

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА ЎЗБЕКИСТОН
МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ УЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ 16.07.2013 Т/ФМ.02.02 РА АМЛИ ИЛМИЙ
КЕНГАШ АСОСИДА БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ОШИДАГИ
ТАРМО МАШИНАШУНОСЛИК МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ ТАД
ОТ МАРКАЗИ**

МАЛИКОВ ЗАФАР МАМАТ УЛОВИЧ

**АЭРОДИНАМИКА ЖАРАЁНЛАРИ АСОСИДА ОРИ САМАРАЛИ
МАРКАЗДАН ОЧМА ЧАНГ ТУТГИЧЛАРНИ ИШЛАБ ЧИ ИШ**

01.02.05 – Сую лик ва газ механикаси (техника фанлари)

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИНИНГ АВТОРЕФЕРАТИ

ТОШКЕНТ – 2016

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

Маликов Зафар Мамат улович Аэродинамика жараёнлар асосида ори самарали марказдан очма чанг тутгичларни ишлаб чи иш.....	3
Маликов Зафар Маматкулович Разработка высокоэффективных центробежных пылеуловителей на основе аэродинамических процессов.....	29
Malikov Zafar Mamatkulovich Development of high-performance centrifugal dust catchers on the basis of aerodynamic processes.....	54
Эълон илинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	79

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА ЎЗБЕКИСТОН
МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ УЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ 16.07.2013 Т/ФМ.02.02 РА АМЛИ ИЛМИЙ
КЕНГАШ АСОСИДА БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ОШИДАГИ
ТАРМО МАШИНАШУНОСЛИК МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ ТАД
ОТ МАРКАЗИ**

МАЛИКОВ ЗАФАР МАМАТ УЛОВИЧ

АЭРОДИНАМИКА ЖАРАЁНЛАРИ АСОСИДА ОРИ САМАРАЛИ МАРКАЗДАН ОЧМА ЧАНГ ТУТГИЧЛАРНИ ИШЛАБ ЧИ ИШ

01.02.05 – ую лик ва газ механикаси (техника фанлари)

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИНИНГ АВТОРЕФЕРАТИ

ТОШКЕНТ - 2016

3

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида 12.05.2015/В2015.1.Т463 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университети қошидаги тармок машинашунослик муаммолари илмий тадқиқот марказида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) веб-саҳифанинг www.tdту.uz ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим портали www.ziyo.net манзилларига жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Ризаев Анвар Абдуллаевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Равшанов Нормакмат
техника фанлари доктори, профессор

Шокиров Анвар Одилевич
техника фанлари доктори, профессор

техника фанлари доктори, профессор

Василевский Эдуард Борисович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

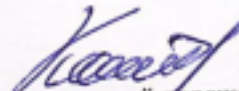
Навоний давлат кончилиқ институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги 16.07.2013 T/FM.02.02 рақамли илмий кенгаш асосида тузилган бир марталик илмий кенгашнинг «28» 07 2016 йил соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч.2. Тел/факс (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

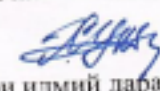
Докторлик диссертацияси билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишини мумкин (15 рақам билан рўйхатга олинган).
(Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч.2.Тел.(99871) 246-46-00.

Диссертация автореферати 2016 йил «14» 07 кунин тарқатилган.
(2016 йил «14» 07 даги 15 рақамли баённомаси).



 **К.А.Каримов**
Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д, профессор

 **Н.Д.Тураходжаев**
Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.н, доцент

 **И.К. Хужаев**
Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар
раиси, т.ф.д.

КИРИШ (докторлик диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жа онда сан - атнинг изчил ривожланиши махсулотларни ишлаб чи ариш самарадорлигини ошириш билан бир аторда ишлаб чи ариш жараёнининг атроф му итга бўлган салбий таъсирини ам ортишига олиб келди. Бу ўз навбатида тад отчилар олдида янги вазифаларни, жумладан саноат чи индиларини камайтириш, атмосферага чи аётган зарарли газларнинг ми дорини - майтириш масалаларини кун тартибига ўймо да. Сўнгги эллик йил ичида углеродли бирикмаларни атмосферага чи ариб ташлаш 9 марта ортган. Натижада атроф-му ит ифлосланиб, глобал экологик муаммо юзага ке - мо да.

Юзаг келган муаммоларни ал илиш ва экологик алокатнинг олд - ни олишда, глобал исси лашув жараёнини тўхтатишда саноат чи индилар - ни атроф-му итга таъсирини камайтириш му им амият касб этади. Жу - ладан, аноат махсулотларини ишлаб чи иш жараёнида атроф-му итга чи - ётган газларни тозалашда самарали тозалаш воситалари ва чанг тутгичлардан

фойдаланиш долзарб масала исобланади. Чанг тутгичлар нафа ат саноат газларини тозалашда, балки автомобилларнинг ички ёнув двигателларининг бир меъёрга ишлашини таъминлаш учун ам зарур исобланади. Ер ости бойликларини азиб олиш жараёнида ўлланиладиган транспорт воситалари

ори даражад ги чангланганлик шароитида ишлатилади. Бундай шароитда двигатель ишчи камерасига аво билан бирга кирган абразив чанг заррачал - ри двигатель ишчи камерасининг юза исмларини емирилишига сабаб бўл - ди ва двигатель увв тининг камайишига, ёнил ва мойловчи воситаларнинг сарфини ортишига олиб келади.

Мамалакатимиз муста илликга эришгач, саноатнинг кўпгина со - ларида локаллаштиришга катта эътибор аратилмо да, жумладан чанг тоз - ловчи ускуналарни республика лим шароитига мос равишда такоми - лаштириш ва замонавий урилмаларни яратишга ало ида амият бери - мо да. Саноатда ишлатиладиган чанг тозаловчи воситаларнинг 80% дан орти исмини марказдан очм куч асосида ишлайдиган чанг тутгичлар ташкил илади. Шу сабабдан ушбу турдаги чанг тутгичларни такомиллашт - риш ва ори самарага эга бўлган янги конструкцияларини ишлаб чи иш му им илмий-амалий амият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Ма камасининг 1996 йил 26 апрел даги 232-1- сон «Ўзбекистон Республикаси Табиатни му офаза илиш давлат ўмитаси тў рисидаги низомни тасди лаш ида»ги ва 2013 йил 27 майдаги -142-сон «2013-2017 йилларда Ўзбекистон Республикасида атроф-му ит му офазаси бўйича аракатлар дастури тў рисида»ги арорлари, амда ма - кур фаолиятга тегишли бош меъёрий- ий ужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тад оти муайян дараж - да хизмат илади.

5

Тад отнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши нинг устувор йўналишларига бо ли лиги. Мазкур тад от республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тад отлар шар ¹. Чанг тутгичлардаги кўп фазали му итларнинг аэродинамик жараёнларини тад отига йўналтирилган илмий изланишлар жа оннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, NASA Glen research center, Boeing scientific reserch laboratories, Massachusetts institute of tech nology, Stanford university (), Cambridge university (Буюк Британия), Hettingen laboratory (Германия), The Air Systems Research Center (Япония), China Aerodynamics Research and Development Center (Хитой), Москва давлат униве ситети (Россия), Тошкент давлат техника университетида олиб борил мо да.

Чанг тутгичларда содир бўладиган жараёнларни ўрганишга оид жа он да олиб борилган тад отлар натижасида атор, жумладан, уйидаги илмий натижалар олинган: кўп му итли имларнинг математик тенгламаларини со ли

ечиш учун чекли-айирмали, чекли-элемент усуллар ишлаб чиқилган (Stanford university, Boeing scientific research laboratories, Massachusetts institute of technology,); кўп муаммолар учун аэродинамик эффектлар аниқланган (Cambridge university, Буюк Британия), эркин турбулент имлоларнинг перпендикуляр тўсиқлардан ўтиш динамикасининг математик модели ишлаб чиқилган (Hettingen laboratory, Германия); ориентацияга эга бўлган уюмларнинг чанг тутқичларнинг конструкцияси ишлаб чиқилган (The Air Systems Research Center, Япония); чиқинди газларнинг таркибидаги чангларнинг сепарация механизми ишлаб чиқилган (China Aerodynamics Research and Development Center, Хитой), металлургия печларининг газ уюмлари учун кўп босқичли понасимон чанг тутқичнинг конструкцияси ишлаб чиқилган (Москва давлат университети, Россия).

Дунёда чанг тутқичларнинг конструкцияларини такомиллаштириш бўйича атор, жумладан, уйдаги устувор йўналишларда тадотлар олиб боришда: кўп муаммолар турбулент имлоларни математик моделлаштириш; тузилган гидродинамик тенгламаларни сонли ечиш учун самарали алгоритмларни яратиш; аэродинамик онуниятлар асосида кечадиган жараёнлар асосида чанг тутқичларнинг конструкцияларини такомиллаштириш.

