependence of an absolute release on a specific irrigation for optimum values of ratios of the geometrical sizes at various F-values of a factor of speed in a separator with an insert is given in Fig. 2. The maximum value of thaw contents of the departing air corresponds to the maximum values of working parameters and makes no more than 40 mg/m<sup>3</sup>. For comparison we will note that for a separator without insert a thaw contents reached 120 mg/m<sup>3</sup>.

As a result of experiences the tendency of growth of resistance with increase in speed in free section and a specific irrigation is revealed. The maximum values of hydraulic resistance corresponding to the maximum speed ( $U = 2,85$  m/s) accounted for: a separator with an axial vortex  $\Delta P = 610$  Pa; for a separator with inserts -  $\Delta P = 660$  Pa.

Dependence of an absolute thaw ablation on working parameters for separators with inserts can be described the empirical equation in the following look:

$$U_{\text{abs}} = 7,61 U_1^{1,536} L^{0,75} \left( \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_0}} \right)^{0,768} \quad (11)$$

where  $U_{\text{abs}}$  - absolute thaw ablation, mg/m<sup>3</sup>;  $L$  - specific irrigation, kg/m<sup>3</sup>;  $\rho_0$  - gas density in normal conditions, kg/m<sup>3</sup>;  $\rho_1$  - gas density in operating conditions, kg/m<sup>3</sup>;

For studying of range of the separating possibility of a separator with inserts researches with small density of an irrigation were conducted. The empirical equations describing dependences of a thaw ablation on stream speed at small values (0,05÷0,20 kg/m<sup>3</sup>) of a specific irrigation in a separator with inserts have the following appearance:

$$U_{\text{abs}} = 24,06 U_1^{0,097} L^{0,69} \left( \sqrt{\frac{P_1}{P_0}} \right)^{0,049} \quad (12)$$

Results of processing of experimental data show that the offered design of a separator can work with high efficiency in the wide range of working parameters.

The result of research of the centrifugal separation element with a vortex serving a contact element of the built-in separator of mass-exchanged columns and separators of thin purification of natural gas are given. It is established that separation process most effectively proceeds in a new design of a centrifugal separation element with a vortex with a diameter of branch pipe of 100 mm when the shovel angle of attack on an entrance makes 70 - 75 °, and the corner of overlapping of shovels is in limits 6-10 °. The separator can effectively work at  $F = 6,6 \div 17,2$  which at atmospheric pressure corresponds to speeds of gas  $U_G = 1,3 \div 3,2$  m/s. Loading on liquid makes to 0,4 l/m<sup>3</sup> of gas. At the specified parameters the separator provides a thaw contents at the exit from the device within 7 ÷ 11 mg/m<sup>3</sup>.

Thaw contents of gas at the exit from a separator (mg/m<sup>3</sup>) can determine by an empirical formula:

$$K_2 = 10,56 + \exp[3,023 + 0,191 F + (-1,409) H_1], \quad (13)$$

where  $H_1 = H/D_c$  - relative height of a separator; H - the general height of a separator in m, F- speed factor.

Median diameter of the drops (micron) which are carried away by a gas stream is determined by an empirical formula:

$$d_{50} = 1,36 + \exp[1,626 + (-0,013) F + (-0,127) H_1], \quad (14)$$

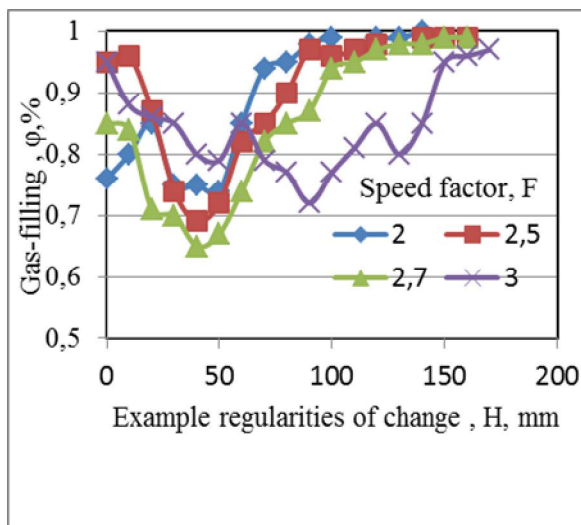
In the fourth chapter «**Investigation of hydrodynamics mass transfer devices column apparatus for gas treatment plants**» results of research of hydrodynamic parameters of a mesh plate are given with two zones of contact of phases with free section 20% and openings on a plate cloth of  $d_{f.s.} = 9,4$  mm in relation to mass-exchanged devices – to an absorber and a desorber of installation of purification of natural gas. The offered mass-exchange plate differs in the big range of working loadings on gas and liquid, the small hydraulic resistance and higher rates according to mass-exchanged characteristics. These plates can work at F-values of a factor 2 ÷ 3. We will note that the plates which are operated at gas-processing plants work at F-value of a factor of  $F \leq 1$ .