¹ — Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадотлар шарт <http://www.nasa.gov/centre/glenn/home/index.html>; http://universal_ru_en.academic.ru/66921/; Wildes, Karl L.; Lindgren, Nilo A. (2005). A Century of Electrical Engineering and Computer Science at MIT, 2006-2009. Cambridge, Mass.: MIT Press. ISBN 9780262231190; Stuart W. Leslie: The Cold War and American Science: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford. Columbia University Press, New York [u. a.] 1993, ISBN 0-231-07958-3; http://www.mod.go.jp/trdi/en/research/kenkyu_koukuu_en.html; University of Cambridge (ed.). "The Revived University of the Nineteenth and Twentieth Centuries" Retrieved 7 August 2014; <http://www.utias.utoronto.ca>; <http://www.cards.cn:88>; http://universal_ru_en.academic.ru/240165; История Московского университета. . 1—2. ., 2000; На рубеже двух столетий/ . . Бюшгенс, . . Бедрицкий. . : ЦАГИ, 2008. 480 . — ISBN 5-02-007017-3; Фортъе . Механика суспензий. // .: Мир, 1971; Рахматуллин . . Основы газовой динамики взаимодействующих движений сплошных сред. // ПММ, 2001, .20; Нигматуллин . . Динамика многофазных сред.//Москва, Наука, 1987; Faizullaev D.F. Laminar motion of multiphase media in conduits.//Consultants bureau, New York, 2003 ва бош манбалар асосида ишлаб чиқилган.

6

Муаммонинг ўрганилганли даражаси. Кўп муаммоларнинг илк тадотлари XIX асрда бошланган. Лекин XX асрга келиб, кўп муаммоларнинг амалий аминати кескин ортди ва дунёнинг кўп илмий ма - казларининг олимлари томонидан олиб бориш тадотлари натижасида жадал ривожланди. 1967 йили . Фортъе кўп муаммоларнинг турб - лент миграцион назариясига асос солиди. . Фортъе томонидан ишлаб чиқилган назария Европа ва Шининг атор олимлари (Фридендер, Джоу - стоун, Оуэн, Дейвис, Бил, Земель ва бошқалар) томонидан ривожлантирилди. Бу соҳага катта исса ўшган олимлардан бири, ўзбек олими, ўзаро кириш - вчи кўп муаммолар назариясининг асосчиси, Москва давлат университети - тетининг профессори . . Рахматуллин- дир. биринчи бўлиб бир неча сиқилувчан муаммолар аралашсининг тўлиқ аракат тенгламалари тизимини урди, тўлиқ имлолар тарқалишининг асосий онуларини таққил илди, икки муаммолар аралашмадаги чегара атлами назариясини асослаб берди. . . Ра - матулин томонидан ишлаб чиқилган назария гидротехника, кимёвий техн - логия, атом

энергетикасида кенг ўлланилган. Кўп му итли имлар назар - ясига салмо ли исса ўшган олимлардан бири сифатида . . Рахматулин шоги ди Россия академиги . . Нигматулинни ам эътироф этиш мумкин.

Ўзининг математик моделида атти ва сую фазадаги заррачаларнинг заро таъсирини исобга олган ва устози ишлаб чиққан аракат тенгламалари - зимини тўлдирган. Ўзбекистонда кўп му итли ламинар лар назариясини ривожлантиришда профессор . . Файзуллаев ишларини эътироф этиш мумкин.

Кўп му итли имлар со асида кўплаб илмий натижаларга эришил - шига арамай, али ечимини топмаган муаммолар талайгина. Жумладан, кўп фазали турбулент имининг ани математик модели али ишлаб чи ил маган. Мавжуд математик моделлар эмпирик бўлиб, жараёнларни доимо адекват ифодаламайдилар. Ушбу олатни марказдан очма чанг тутгичида ланма аракат илаётган имларда кузатиш мумкин.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган муассасанинг илмий-тад от ишлари билан бо ли лиги. Диссертация тад оти То - кент давлат техника университети ошидаги Тармо машинашунослик му - ммолари илмий-тад от марказининг илмий-тад от ишлари режасининг

.13-12 «Процессы переноса тепла концентрации взвешенных частиц турбулентном струйном потоке» мавзусидаги фундаментал лойи (2012- 2014), амда 02-1541 Юр. «Олмали кон-металлургия комбинати акционе - лик жами тининг ру заводи учун уюрмали чанг тутгични ишлаб чи иш ва уни саноатда синаш» (2010-2011), 02-2180 «Чанг шароитида ишлатиладиган ер ости транспорт учун инерцион фильтрни модернизация илиш ва уни татби этиш» (2011-2012), 02-2092 «Конлардаги ир юк ташувчи самосва - лар учун ори самарали аво тозалагичини ишлаб чи иш» (2012-2013), 14/2012 «Навоий кон-металлургия комбинатининг транспорт воситаларига инерцион аво тозалагичларни татби илиш» (2012-2013) ва 02-1466 «Ине - цион аво тозалагичини ир юк ташувчи автомашиналарда синаш ва

7

лойи авий хужжатларини ишлаб чи иш» (2013-2014) хўжалик шартномалари доирасида бажарилган.

Тад отнинг ма сади кўп му итли имларнинг аэродинамика назарияси асосида ори самарали чанг тутгичлар амда чанг шароитида ишловчи транспорт воситалари ва махсус техникаларнинг ички ёнув двиг - теллари учун аво тозалагичларни ишлаб чи ишдан иборат.

Тад отнинг вазифалари:

марказдан очма чанг тутгич ичидаги аво имининг динамикасини гидродинамика тенгламалари асосида математик моделлаштириш;
гидродинамика тенгламаларини сонли ечиш усулини ишлаб чи иш; сонли ечимлар ор али, аво имининг узлуксизлигини таъминлаб - рувчи мосламаларнинг ва чанг тутгичдаги асосий элементларнинг ўлчам ларини оптималлаштириш;

чанг тутгичдаги аво имини айлантриб берувчи мосламаларнинг

самарасини ошириш;

аэрозоль имлардаги жараёнларни кинетика асосида моделлаштириш;
марказдан очма чанг тутгичнинг аршилиги ва самарадорлигини ани лаш
усулларини ишлаб чи иш;

чанг тутгичнинг оптимал геометрик параметрларини ани лаш усулини
ишлаб чи иш;

тад от натижалари асосида замонавий, ори самарага эга бўлган
марказдан очма чанг тутгичларни ишлаб чи иш.

Тад отнинг объекти сифатида саноатларда ишлатиладиган чанг
утгичлар амда ички ёнув двигателлари учун ишлатиладиган аво тоза лагичлар
олинган.

Тад отнинг предмети марказдан очма чанг тутгичларнинг конс труктив
тузилмалари, самарадорликлари ва аэродинамик аршиликлари та - кил этади.

Тад отнинг усуллари. Диссертацияда бир ва икки му итли - ларнинг
математик моделларини сонли ечиш, тузилган тенгламаларни анал - тик та
лил илиш, олинган натижаларни лаборатория шароитида новдан ўтказиш
усуллари ўлланган.

Тад отнинг илмий янгилиги уйидагилардан иборат: шнекли чанг
тутгичининг янги конструкцияси ишлаб чи илган; автомашиналарнинг
двигателлари учун марказдан очма куч асосида
ишлайдиган аво тозалагич конструкцияси ишлаб чи илган; чанг тутгичдаги
аво имининг аэродинамик параметрларини ани лаш усули
такомиллаштирилган;

аэрозолли имдаги мураккаб исси лик ва масса алмашув жараёна
ларининг математик модели кинетика назарияси асосида такомиллаштирил ган;

чанг тутгичнинг самарадорлиги ва аэродинамик аршилигини исоб лаш
усуллари такомиллаштирилган;

8

чанг тутгичининг оптимал параметрларини ани лаш усули ишлаб чи
илган.

Тад отнинг амалий натижаси. Марказдан очма шнекли саноат чанг
тутгичи ва автомашиналарнинг ички ёнув двигателлари учун марказдан очма
куч асосида ишлайдиган аво тозалагичлар ишлаб чи илган. **Тад от
натижаларининг ишончлилиги.** Тад от натижаларининг ишончлилиги ани
ўйилган гидродинамик масалаларга, уларни сонли ечишда маълум бўлган
услуг ва алгоритмларга, амда назарий йўл билан олинган натижаларни
тажриба натижалари билан таққослаш билан изо лан - ди.

Тад от натижаларининг илмий ва амалий аминяти. Тад от
натижаларининг илмий аминяти кўп му итли имларни математик моде -
лаштиришда ва уларни сонли ечишда фойдаланиш билан изо ланади.

Тад от натижаларининг амалий аминяти ори самарага эга бўлган саноат
чанг тутгичларнинг ва машина ички ёнув двигателидаги аво тозал -

гичларнинг лойи аларини ишлаб чи ишга хизмат илади.

Тад от натижаларининг жорий илиниши. Марказдан очма чанг тутгичлар ва аво тозалагичлардаги аэродинамика жараёнларини тад оти бўйича олинган илмий таклифлар асосида:

шнекли саноат чанг тутгичлари Олмали кон-металлургия комбинати акционерлик жамиятининг « ак заводи» га татби этилган (Олмали кон металлургия комбинати акционерлик жамиятининг 2015 йил 18 ноябрдаги ФМ-7222-сон маълумотномаси). Татби этилган шнекли саноат чанг тутгичларининг самарадорлиги мавжуд чанг тутгичларга нисбатан 15 -16% га ор ган ва йилига 210-243 тонна ак чангини ўшимча ушлаб олишга имкон яратган;

ички ёнув двигателлар учун ишлаб чи илган ав тозалагичлар Олм - ли кон-металлургия комбинати акционерлик жамиятининг Ангрен шахтал - рида ўлланиладиган машиналарга, Навоий кон-металлургия комби-натида ишлат ладиган ир юк ташувчи БелАЗ самосвалларига ва тепловоз-ларига ўрнатилган (Олмали кон-металлургия комбинати акционерлик миятининг 2015 йил 18 ноябрдаги ФМ-7222-сон маълумотномаси). Татби этилган аво тозалагичлар транспорт воситалардаги двигателларнинг хизмат муддатини 2 марта ортишига имкон берган.

Тад от натижаларининг апробацияси. Тад натижалари 4 та илмий-амалий анжуманларда, жумладан, «Труды XVIII Научных чтений по космонавтике, посвященных памяти выдающихся ученых-пионеров освоения космического пространства» (Москва, 1994); «Геологотехнология: инновац - онные методы недропользования XXI веке» (Москва, 2007); «Современная техника технология горно-металлургической отрасли пути их развития» (Навоий, 2008); «Энергосбережение, энергоэффективности возобновляемые источники энергии» (Ташкент, 2015) мавзуларидаги республика ва хал аро мий-амалий конференцияларда маъруза кўринишида баён этилган амда апр бациядан ўтказилган.

9

Тад от натижаларининг эълон илиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 29 та илмий иши чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республ - каси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 14 та ма ола, жумл дан, 10 таси республика ва 4 таси хорижий журналларда нашр этилган. 1 та ихтирога патент олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ажми 184 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш исмида диссертация тад отининг долзарблиги ва зарурати асосланган, илмий ишнинг ма сади ва унга эришиш учун асосий вазифалари шакллантирилган, тад от объекти ва предмети ани ланган, Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, мавзунинг илмий янгилиги ва имояга олиб чи иладиган асосий амалий натижалари баён илинган, олинган натижаларнинг

ишончилиги, илмий ва амалий амияти ёритилган, тад от натиж лари нинг жорий илинганлиги ида ва диссертация тузилишига доир ис маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Саноат чанг тутгичларининг ва ички ёнув дв - га-теллари аво тозалагичларининг таснифи”** деб номланган биринчи - би-да саноатда ишлатиладиган чанг тутгичларининг ва ар хил техниканинг ички ёнув двигателларига ўлланиладиган аво тозалагичларнинг турлари ёр тилган. Уларнинг афзал томонлари ва камчиликлари батафсил му окама

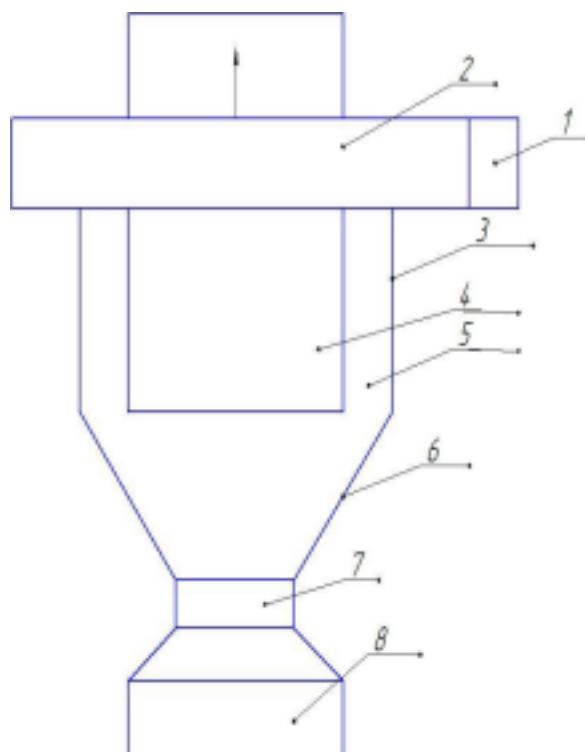
или ган. Шу ўринда технологик жараёнларнинг деярли барча со аларига татби этиш мумкин бўлган марказдан очма чанг тутгичларни ва аво - залагичларни ривожлантириш зарурати асосланган.

Марказдан очма чанг тутгичнинг принципиал схемаси 1-расмда кўрсатилган. Марказдан очма чанг тутгичнинг ишлаш принципи шундан иборатки, чангли аво спиралли каналда айланма аракатга эришиб, ал али каналга, яъни корпус ва тозаланган аво трубаси орали ига киради. Чанг за - рачалари марказдан очма куч таъсири натижасида корпус девори олдида йи илади ва конус девори бўйлаб бункер томон аракат илади, тозаланган аво эса труба ор али тепага йўналтирилади.

озирги кунгача ишлатилиб келинган, сериядаги марказдан очма чанг тутгичлари ори самарага эга эмаслар, самарадорлиги 75 фоиздан ортмай ди. Шунинг учун саноат ва автомашиналар двигателларига мўлжалланган

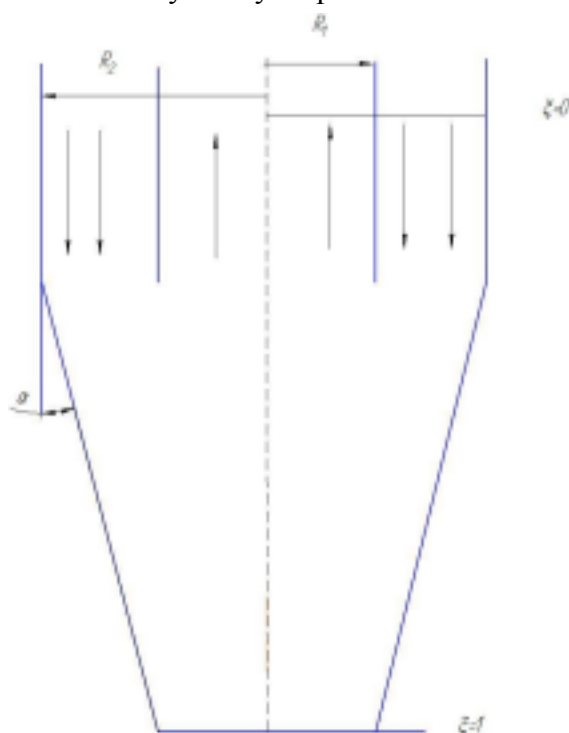
ори самарали марказдан очма чанг тутгичларни ишлаб чи иш тад от ма садидир. Ушбу ма садга эришиш учун, иринчи навбатда чанг тутгич ичидаги авонинг аэродинамикасини ўрганиш зарурдир. Шунинг учун дис сетациянинг **“Марказдан очма чанг тутгичлар ичида осил бўладиган аэродинамик жараёнлар”** деб номланган иккинчи бобида чанг тутгичнинг турли исмларидаги аво имининг хусусиятлари аэродинамика тенглам - лари асосида ўрганилган.

2.1 бўлимда, аэродинамика тенгламаларини сонли ечиш усули билан чанг тутгичнинг конус исмидаги аво ими ўрганилган (2-расм). Бунда тенгламалар системасининг стационар ечимини олиш учу тур унлашув услуги ишлатилган. Ушбу услубнинг мо ияти шундан иборатки, тенгла малар ностационар олатда сонли ечилади ва бу ечим ва ўтиши билан ста ционар ечимга интилади.



1- асм. Марказдан очма чанг тутгичнинг принципиал схемаси:

1 – чангли авонинг кирадиган дарчаси, 2 – авони айлантириб берадиган спиралли канал, 3 – чанг тутгич корпуси, 4 – тозаланган аво трубаси, 5 – аводан ажратилган чанг, 6 – чанг тутгичнинг конус исми, 7 – аво тезлигини камайтиришга мўлжалланган труба, 8 – чанг йи увчи бункер.