Structurally the plate represents a mesh cloth with the central overflow device (Fig. 3). During the work solution of amine moves from top to down and there is a bubbling in openings under the influence of kinetic energy of gas. At a modulation of solution the curtain is created «liquid» that allows to contact in addition liquids to gas. In an overflow glass the defoaming agent made of corners is installed. The

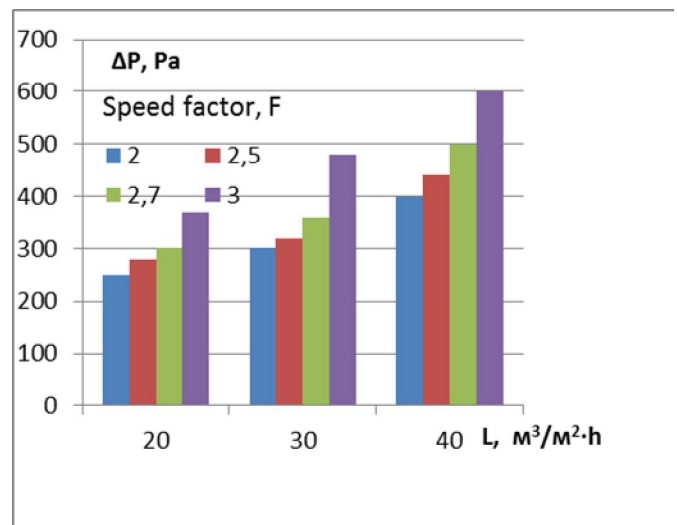
defoaming agent serves for removal of gas and subjects promotes increase in capacity of overflow devices.

Experiments were made in the following range of parameters: gas speed in the free section of a column from 0,8 to 2,5 m/s that corresponds to a F-factor in the range of 1,0÷2,9. Range of density of an irrigation was changed from 20 to 75 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h that corresponds to load of the length of threshold from 5,1 to 19,1 m<sup>3</sup>/mh.

At researches gas-fillings are determined by height of a bubbling layer, splashes ablation and the hydraulic resistance of plates in the range of working loadings on gas and liquid and the range of steady work of a plate.



**Fig. 3. Dependence of gas filling on gas-liquid layer height at density irrigation  $L=30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$**



**Fig. 4. Dependence of hydraulic resistance on factor of gas speed**

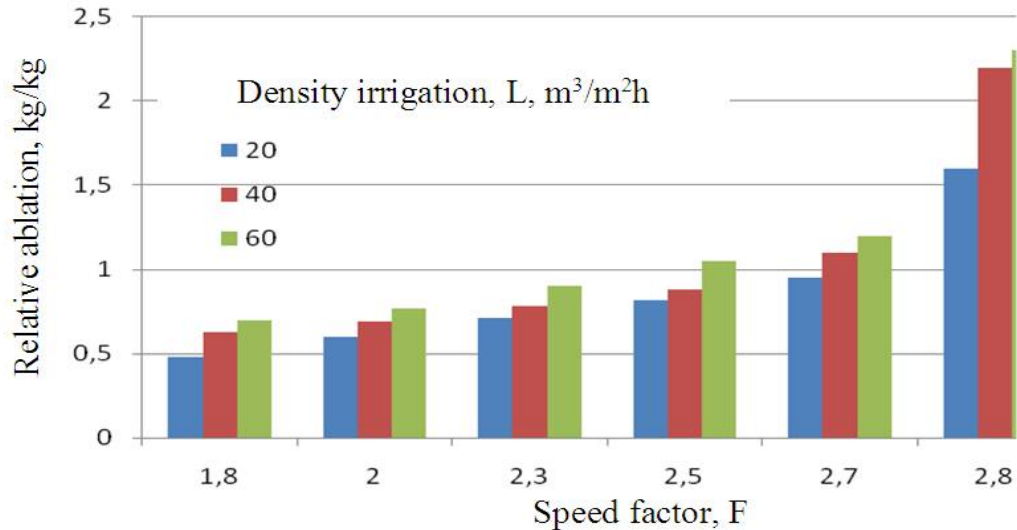
In fig. 3, as an example regularities of change of gas-filling at various F-values of a factor are illustrated. According to schedules growth of gas-filling at low values of density of an irrigation when kinetic energy of gas prevails over potential energy of liquid is visible and is in limits 0,7÷0,8. The received dependences of gas-filling on working parameters show that the operating mode of a plate with the free section of 20% reaches to  $F = 2,84$ .

On each mode measurements of pressure difference with the U-shaped differential manometer of water filling were taken. From Fig.4 it is visible that with increase in a volume consumption of liquid at unit of a mass-exchanged plate, i.e. irrigation density, the noticeable growth of hydraulic resistance is observed. Thus it is established that increase in speed of gas doesn't lead to the sharp growth of the studied parameter.

For experimental definition of ablation during the work in air-water system the column with a diameter of 300 mm supplied with two mesh plates with two zones of contact which free section was changed in the  $\% F_{f.s.}=10\div20$  range was used. Thickness of plates made 6 mm, diameter of an opening – 9,4 mm, distance between plates - 500 mm.



For catching of the drops which are carrying away through the top part of a column used the cyclone established on the line of an air outlet. Ablation was expressed through the attitude of amount of the carried-away liquid towards quantity given, i.e. relative ablation, in kg/kg.



**Fig.5. Dependence of specific carry-over drops of liquid  $e_s$  from  $F_f$  speed factor at various values of density of an irrigation ( $F = 20\%$ ).**

Dependence of relative ablation of drops from a plate with the free section of 20%, from F factors of speed is given in Fig. 5 at various density of an irrigation. With increase in density of an irrigation relative ablation and speed limits of gas decrease owing to growth of a layer of liquid on a plate and faster stopping of the device. In the conditions of the made experiments speed limits of gas made 2,4÷2,6 of m/s ( $F = 2,7 \div 2,9$ ).