2- асм. Марказдан очма чанг тутгичнинг кесими

аво имининг со аси симметрия ига эгадир, шунинг учун тенг ламалар системаси цилиндрик координаталари (z, r, ϕ) ор али ўрганилган. Аэродинамик тенгламалар тизими цилиндрик координаталарда уйидаги кў ринишга эгадир:

[illegible]

Ушбу тенгламалар тизимини сонли ечиш учун им функцияси - ψ , им уюрмаси - ζ ва им циркуляцияси – киритилган. Киритилган параметрлар им тезликлари

билан уйидагича ифодаланади: $\Psi_U \quad \Psi_U$

$$\frac{\partial}{\partial r} = -\frac{1}{r}, \quad \frac{\partial}{\partial \phi} = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \quad (2)$$

Аэродинамик тенгламалар тизими янги параметрлар ор али уйидаги

13

$$^{zz}(4)\partial$$

$$\begin{array}{cccc} t & \xi & \xi & \partial \eta \\ \partial \xi & R & R & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} {}^2 & & {}^2 & & \partial \cdot \cdot \subseteq & {}^2 & \\ \Psi & & \Psi & & \in \cup & & \\ \eta \alpha & & & & & & \\ \partial & \partial & & tg & + + & {}^2 tg & \Psi {}^2 \\ {}^2 & + & {}^2 & 1 & \eta \alpha & {}^2 & + \\ \xi & & \xi & & \xi \eta \xi & \xi & \eta \\ \partial & & & RR & & & \\ & & () & \partial \partial & () () R \partial & & \end{array}$$

$$= - \frac{\partial \cdot \cdot}{\partial \cdot \cdot} \subseteq \in U_2$$

$$\eta^{\alpha}{}_{tg+}(\zeta), \eta^{\alpha}{}_{tg-}(\zeta)$$

$$\Psi^{(2)}_{R^2\xi\eta}(\partial_\Psi,\partial_\alpha,\partial_\Psi,\partial_\Psi)$$

$$R^r - z = - = 1, () ()$$

$$1 \quad tg$$

$$U() \quad \eta \xi \quad \partial \xi \quad \xi \quad \partial \eta \quad U \quad \eta \xi \quad \partial \eta \quad {}^{22} R R$$

Ушбу тенгламалар тизими учун чегаравий шартларни $\xi = 0$ (2- асм) кесимда ўямиз.

) ${}_{12} R / R \leq \eta \leq 1$ орали им кириб келадиган коаксиал каналига тўри келади. Кириб келадиган им учун уйдаги шартлар ўйилган:

$$\omega \eta \zeta U U \quad \eta \quad \Psi (5) = = = = - = R_z V_r$$

$$V R R \\ ()_2$$

2

$$, , 0, , 0. \quad 2$$

$$\frac{2}{1} \quad 2$$

Бу ерда V, ω – мос равишда кўндаланг ва бурчак тезликлари. Тажрибалар шуни кўрсатадики $\omega = const$.

) $0 < \eta < {}_{12} R / R$ со тоза аво чи иб келадиган трубага тўри келади. Бу ерда экстраполяцион шартлар ўйилган:

$$2 \quad 2 \quad 2$$

$$\partial \zeta (6)$$

$$\begin{matrix} \partial & \partial \Psi \\ 2 & 0, 0, 0_{22} \\ \partial \xi & \partial \xi \\ = = = & \partial \xi \end{matrix}$$

Ушбу шартлар гидродинамик тенгламаларни сонли ечишда

ўлланиладиган стандарт услублардир. $\xi = 1$ - конус бошланиш жойидан йиро даги кесимга тўри келади. Ушбу кесимдаги шартлар:) $0 < \eta < 1$ учун: ; ; . $\Psi = \Psi_2 = {}_2 \zeta = \zeta_2$ Бу ерда индекс 2 корпус ва конусга тегишлидир.

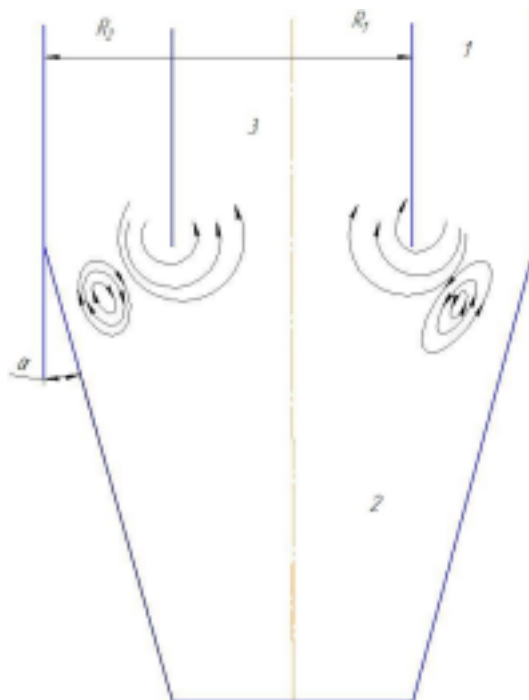
(4) тенгламалар тизимидаги циркуляция тенгламасини сонли ечиш учун Мак-Кормакнинг чекли айирмалли услубидан фойдаланилган. Ушбу услуб икки адамли бўлиб, иккинчи даражали аниқликка эгадир, яъни $(, ,)^{222} O \Delta t$

$\Delta\xi \Delta\eta$. им тенгламасини сонли ечишда η йўналиш бўйича

ори релаксация итерацион услубидан фойдаланилган, ξ йўналиш бўйича эса прогонка услуби ишлатилган. Масаланинг бошлан ич шарти сифатида потенциал имнинг ечими олинган.

3-расмда тенгламалар системасини сонли ечиш натижасида олинган им тезлигининг йўналишлари кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, им уюрма осил илади. Ушбу уюрма аво имининг узилиши туфайли юзага келади. Сонли тажрибалар шуни кўрсатдики, осил бўладиган уюрманинг интенсивлиги конуснинг бурчагига бо ли экан. Конус бурчаги уйидаги орали да бўлганида $8^{\circ} \leq \alpha \leq 13^{\circ}$, уюрма интенсивлиги камайиши ани ланган.

14



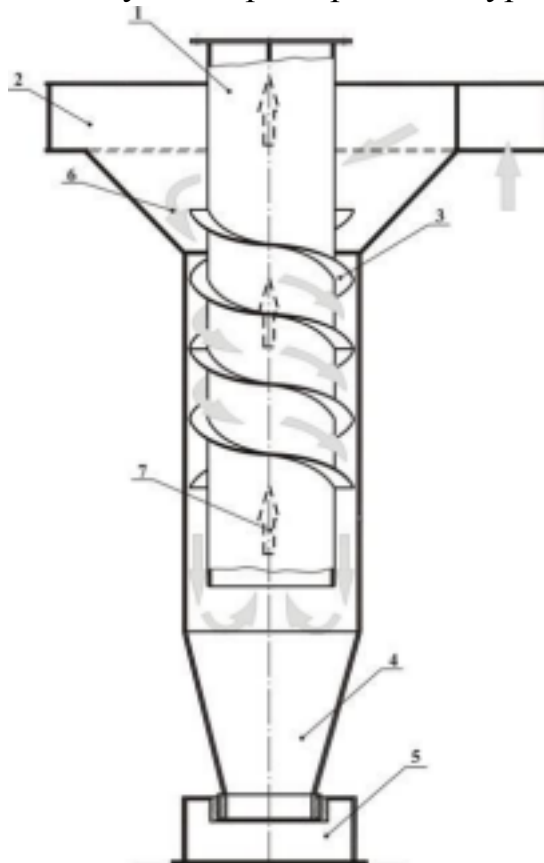
3-рас . им тезлигининг йўналишлари

осил бўладиган уюрма чанг тутгичнинг самарадорлигига салбий таъсир кўрсатади, чунки корпус девори олдида йи илиб, бункер томон ара кат илаётган чанг уюрма туфайли ор ага уло тирилиб ташланади ва нати жада чанг заррачалари тозаланган аво трубасига сўрилиб кетишлари куза тилади. Ўтказилган стенд тажрибалари шуни кўрсатдики, фа ат конус бурча гини оптималлаш йўли билан чанг тутгич самарадорлигини 40%дан 75%гача кўпайтириш мумкин экан. Физика ну таи назаридан, уюрманинг осил бўли ши, (4) тенгламалар тизимидаги биринчи тенгламанинг ўнг томонида турган уюрма манбаини мавжудлигидадир. Демак, осил бўладиган уюрманинг интенсивлигини яна ам камайитириш учун ушбу манбани минимумга келти риш зарур бўлади. Диссертациянинг 2.2 бўлимид авони айлантириш учун шнекли каналдан фойдаланилганда ушбу манба сезиларли равишда кама йиши асосланган. Натижада шнекли чанг тутгичи ишлаб чи илган (4-расм).

Ишлаб чи илган шнекли чанг тутгичларнинг 32 донаси Олмали КМК АЖ даги ак заводига ўрнатилган ва синовда уларнинг самарадорлиги 85 фоиздан кам эмаслиги аниқланган. Шнекли чанг тутгичлар ўрнатилгунга адар ишлаб турган ЦН-15 серияли циклонларнинг самарадорликлари эса 69%дан ортмаган. Ўлчовлар ишлаб чи илган чанг тутгичларнинг ва ЦН-15 циклонларнинг аэродинамик аршиликлари деярли бир хил эканлигини кўрсатган. Шнекли чанг тутгичларнинг сериядаги циклонларга нисбатан самарадорлиги кўп бўлишига арамай, уларда бир атор камчиликлар мавжуд. Биринчиси – мураккаб конструкцияга эга, иккинчиси – самарадорлиги керакли даражада ори эмас, учинчиси – ёпиш лиги кучли бўлган чангларда, шнек каналларида уларнинг ти илиб олиш тимоли бор. Охир ги камчилик шнекли чанг тутгичларни татби этиш со асини кескин камай-

15

тиради. Шунинг учун бу камчилик бош хил, яъни чанг ти илиб олиш тимоли бўлмаган чанг тутгичларни яратишга туртки бўлди.



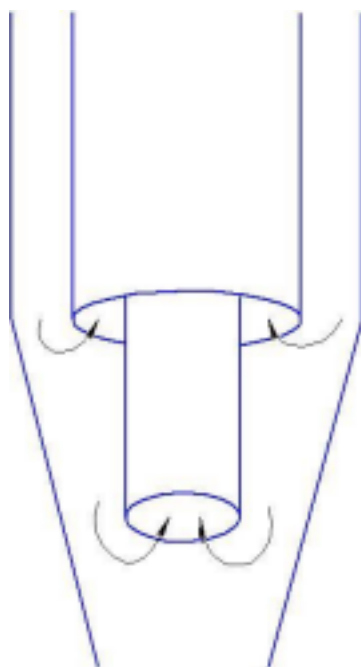
4-расм. Шнекли чанг тутгичнинг принцинал схемаси:

1 – тозаланган аво трубаси, 2 – авони абул илувчи, 3 – аво имини айлангириб берадиган шнекли канал, 4 – чанг тутгичнинг конуси, 5 – тутилган чанг бункери, 6 – им йўналиши, 7 – тозаланган авонинг йўналиши.

Та лиллар шуни кўрсатдики, чангнинг деворларга ёпишиб олиш тимоли оддий циклонларнинг конструкцияларида энг кичик бўлар экан. Аммо орида таъкидланганидек, уларда осил бўладиган уюрма интенсивлигини камайтириш

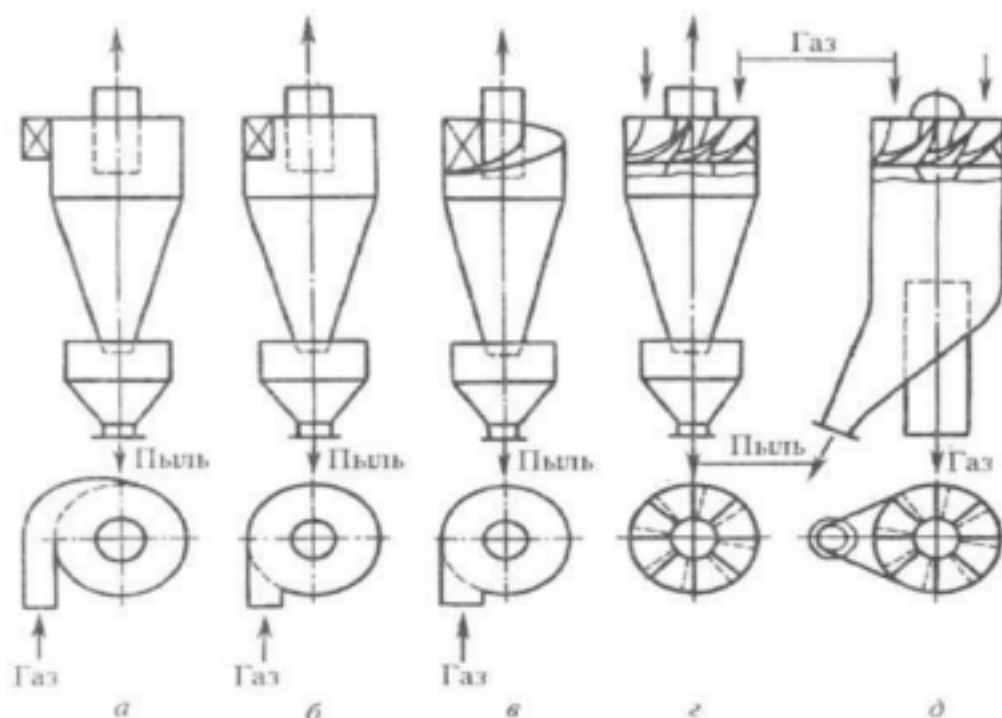
асосий муаммо бўлиб олади. Ушбу бобнинг учинчи бўлимида, махсус мослама ор али осил бўладиган уюрмани бартараф илиш мумкинлиги кўрсатилган. Ушбу мослама оддий патрубкка бўлиб (5-расм), тозаланган аво трубагининг кириш исмига ўрнатилади. Ушбу патрубканинг хизмати шундан иборатки, тозаланган аво труб касига кирадиган имни та симлаб беради. Натижада имнинг узилиш тимоли камаяди, яъни им тур унлашади. Шунинг учун, бу мослама ста билизатор деб номланган. 2.3 бўлимда, стабилизаторли чанг тутгичдаги имнинг аэродинамикаси сонли ўрганилган ва стабилизаторнинг имни тур унлаштириш хусусиятига эга эканлиги исботланган.

16



5-расм. Стабилизаторли марказдан очма чанг тутгич

Чанг тутгичнинг самарадорлигига катта таъсир кўрсатадиган яна битта элементлардан, бу авони айлантриб берувчи мосламалар. Шунинг учун диссертациянинг 2.4 бўлимида ушбу мосламаларнинг ар хил турлари та лил илинган. Кириб келаётган авони айлантриб берувчи мосламалар асосан беш турга бўлинади:) спиралли;) тангенциалли;) винт кўринишидаги;) розеткили, ор ага айтувчи имга мўлжалланган;) розеткили, тў ри кетувчи имга мўлжалланган (6-расм).



6- асм. авони айлангириб берувчи мослама турлари

Ушбу бўлимда спиралли мосламанинг бош аларга нисбатан афзал эканлиги математик услубда исботланган. Шунинг учун ушбу турдаги мос-

17

ламадан ори самарага эга бўлган марказдан очма чанг тутгичларни ишлаб чи ишда фойдаланилган. Натижада, лаборатория шароитида чанг тутгичнинг самарадорлиги 96 фоизгача кўтарилган. Ушбу кўрсаткични яна ам ошириш ма садида охирги йиллардаги матбуот ва патентлардаги ихтиро этилган чанг тутгичлар та лил илинган. Натижада ихтиро этилган ар хил мосламалар ясалиб, лаборатория шароитида синаб кўрилди. Лекин синовлар ижобий натижалар бермади. Шу сабабдан аво имидан таш ари, ундаги чанг заррачаларининг физикасини ам ўрганиш зарурати пайдо бўлди.

Диссертациянинг “ **анг заррачаларининг ва аэрозолларнинг чанг тутгич ичидаги динамикаси**” деб номланган учинч бобидаги 3.1-бўлимда турбулент имнинг хусусиятлари кўриб чи илган ва марказдан очма чанг тутгичдаги им турбулент хусусиятга эга эканлиги кўрсатилган. Аммо бу хусусият девор олдида, чанг тўпланадиган со ада намоён бўлади. Шунинг учун икки фазали имни математик моделлаштиришда им со асини асосий ва девор олди со аларига бўлиш тавсия этилган. имнинг асосий со аси девордан йиро бўлиб, ерда кичик масштаби турбулентлик юзага келади. Шунинг учун ушбу со ада аво имини математик модел лаштиришда аэродинамиканинг Эйлер тенгламаларидан фойдаланиш мум кин. Девор олдида эса, аво имининг ва чанг заррачаларининг аракатла ри хаотик хусусиятига эгадирлар, демак, ушбу со ада субстанцияларнинг диффузион кўчиши асосий ўринда бўлади.