As a result of processing of experimental data we received the following dependence, the relative ablation of liquid allowing to define depending on technological parameters of process and free section of a plate:

$$e = 0,75 * 10^{-3} U^{1,8} L^{-1,3} F_{cu}^{-2,5}, \quad (15)$$

The equation is fair for  $H_t = 500 \div 600$  of mm,  $F_s = 10 \div 20\%$ ,  $L = 20 \div 75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ,  $U = 0,8 - 2,5$  m/s.

For an assessment of possibility of effective functioning of a column at various loadings on gas and liquid usually use area of its steady work which depends mainly on type and a design of the contact device.

Range of steady work of plates is determined by a combination of loadings by gas and liquid. In Fig.6 described the area of steady work of the plate investigated by us, respectively, received by generalization of considerable volume of experimental data. The schedule is constructed in coordinates «a speed F-factor - L – irrigation density». The most admissible F-a gas speed factor in a column (VS

line) is defined by liquid ablation size. The AD line determines minimum admissible speeds of gas, the corresponding 10% to a liquid failure. On the right the area of steady work is limited to the CD line which corresponds to the maximum loadings on liquid, the corresponding 85% of the mode of a stopping. The AB line define the minimum loadings on liquids at which on a plate the steady bubbling layer is provided. Loadings on gas and the liquids corresponding to coordinates of any point in area provide steady functioning of the device.

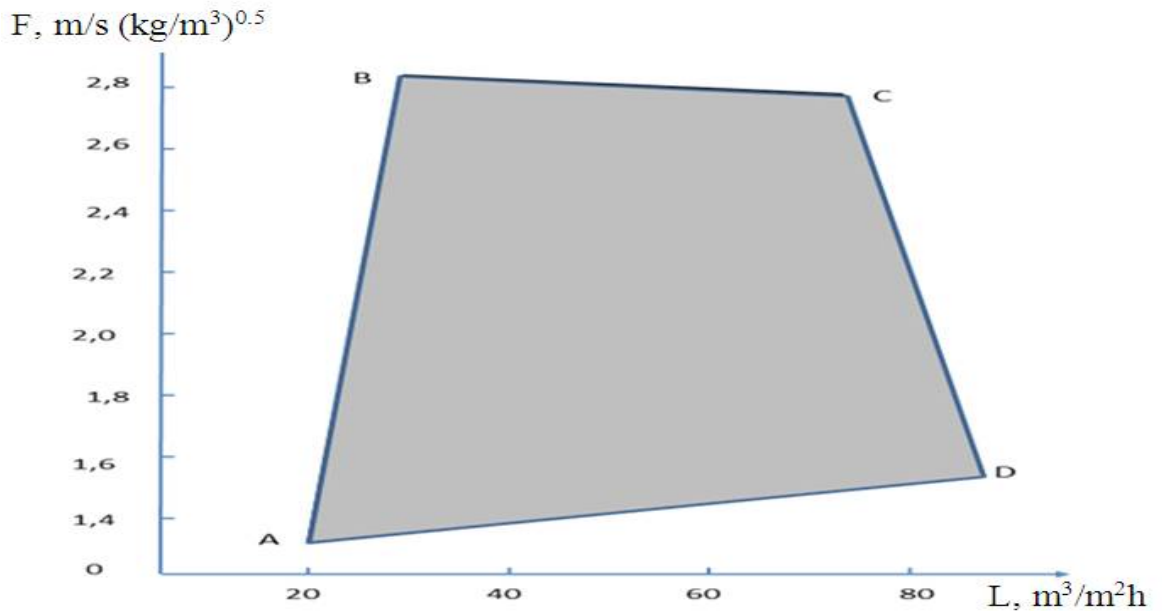


Fig.6. Area of steady work of a mesh plate with two zones of contact with the free section of 20 %.

From the schedule it is visible that the working range of a plate with the free section of 20% on loading: the minimum working speed of gas is 1,2 m/s ( $F_{\min}=1,36$ ) - the maximum working speed of gas is 2,5 m/s ( $F_{\max}=2,84$ ). Therefore, the range of change of loading on gas at which operability of a plate remains, is equal to  $F_{\max}/F_{\min} = 2,1$ . Loading on liquid reaches density of an irrigation of  $75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  that corresponds to load of length of threshold of  $19,2 \text{ m}^3/\text{m h}$ .

Thus, as a result of research, the optimum hydrodynamic indicators are defined and the area of steady work of a plate for carrying out absorbing and stripping processes with high intensity in courses of mass-exchanged processes small-sized technological devices is revealed.

The fifth chartes «**Research and development degasser saturated amine solution for the installation of natural gas desulphurization**» results of research of process of decontamination of saturated solutions and hydrodynamic characteristics of the developed degasser of amine solution are given.

It is offered formulas for determination of speed of laminar and turbulent emerging the decontaminations of saturated solutions received on the basis of theoretical prerequisites of process of decontamination of saturated solutions.

In units of preparation of gas condensate, desulphurization and other objects of preparation of saturated solutions it is applied degassers without internal constructive elements (hollow), and decontamination of solution happens only from a liquid mirror surface. On the other hand, in world practice of designing various constructive elements are widely applied to increase of effect of decontamination of liquid mix in system «gas – liquid» in the form of vortex, plates or distributing devices.

For the purpose of creation of distributing devices for effective carrying out process of decontamination of saturated solution in vitro conducted experimental research in system «air – water». Experiments were made in two modes. In the first mode, at the fixed liquid level in an overflow glass – the set liquid pressure, determined the capacity of a crack and gas-filling of mix by height of the overflow device. In the second mode of loading on liquid changed from zero before the mode of a stopping and determined hydraulic resistance.

Research was conducted at gas speeds in the free section of the device  $0,4 \div 1,2$  of the m/s corresponding to  $F$  – to a factor  $0,5 \div 1,4$ , and at the density of irrigation of  $20 \div 50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . In experiences used mesh plates with the free section of 6%; thus gas speed in plate openings with a diameter of  $\varnothing 4 \text{ mm}$  (in number of 154 pieces), was in the range of  $7 \div 20 \text{ m/s}$ .

Use of a mesh plate is caused by need of creation of the bubbling overflow layer promoting providing a modulation through an overflow glass, the liquid given on plates. Thus there is an opportunity to study influence a gas deposits on the flowing-down liquid film. By results of experiences the interrelation between the key working parameters of filming agent of liquid is established.

Researches of capacity of an overflow glass with various width of a crack allowed to define dependence of this parameter on height of level of a liquid layer in an overflow glass. According to schedules (Fig.7) it isn't difficult to see that with increase in width of a crack at constant values of height of level of liquid the capacity of a crack increases. And, with a width of crack of 2-6 mm growth at all levels more slowly, than with a width of crack of 6-8 mm.

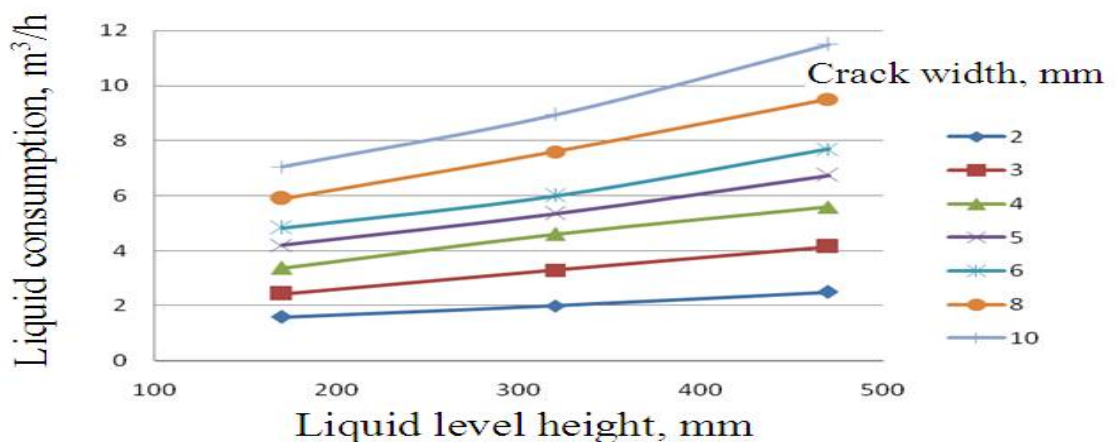


Fig. 7. Change of height of level of liquid in an overflow glass at various values of width of cracks depending on a liquid consumption

The obtained data testify, also about influence a gas deposit on the capacity of cracks. At small values of height of level of liquid the gas pressure difference before and after an overflow glass (equal to the hydraulic resistance of a plate) interferes with a current. The more the liquid level height, the more intensively the expiration of liquid through a crack. This phenomenon influences liquid consumption coefficient which was determined by results of researches.

With increase in technological parameters – loadings on gas and liquid - growth of the hydraulic resistance is observed. Thus it is possible to note that change of density of an irrigation influences growth of hydraulic resistance less actively, than gas speed. For example, at a speed of gas of 0,4 and 0,6 m/s at various values of density of an irrigation hydraulic resistance grows practically in parallel, at speeds of 0,8 and 1,0 m/s the difference of values of hydraulic resistance is essential.

Experiences established values of gas-filling of a gas-liquid stream on height of a bubbling layer. It is revealed that in the studied ranges of working parameters height of a liquid layer with gas-filling to 0,86, is lower than 300 mm. Proceeding from it, the maximum height of level of liquid over a crack we recommend to accept 300 mm. The minimum height of liquid in an overflow glass has to be not less than 50 mm.

By results of processing of the obtained data, the empirical equations for calculation of coefficient of an expense of a crack are removed and by comparison of results of researches their adequacy is confirmed.

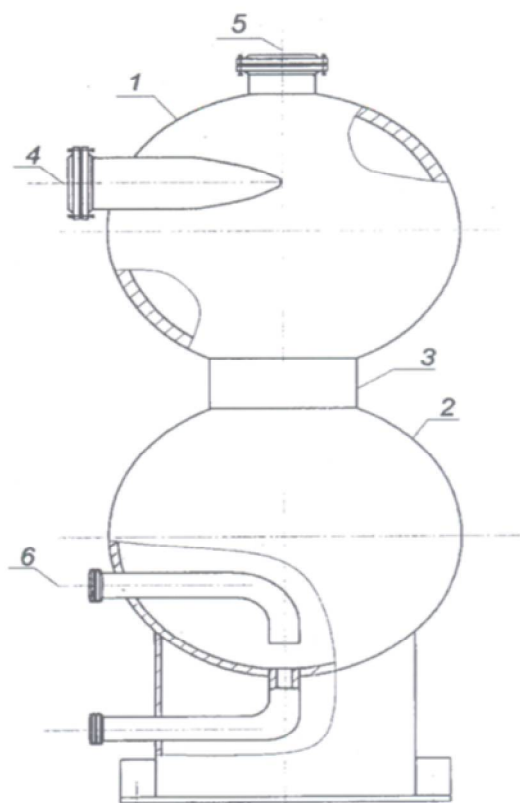
On the basis of the given research on determination of optimum working parameters of the distributor of liquid and the scheme interaction of a film of liquid with a gas stream the degasser of saturated solution with the developed decontamination surface is developed.