3.2-бўлимда чанг заррачаларига таъсир иладиган барча кучларнинг та лили берилган. Бу кучлар ба оланиб, улар марказдан очма ва гидроди намик

Кўп оллarda чанг заррачалари билан биргаликда сую аэрозоль томчиларини ам тутиш зарур бўлади. Аэрозоллар атмосферага чи ариб ташла надиган саноат газларининг конденсацияланиши туфайли содир бўлиши мумкин. Бундан таш ари, аэрозоллар ўл-инерцион чанг тутгичларда ам содир бўлади. Чунки бундай чанг тутгичларда чангли аво сув билан пур калиб намланади. Шунинг учун 3.3-бўлимда кичик аэрозолларнинг динами каси амда исси лик ва масса алмашуви жараёнлари эркин молекуляр модели ор али ўрганилган. Келтириб чи арилган исоб формулалари ўл инерцион чанг тутгичларни ишлаб чи ишда ва лойи алашда амиятга эгадирлар.

Кўрилган масалани ечиш учун икки фазали имнинг гидродинамик тенгламалари сферик r, θ координаталарда ўрганилган:

$$\begin{array}{l} (\sin)^0, \sin^1 \\ \text{TM} \partial^2 \\ \text{TMTMTMTMT} \subset = \partial \partial \\ \notin \\ 2 \\ r r \partial + r V_r r \\ \theta \theta \\ V \\ \rho \\ \rho \theta \\ \rho \\ \partial \\ V \\ \partial = \partial \partial \\ \partial \partial \\ 1 1 \partial \\ p p p p \\ V \\ + \\ r \\ \partial \\ r \\ \theta \\ 2 \\ 2 \\ \theta \theta \\ \theta \\ r r r \partial \\ r r \\ \partial \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 &= {}^{+ -} \partial \partial \\
 &(\sin) 0, \sin () 1 \\
 &\text{TMTMTMTM} \text{TM} \odot \partial r^2 + \theta^{\theta \theta \phi \phi} \\
 &\quad (7) \\
 &2 \theta \theta \\
 &r r \\
 &r r \theta \\
 &\partial \\
 &r r
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\theta \\
 &= - + \\
 &ctg \\
 &(\sin) 0. \sin () 1 \\
 &\partial r^2 + \partial \theta r^{\theta \phi \phi} \\
 &2 \theta \theta \theta \theta \\
 &r r \\
 &r \\
 &\partial r \partial r
 \end{aligned}$$

(7) системадаги импульс имининг тензорлари уйидагиларга тенг: ρ

$$\begin{aligned}
 &\partial - \partial = + + - + \\
 &\text{TMTMTMTM} \text{TM} \subsetneq \\
 &2 V_r \\
 &\rho \rho \nu \rho \rho p V^p \\
 &() 2 () 2, \\
 &r r V V \\
 &\rho \partial \sim - V_D \\
 &DV_r \partial = + + - + \\
 &2, {}^1 () 2 ()^{\wedge} \mathfrak{J} \supseteq + \\
 &2 \theta \rho \rho \nu \rho \rho p V \theta \theta \\
 &\underline{\theta \theta} \\
 &\underline{r}^p \\
 &p^t p r \partial r \downarrow r \partial \theta
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \theta & \rho & \rho & v & \rho & \rho & \\ \theta\theta & & & & & & \\ r & \partial & r & + & \frac{rprtp}{\theta\theta} & + & \underline{rr^pp} \\ & & & & \downarrow & & \\ & & & & r & \partial & \frac{\theta}{\theta} & r & V \end{array}$$

[illegible]

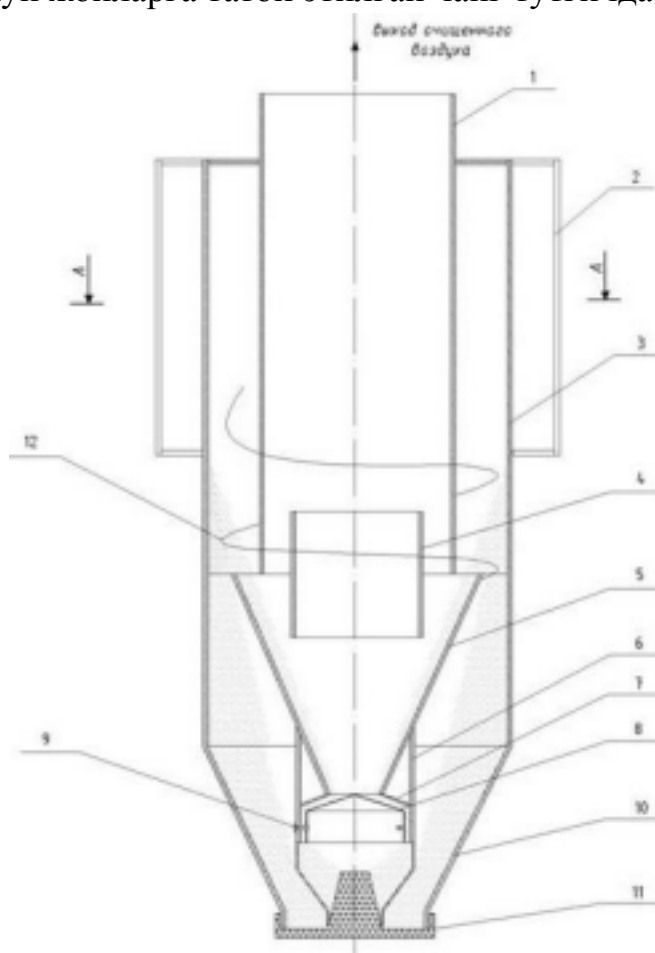
Бу формуладаги Sc – Шмидт сони, V_0 – соф турбулент аво имининг кине матик овуш лик коэффиценти. Олинган натижалар . . Ландау ва . . Румерларнинг ечимларини умумлаштиради. Кўпчилик чанг заррачалари учун $Sc = 1$. Келтириб чи арилган (9) формулалардан чанг заррачаларининг девор олди со асидаги кўчишини исоблашда фойдаланилган. Натижада девордан Δ масофагача бўлган заррачалар улуши η учун уйидаги формула келтирилган:

$$_0 / 1^v$$

$$\eta^{-\Delta} = -^u e \quad (10)$$

19

Бу ерда, u - заррачанинг марказдан очма куч таъсирида эришадиган радиал тезлиги. Бу формула бўйича исоблар шуни кўрсатадики, радиуслари $_1 R = 5 \text{ см}$ ва $_2 R = 10 \text{ см}$ бўлган чанг тутгич учун, калибри 5 мкм чангнинг тахминан 87 фоизи, $\Delta \spadesuit 2 \text{ см}$ атлам остида бўлади. Кўриниб турибдики, ушбу атлам коаксиал каналнинг сезиларли хажмини эгаллайди. Бу атлам нинг осил бўлиши, самарадорликка салбий таъсир кўрсатади. Чунки, ат ламнинг ори исмидаги чанг заррачалари тозаланган аво трубасига сўрилиб, таш арига чи иб кетиши кузатилади. Демак, ушбу атлам баланд лигини камайтириш ёки уни бутунлай бартараф этиш, самарадорликнинг ошишига замин бўлади. Ушбу муаммо ишлаб чи илган ва кўп жойларга татби этилган чанг тутгичда ижобий



хал илинган (7-расм).

7- расм. Ишлаб чи илган марказдан очма чанг тутгич:

1 – тозаланган аво трубаси, 2 – спиралли канал, 3 – корпус, 4 – стабилизатор, 5 – чанг тутгич конуси, 6 – майда чанг бункерининг корпуси, 7 – кенгаювчи конус, 8 – аво айтаргичи, 9 – муста камловчи болт, 10 – йирик чангни йи увчи бункер, 11 – бункерлар оп, 12 – имнинг траекторияси.

Ушбу ускунанинг ишлаш принципи шундан иборатки, аво спиралли каналда 1 айланма аракатга эришади ва чанг аррачалари марказадан очма куч таъсирида корпус 3 олдида тўпланади. Бу ерда улар коагуляция исобига

йириклашиб, чанг атламини осил илади ва инерцияси туфайли 3, 10, 11, 6, 5 орали ига киради. Ушбу ораликқ асосан катта калибрдаги чанг заррачалари йи илади. Шунинг учун йирик ва ўрта чанглар бункери бўлиб

20

хизмат илади. Майда чанглар эса, чанг тутгичнинг конус 5 исмига ўтиб, конус девори бўйлаб пастга, ички бункер томон аракат иладилар. Бункерга кириш исмида аво айтарувчи 8 ўрнатилган. аво унда айтиб, тепадаги труба томон аракат илади, чанг заррачалари эса 7 ва 8 орали бўйлаб

аракат илиб, майда чанглар бункерига киради. Ишлаб чи илган чанг тутгич ори самарага эга бўлишининг сабаби шундан иборатки, йирик ва ўрта чанглар бункерига чангларнинг 90 фоиздан орти йи илади, шунинг

исобига конус исмидаги чанг атлами кескин камаяди. Бу эса атламнинг ори исмидаги чангларнинг тозаланган аво трубасига сўрилиб кетишини кескин камайтиради, натижада самарадорлик 96 фоиздан 99 фоизгача ортади.