In chapter six «**Industrial testing and introduction of new devices for complex clearing of natural gas**» the upgraded technological scheme of sulfur clear installation for realization of effective purification of natural gas of liquid and sour components is offered.

Constructive schemes are provided and the description of the contact devices and devices developed and protected by patents of the Republic of Uzbekistan of a design for complex purification of natural gas of liquid and gas components is given.

The separator of primary purification of natural gas of drops and volley emission of liquid (Fig. 8) consists of the case consisting of two cameras - a reception 1, a separation spherical form and accumulative 2, connected among themselves by a branch pipe 3, the branch pipe tangential established in 4 and the employee for input in the reception camera of gas-liquid mix. In the top part of a separation chamber 1 the vertical branch pipe 5 for removal of the separated gas is located. In the lower part of an accumulative chamber 2 the union 6 for dropping liquid in a drain tank, and also the union 7 for removal of the collected firm rainfall is located.

The separator design for deep purification of natural gas is presented in Fig. 9. The separator consists of three functional parts. Damp gas enters via the union (A) and by means of the directing tray located in moves on the semi-spherical bottom of the device. The office of firm particles and large drops of liquid in this zone occurs due to gravitational and centrifugal effects. Then through a window in a device partition gas comes to the second section, having passed previously mesh coagulator of particles. The integrated drops are besieged in the second zone on inertial gravitational mechanism. In the third zone there is a final purification of



1- resection chamber; 2- collecting chamber; 3-connecting piping; 4 – gas inlet piping; 5- gas outlet piping; 6 – liquid drop piping.

**Fig. 8. Separator of gas**

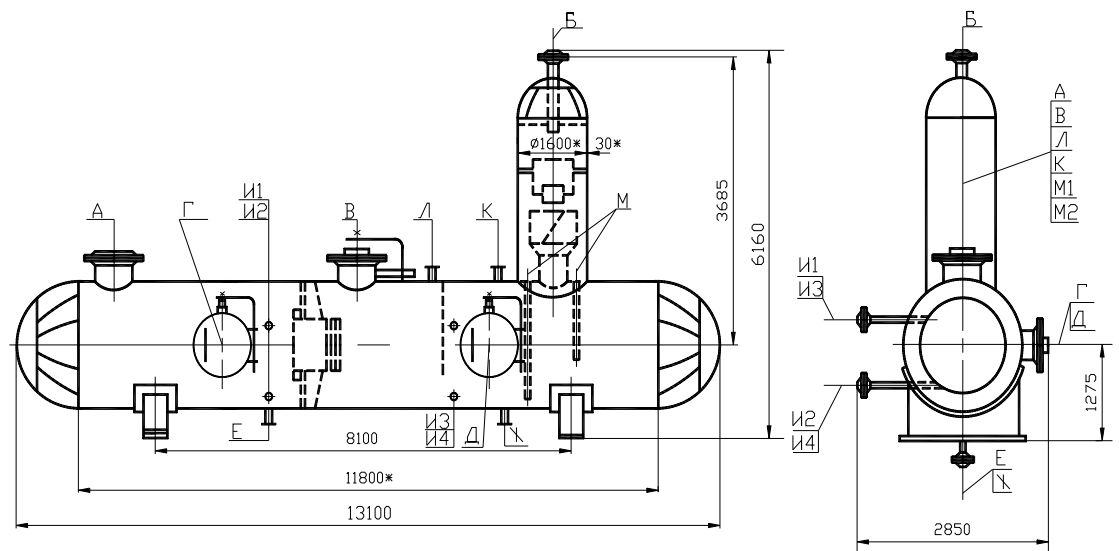
gas of free moisture. Structurally this part of the device represents a centrifugal separator with an axial vortex and internal cylindrical inserts. The gas exempted from drop moisture via the union (B) is pumped for further processing.

The degasser (Fig. 10) intended for decontamination of saturated amine solution represents the horizontal device with the film distributor of liquid installed inside. Expander consists of the case (pos.1) representing a horizontal cylindrical vessel with the elliptic bottoms and the liquid distributor located inside (pos.2) installed on beams (pos.3). The distributor of liquid creates six film umbrellas from which there is an intensive decontamination of liquid.

The absorber column is a vertical apparatus with perforated plates modified with two areas of contact. In the absorber is performed by sorption gas-liquid contact and the bubbling film layer. At the top of the absorber installed drop eliminator consisting of the cylindrical elements with centrifugal swirler.

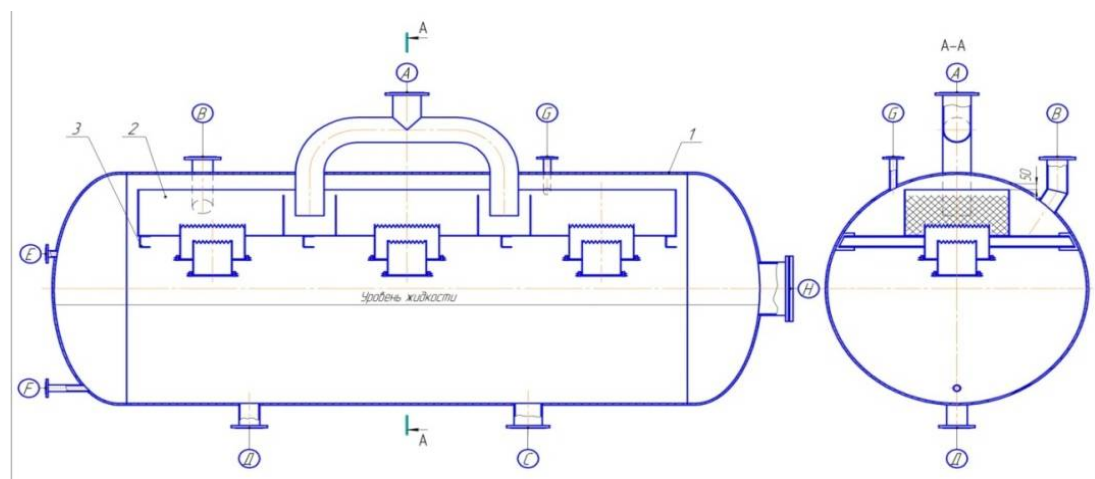
Research of absorption rate of  $H_2S$  and  $CO_2$  from natural gas with aqueous solution of methyl-di-ethanolamine was performed on 12 – desulphurization unit of the Fourth Unit of the Mubarek Gas processing Plant.

The experiments were carried out in operational medium on the absorber with diameter 2600 mm. As the mass transfer device accepted the modified design of plates with two contact zones in the amount of 18 pieces. On each installed 5 plate the overflow device is set to 400 mm diameter; Height overflow threshold adopted by 50mm. Max rated load for overflow  $q = 63,1 m^3/m \cdot h$ . In overflow defoaming devices are installed that boost the bandwidth of plates when liquid foams.



A – the gas input union; B – the gas discharge union; V, G, D – hatches; E – a drainage, X – the union for a condensate conclusion; I<sub>1,2,3,4</sub> – unions for the index of level; K – the union for the safety valve; L – the union for sampling; M<sub>1,2</sub> – liquid plums

**Fig 9. Separator of natural gas**



1-cases of a degasser, 2-distributing device, 3 - beam union: A – an input of amine solution, B - an exit the expander of gases, C - solution exit, D –for a drainage, F, E – for the level gage, G – for the manometer; H - the hatch for service

**Fig.10. Degasser of saturated solution**

When testing the modernized absorber speed factor ranged  $F=1\div 2.4$ . It is found that with increasing speed factor at a constant value specific of irrigation of hydrogen sulfide extraction selectivity factor  $K_c$  increases, when  $F=0,7$  content  $H_2S$  in cleaned gas is  $14 \text{ mg/m}^3$ , at  $F=2.4$  contents  $H_2S$  was  $4.7 \text{ mg/m}^3$ . This phenomenon is, in our opinion, due to the fact that at high speeds increases the surface and the contact time of the phases and as a result increasing the efficiency of selective clearing.

The absorber under study before revamp was equipped by mesh plates with free section 5% - 18 pcs. and under the project had gas capacity  $47 \text{ thousand m}^3/\text{h}$ . In the result of replacement plates, productivity absorber on gas reaches  $65,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,

and it will allow in additionally in cleaned natural gas in the volume of 144 million m<sup>3</sup>/year.

The use of highly developed contact elements and apparatus in industrial environments in USSR “Mubarek Gas Processing Plant”, USSR “Gazlineftgazdobycha” and other companies one could achieve the increase in unit capacity of natural gas, decrease of dimensions and the need for metal bulk of the equipment for facility of natural gas preparation and treatment.

### **Conclusion**

The results of carrying out complex research works for the purpose of creation of highly effective devices for purification of natural gas of liquid and sour components make it possible to formulate the following main conclusions:

1. Regularities of the movement of streams in relation to conditions of the technological processes proceeding in devices of installations of purification of natural gas are analyzed.

2. Mathematical model was developed and the computing algorithm of calculation for definition of trajectories of the movement of drops of liquid on the free section of a separator in system with a liquid disperse phase is programmatically realized.

3. The interrelation between quantity of phase cells and gas content of a two-phase layer in the intensive bubbling modes created on plates of columned devices and systems with a gas disperse phase is opened; it is offered to accept a speed F-factor as an indicator of intensity of operation of devices and contact devices.

4. The separator of gas of primary purification of natural gas was developed protected by the patent (№ IAR 03763, 2008) of the Republic of Uzbekistan working in the mode of separation and volley emissions of liquid. Metal consumption of the device of a spherical form in comparison with the existing horizontal separators of a cylindrical form twice less and thus remains high efficiency of purification of gas of free moisture.

5. A rational design of a centrifugal separator with radially located additional constructive elements in the form of cylindrical inserts (№ IDR 04591, 2001) was developed and protected by the patent of the Republic of Uzbekistan. The developed separator with an axial vortex is intended for deep purification of natural gas of liquid components in installations of preparation and purification of natural gas.