Диссертациянинг **“Чанг тутгичнинг аэродинамик аршилиги, самарадорлиги ва унинг оптимал параметрларини исоблаш услублари”** деб номланган тўртинчи бобидаги 4.1-бўлимда чанг тутгичнинг турли исмлари учун аэродинамик аршилигини исоблаш формулалари келтири чи арилган. Ушбу исмлар уyiдагилардан иборат (8-расм): 1– спиралли канал; 2 – авонинг айланма аракатга эришиб, коаксиал каналга кирадиган исм; 3 – коаксиал канал; 4 – имнинг бурилиб, тозаланган аво трубасига кирадиган жой; 5 – тозаланган аво трубаси.

Чанг тутгичнинг тўли аэродинамик аршилиги ушбу исмлардаги йў олган босимларнинг йи индисига тенгдир. Шу сабабдан, ар бир исмдаги аршилиқни ани лаш учун, йў олган босимни исоблаш формулалари ани ланган.



21

имнинг киришдаги ўртача тезлиги уйидагича топилади:

$${}^0 2a \ b \quad {}^0 0$$

имнинг спираль каналидан чи аётгандаги ўртача тезлиги уйидагича:

ab

имнинг кириш пайтидаги Рейнольдс сони - v

$$68.5 \pm 0.11 \quad \begin{matrix} \mathfrak{I} \supseteq \\ \mathfrak{I} \not\subseteq \end{matrix} +$$

$$\Delta = \frac{D_{6x}}{0.25}$$

Иш аланиш коэффициенти -

λ . ЧАНГ ТУТГИЧ

$${}^0\text{Re}_0$$

деворининг да аллиги - $\Delta = 0.15 \text{ мм}$.

Спиралли каналдаги йў олган босим уйидагича исобланади: ρ

$$\Delta = \frac{\lambda_{D_{ex}}}{2^2 \frac{U_1}{U_0} \exp(\frac{9}{3})} \left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\gamma}{\varphi} \right)^{\frac{1}{3}} - +$$

$$\beta \alpha + \frac{1}{4} = \frac{P}{P_0} \quad (14)$$

Бу ерда, $\ln(\frac{\gamma}{\varphi}) \alpha = D_{ex} D_{exl} \ln(\frac{\gamma}{\varphi})$. $\beta = U_1 U_0$

имнинг коаксиал каналдаги бўйлама тезлиги йидагига тенг: $G V_{-} = \pi \cdot (15)$

$$\left(\frac{r}{r_0} \right)^2$$

аво айланма аракатга эришиб, коаксиал каналга кирган пайтдаги йў отилган босимни исоблаш формуласи уйидагича:

$$(1) \frac{2}{2} \frac{2}{2}$$

$$p \rho \xi \rho$$

$$U V$$

$$+ \Delta = \dots \quad (16)$$

$$\omega = k \cdot \frac{1}{2}$$

Бошлан ич бурчак $\frac{1}{0} r$
тезлиги - $\frac{1}{2}$

$$2 \frac{2}{2} U$$

Коаксиал каналнинг эффектив диаметри $- 2 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{0.25} = \dots$

$$\text{Re} D \left(\frac{r}{r_0} \right)^{+ +} = \dots$$

$$\omega^2$$

Коаксиал каналдаги Рейнольдс ^{2 1}

сони - ν

$$\frac{68.5}{0.11} \frac{\gamma}{\gamma} \frac{\varnothing}{\varnothing} = +$$

$$\Delta = \frac{D_{\text{эф}}}{0.25}$$

$$\sim \downarrow \wedge$$

Иш аланиш коэффициенти – ⁰Re
 λ .

$$\lambda \omega \xi_{\xi -} + = \frac{L}{V} K^4$$

Коаксиал каналдаги босимнинг йў олиши: ['] 1 1 2 () 4

$$\Delta = + + - \frac{\rho}{\xi \xi} \rho \omega \lambda_K$$

$$V_L^2$$

$$\sim \downarrow \wedge$$

$$\frac{r}{\gamma} \frac{\gamma}{\varnothing} \frac{\varnothing}{\varnothing} = +$$

$$\frac{1}{(1)} \frac{1}{1} \frac{2}{2}$$

$$P (17)$$

$$\frac{0}{2} (1 ())$$

$$2 \cdot 4^2 D$$

имнинг тозаланган аво увури кириш пайтидаги босимнинг йў олиши: ²²

$$\rho \xi + \Delta = (18)$$

$$\frac{p}{V} \frac{\rho \omega}{r}$$

$$\frac{1}{2}$$

$$4 \cdot 4 \cdot r \cdot K$$

1

1

Чанг тутгичнинг тўли аршилиги оорида келтирилган босимларнинг йў олишлари йи индисига тенгдир

$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4 + \Delta p_5$. (20) Диссертациянинг 4.2-бўлимида келтириб чи арилган формулаларнинг натижалари тажрибадан олинган натижалар билан таққосланган. Тажрибалар ва исоблаш натижаларини солиштириш учун Олмали КМК шахталаридаги LK 07 русумли погрузчикларга татби этилган чанг тутгичи олинган. исоб натижалари (чизи) ва тажриба натижалари (ну талар) 9-расмда келтирилган. Кўриниб турибдики, келтириб чи арилган формулаларнинг натижалари тажрибаникига жуда ин.

Учинчи бўлимда чанг тутгичнинг самарадорлигини ани лаш учун унинг биринчи бос ичининг (чангларнинг биринчи бункерга йи илиши) самарадорлигини исоблаш формуласи келтириб чи арилган. Маълум бир

калибрдаги чанг учун самарадорлик коэффиценти уйидагича исобланади:

$$\begin{aligned} & \subseteq \cup \sim \wedge \\ & \in \sim \downarrow \\ & \sim \supseteq + - - = 9 () (1 ()) \\ & () 1 \exp \frac{1}{1} ()^2 \end{aligned}$$

$$\delta \rho \omega \xi$$

$$C_m L . (21)$$

$$\xi \eta \delta_{VK}$$

$$^2 \xi \rho v \xi$$

23

Бу ерда ξ - трубаларнинг диаметрлари нисбати, C_m - Кеннингем

коэффиценти, δ - заррача диаметр , ρ - заррача материалининг зичлиги, ω_0 - коаксиал каналнинг бошидаги бурчак тезлиги, L – коаксиал каналнинг узунлиги, $V(\xi)$ - имнинг бўйлама тезлиги, ρ - авонинг зичлиги, V -

авонинг молекуляр овуш лиги, $K(\xi)$ - коаксиал канал учун оорида келтирилган. Агар чангнинг дисперсия таркиби берилган бўлса, яъни δ размерли заррачанинг масса улуши , ε маълум бўлса, тўли самарадорлик

уйидагича ан ланади:

N

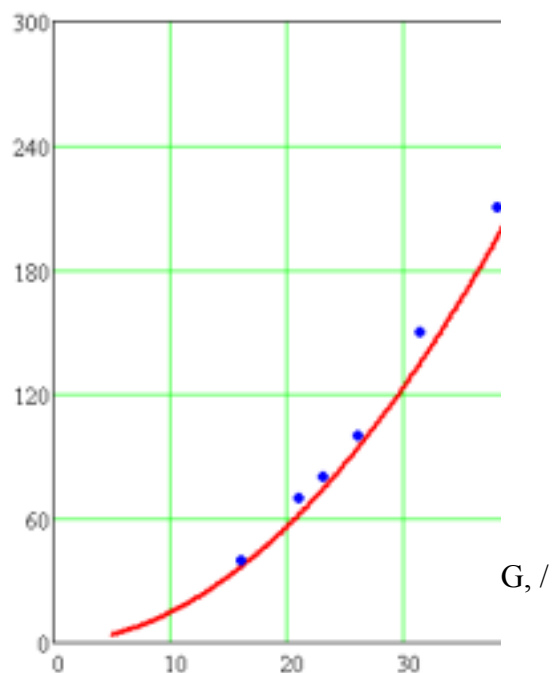
$$= \mathfrak{N}, (22)$$

$$\eta \varepsilon \eta \delta$$

$$()$$

i
=

бу ерда, N - фракциялар сони. ,
Па



ii

9-расм. Чанг тутгич аршилигининг унумдорликка бо ли лиги

4.4-бўлимда чанг тутгичнинг иккинчи бос ичини самарадорлигини ани лаш услуби берилган. Бу услуб шундан иборатки, гидродинамика тенг ламалари (4) асосларида чанг заррачаларининг траекториялари топилиб, статистика ор али ушбу заррачаларнинг анчаси тутилиши исобланади.