6. The new design of a centrifugal separation element with a vortex is developed for the built-in separators of the mass-exchanged columns and separators of thin purification of natural gas consisting of the profiled shovels bent on radius and established on the central core; thus the shovel angle of attack on an entrance makes 70-75<sup>0</sup>, and the corner of overlapping of shovels is in repartitions 6-10<sup>0</sup>.

7. By results of pilot and industrial studies of a mesh plate with two zones of contact with the free section of 20 % new data on gas-filling of a bubbling layer,

hydraulic resistance and a thaw ablation in the wide range of change of loadings on gas and liquid are obtained; the area of steady and effective work of the studied design of a mass-exchanged plate is defined, the empirical equations for calculation of optimum hydrodynamic parameters are received and the comparison of experimental and settlement data testifying adequacy of the received equations is executed.

8. It is shown that modified an absorber with plates of new type allows to increase device productivity by 1,4 times of the relative design; the effect is reached at the expense of an intensification of process of absorption at preservation of high rates of quality (no more than  $7 \text{ mg/m}^3$  of  $\text{H}_2\text{S}$  in the cleared gas) purification of natural gas.

9. Degasser of saturated solutions was developed and protected by the patent (№ IAR 04060, 2009) of the Republic of Uzbekistan with filming agent of liquid. In comparison with the existing designs in the offered device metal consumption decreases by 1,5 times and thus the surface of decontamination increases by 33% that is an indicator of high efficiency of the offered device for decontamination of saturated amine solution.

10. Empirical equations are received and the engineering methods of process and technological calculation allowing to project again developed separators of primary and deep cleaning, columned devices with mass-exchanged plates with two zones of contact with the free section of 20% and the built-in vortex, and also the degassers sated solutions with maximum efficiency - depending on technological parameters of operation are proved.

11. Process diagram of sulfur clear installation with perspective types of devices for realization of effective technology of purification of natural gas is developed and offered.

12. Actual cumulative economic effect of the introduction of new high-performance and advanced manufacturing devices, by increasing productivity, improving the quality of gas, reduce energy intensity of metal and equipment, as well as the saving of foreign currency and transport costs amounted to 700 million soms.



**Эълон қилинган ишлар рўйхати**  
**Список опубликованных работ**  
**List of published works**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Салимов З.С., Рахмонов Т.З., Розиев Б.Р. Высокоэффективные аппараты для комплексной очистки природного газа. – Ташкент: ООО «Munis design group», 2015.- 194 с.
2. Рахмонов Т.З. Исследование факторов влияющих на эффективность очистки природного газа// Вестник ТашГТУ. - Ташкент, 2005. -№ 2, - С. 110-113. (02.00.00; №11).
3. Рахмонов Т.З. Исследование процесса сепарации капель в центробежном газожидкостном сепараторе// Узбекский химический журнал-Ташкент, 2005. - №4. - С. 56-59. (02.00.00; №6).
4. Салимов З.С., Рахмонов Т.З., Юлдашев Н.Х. Энергетические затраты в прямоточных трехфазных газожидкостных системах// Узбекский химический журнал- Ташкент, 2005. - № 6. - С. 53-55. (02.00.00; №6).
5. Рахмонов Т.З. Центробежный сепаратор для очистки технологического газа от капель жидкости// Химическая технология. Контроль и управление.- Ташкент, 2011. - № 6 - С. 8-11. (02.00.00; №10)
6. Рахмонов Т.З. Метод расчета высокоэффективного дегазатора насыщенного раствора// Химическая технология. Контроль и управление.- Ташкент, 2012. - № 1 - С. 28-31. (02.00.00; №10)
7. Рахмонов Т.З. Исследование уноса в колонне с ситчатыми тарелками с двумя зонами контакта// Химическая технология. Контроль и управление.- Ташкент, 2012. - № 5 - С. 27-30. (02.00.00; №10).
8. Рахмонов Т.З., Хурмаматов А.М. Разработка высокоэффективного дегазатора насыщенного раствора// Химическая промышленность. - «ТЕНЗА», Санкт-Петербург, 2012.- № 8. - С. 408-411. (02.00.00; №21).
9. Рахмонов Т.З., Хурмаматов А.М. Исследование абсорбера сероочистной установки в промышленных условиях// Химическая промышленность». «ТЕНЗА», Санкт-Петербург, 2012. - № 8. - С. 412-415. (02.00.00; №21).
10. Рахмонов Т.З., Хурмаматов А.М. Шаровой сепаратор для первичной очистки природного газа// Узбекский химический журнал, Ташкент, 2012. - № 6.- С. 49-51. (02.00.00; №6).
11. Рахмонов Т.З. Исследование гидродинамики массообменной тарелки абсорбера сероочистки// Химическая технология. Контроль и управление.- Ташкент, 2014. - № 1.- С. 28-32. (02.00.00; №10).
12. Рахмонов Т.З., Рахмонов У.К. Определение геометрических размеров центробежного сепаратора и профилирование лопатки завихрителя// Химическая технология. Контроль и управление.- Ташкент, 2015. - № 1. - С. 46-49. (02.00.00; №10).

13. Патент РУз № IDR 04591. Сепаратор газа/ Левш В.И., Волога Р.А., Кушнер Н.И. Рахмонов Т.З.// Официальный вестник. - 2001.- №1.

14. Патент РУз № IAR 03763. Сепаратор газа/ Левш В.И., Саидахмедов И.М., Волога Р.А., Кушнер Н.И., Рахмонов Т.З., Шетинин А.Д., Варро Д.Э.// Официальный вестник.-2008. - № 9.

15. Патент РУз № IAR 04060. Дегазатор насыщенного раствора /Левш В.И., Рахмонов Т.З. Кушнер Н. И., Ражабов А.А., Варро Д.Э.// Официальный вестник.- 2009. - № 12.

## **II бўлим (II часть; II part)**

16. Rahmonov T.Z. Creation of highly effective devices for purification of natural gas// International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – India, Delhi, 2015. - №4. – pp. 472-476.(05.00.00; №150).

17. Рахмонов Т.З., Мирзарахимов М.С., Рахмонов У.К. Моделирование траектории капель в закрученном потоке // Достижения и перспективы комплексной химической переработки топливно – минерального сырья Узбекистана: Сборник материалов Республиканской науч.-техн. конф. – Ташкент: ФБ Академии наук 2008. - II часть- с. 284-288.

18. Юсупбеков Н.Р., Левш В.И., Гулямов Ш.М., Рахмонов Т.З. Аналитическое решение уравнения движения частиц в закрученном газожидкостном потоке// Математические методы в технике и технологиях-ММТТ-2000: Сборник трудов 13 Международной научной конференции. Санкт-Петербург: 2000.- Том 1. - С. 196-199.

19. Юсупбеков Н.Р., Левш В.И., Гулямов Ш.М., Рахмонов Т.З. Статический анализ поверхности контакта фаз и интенсивности её обновления// Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-2001: Сборник трудов 14 Международной научной конференции.- Смоленск: 2001. - Том 1. – С. 128-131.

20. Рахмонов У.К., Рахмонов Т.З. Очистка природного газа от сернистых соединений// Молодёжь в развитии науки и техники: Третья научно-практич. конф. студентов. - Ташкент: ТашГТУ, 2003. – С. 79-80.

21. Рахмонов У.К., Рахмонов Т.З. Новая технология очистки малосернистого природного газа // Молодёжь в развитии науки и техники: Четвертая научно-практич. конф. студентов. Ташкент: ТашГТУ, 2004. - С. 215-216.

22. Рахмонов Т.З. Исследование массообменной тарелки с двумя зонами контакта при повышенных нагрузках по газу и жидкости// Ўзбекистонда нефтни қайта ишлашнинг долзарб муаммолари ва мойловчи материаллар ишлаб чиқариш истиқболлари: Республика илмий-техникавий конференция тезислар тўплами. Ташкент: 2005. - С. 60-62.

23. Рахмонов Т.З., Салимов З.С. Разработка центробежного газожидкостного сепаратора // Ўзбекистонда нефтни қайта ишлашнинг долзарб муаммолари ва мойловчи материаллар ишлаб чиқариш истиқболлари: Республика илмий-техникавий конференция тезислар тўплами. Ташкент: 2005. - С. 62-64.

24. Рахмонов Т.З., Салимов З.С., Рахмонов У.К. Исследование оптимальных технологических параметров сепаратора со вставками// Современные машины и аппараты хим. производств: Респ. научно- техн. конфер. - Фергана: 2006.- С. 47-48.

25. Рахмонов Т.З., Варро Д.Э., Абдураимов С.Ж. Разработка центробежного газожидкостного сепаратора. // Цивилизация и глобализация духовных ценностей народов Средней Азии и Казахстана: Тез. докл. Межд. научно-практ. конфер. Шимкент: Отырар, 2007. - С. 303 – 305.

26. Рахмонов Т.З., Абдураимов С.Ж. Исследование массообменной тарелки с двумя зонами контакта. // Цивилизация и глобализация духовных ценностей народов Средней Азии и Казахстана: Тез. докл. Межд. научно-практ. конфер. - Шимкент: Отырар, 2007. - С. 357 – 359.

27. Салимов З.С., Рахмонов Т.З. Исследование процесса очистки природного газа в центробежном газожидкостном сепараторе// Актуальные проблемы переработки нефти и газа Узбекистана: Сб. трудов Респ. науч. – техн. конф. - Бухара: «Каганская городская типография», 2009. - С.276 -280.

28. Салимов З.С., Рахмонов Т.З. Интенсификация процесса очистки природного газа// Актуальные проблемы переработки нефти и газа Узбекистана: Сб. трудов Респ. науч. – техн. конф. - Бухара: «Каганская городская типография», 2009. - С.283-284.

29. Салимов З.С., Рахмонов Т.З. Центробежный сепаратор для очистки и осушки природного газа// Актуальные проблемы переработки нефти и газа Узбекистана: Сб. трудов Респ. науч. – техн. конф. - Бухара: «Каганская городская типография», 2009. - С.284-288.

30. Салимов З.С., Рахмонов Т.З. Анализ факторов, влияющих на процессов абсорбции и десорбции при очистки природного газа// Актуальные проблемы переработки нефти и газа Узбекистана: Сб. трудов Респ. науч. –техн. конф. - Бухара: «Каганская городская типография», 2009. - С.288-291.

31. Рахмонов Т.З. Траектории капель жидкости в закрученном потоке// Современные проблемы газовой и волновой динамики», посвященной памяти академика Халила Ахмедовича Рахматулина в связи 100-летием со дня его рождения: Тез. докл. Межд. конф.21-23 апреля 2009.- Москва, МГУ М.В.Ломоносова. 2009. - С. 81-82.

Автореферат «Ўзбекистон кимё журналы» тахририятида тахрирдан ўтказилди (23. 06. 2015 йил).