$$\mathfrak{E} = - \frac{DV}{C} \text{ пмд}$$

$$C = - +$$

$$m V V_{p z z p}$$

$$3$$

$$()$$

$$Dt C^m$$

2

$$DV m V \text{ пмд}$$

$$3$$

$$(), r p p p$$

$$(23)$$

ϕ

$$m V V$$

$$p r r p$$

$$D_t C r^{\text{TM TM}} = - \text{TM} \quad \text{©}$$

$$D V_{\phi p}^m \quad \quad \quad 3 \quad () .$$

$$\text{пм} \delta$$

$$m V V_{pp}$$

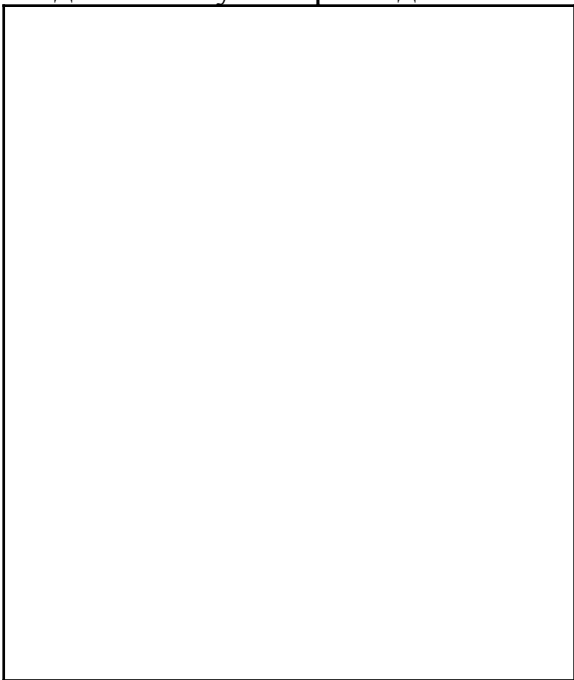
$$D t C_m \quad \quad \quad \phi \phi$$

24

Бу ерда, V_r , V_z , V – аво имининг тезликлари; m_p – заррача массаси, V_{zp} , V_{rp} , $V_{\phi p}$ – заррача тезликлари, δ - заррачанинг диаметри; D_{Dt} - субстанционал осила, μ_m – Кеннингем коэффиценти.

Кейинги 4.5-бўлимда чанг тутгич диаметрларининг оптимал нисбати топилган. Ушбу оптимал нисбат, чанг тутгич самарадорлигининг максимал ийматга эришишини таъминлайди. 10-расмда тутилган энг кичик чанг заррачаси калибрининг ускуна диаметрлари нисбатига бо ли лиги кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, диаметрлар нисбати $\xi \spadesuit 0.66$ бўлганда, тутиладиган чангларнинг ўлчами минимумга эга бўлади. Демак, чанг тутгичнинг самарадорлиги ам ушбу нисбатда максимумга эришади.

$\delta(\xi)$
4.5



10- асм. Тутилган энг кичик чанг калибрининг диаметрлар нисбатига болиги

Назарий йўл билан топилган оптимал нисбат лаборатория тажрибаларида ам ўз исботини топди.

4.6-бўлимда чанг тутгичлар ва аво тозалагичларнинг самарадорликларини ўлчаш усуллари берилган. Ушбу бўлимда чанг тутгичнинг самарадорлиги ажрибада портландцемент 400 чанги учун ўлчанган ва олинган формулалар натижалари билан солиштирилган. Портландцемент 400 чангининг дисперсия таркиби 1-жадвалда келтирилган.

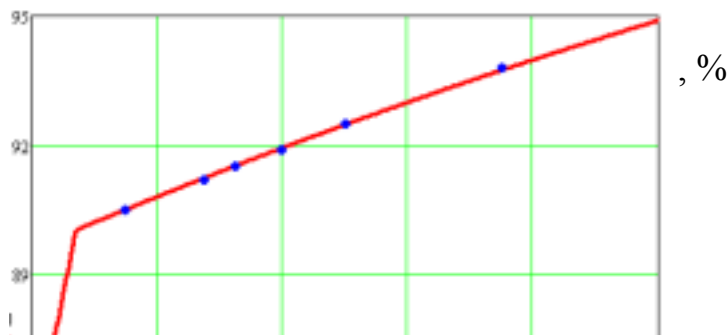
11-расмда шахта LK 07 погрузчикларига мўлжалланган аво тозалагичининг самарадорлиг, двигатель унумдорлигига болиги чизи ор али кўрсатилган. Ушбу расмда ну талар тажриба натижалари. Кўриниб турибдики, назарий исоблар тажриба натижалари билан яхши мос тушмо да. Бу олинган назарий формулаларнинг адекват эканлигидан далолатдир.

25

1-жадвал

ортландцемент 400 чангининг дисперсия таркиби.

алибр орали , мкм	Ўртача калибр , мкм	ракциянинг улуши, %
0...10	5	12,0
10...20	15	36,2
20...30	25	19,39
30...40	35	17,2
40...50	45	12,8
50...60	55	0,3
60...70	65	1,2
70...80	75	0,8
80...90	85	0,3
90...100	95	1,2



G, /

11-рисм. аво тозалагич самарадорлигининг двигатель унумдорлигига бо ли лиги

Диссертацияда олинган натижалар самараси ори бўлган чанг тутгичларни ва аво тозалагичларни ишлаб чи аришга имкон берди. Ушбу ишлаб чи илган ускуналар, нафа ат чет эл ускуналаридан кам эмас, балки баъзи бир параметрлари билан атто устун амдирлар. Ишлаб чи илган чанг тутгичлар ва аво тозалагичлар Ўзбекистон Республикасининг турли объектларига татби этилган ва озирги кунгача муваффа иятли ишлаб келмо да.

26

ХУЛОСА

« эродинамика жараёнлари асосида ори самарали марказдан очма чанг тутгичларни ишлаб чи иш» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тад отлар натижасида уйидаги хулосалар та дим этилди:

1. Чанг тутгичдаги имнинг динамикасини Мда сонл ечиш усули билан ўрганиш натижасида, марказдан очма куч асосида ишлайдиган чанг тутгичларда осил бўладиган уюрмалар самарадорликка салбий таъсир кўрсатадиган асосий омил эканлиги ани ланди.

2. имларнинг тур унлик назарияси асосида олиб борилган тад отлар илк бор чанг тутгичдаги авони айлангириб берувчи мосламалар самарасини ани лаш имконини берди. Бу со адаги тад отлар исти болда самарали чанг тутгичларни ва аво тозалагичларни ишлаб чи ишда му им амият касб этади.

3. Чанг тутгичларда ва аво тозалагичларда осил бўладиган уюрмаларни бартараф илишга йўналтирилган тад отлар махсус мосламани ишлаб чи ишга имкон бериб, чанг тутгичнинг самарасини 20% гача оширишга хизмат илади.

4. Икки му итли турбулент имнинг динамикаси ва массанинг тар алиши бўйича тад отлар илк бор овуш лик ва диффузия коэффициентларини

аналитик равишда ани лаш имконини берди. Бу со адаги тад отлар чанг тутгичнинг биринчи бос ич исмларининг ўлчамларини исоблашга хизмат илади.

5. Чанг тутгичнинг аэродинамик аршилиги ва самарадорлигини ани лаш усуллари ишлаб чи илди. Олинган натижалар чанг тутгичларни ва двигатель аво тозалагичларини лойи алашда му им амият касб этади.

6. Чанг тутгич ва двигатель аво тозалагичларининг ишчи исмларини оптималлаш усули ишлаб чи илди. Бу со адаг тад отлар ихчам, ори самарага ва кичик аэродинамик аршиликка эга бўлган чанг тутгичларни, амда двигатель аво тозалагичларини ишлаб чи ишга имкон яратади.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК 16.07.2013 /FM.02.02 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПО ОТРАСЛЕВОМУ
МАШИНОВЕДЕНИЮ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

МАЛИКОВ ЗАФАР МАМАТКУЛОВИЧ

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

01.02.05 – Механика жидкости газа (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

ТАШКЕНТ – 2016

28

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № 12.05.2015/B2015.1.T463

Докторская диссертация выполнена в научно-исследовательском центре по отраслевому машиноведению при Ташкентском государственном техническом университете

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский) размещён на веб-странице по адресу www.tdtu.uz и информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу (www.ziynet.uz).

Научный консультант:

Ризаев Анвар Абдуллаевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Равшанов Нормакмат
доктор технических наук, профессор

Шокиров Анвар Одилович
доктор технических наук, профессор

Василевский Эдуард Борисович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Навонийский государственный
горный институт

Защита диссертации состоится «28» 07 2016 года в 10⁰⁰ часов на заседании
разового научного совета на основе научного совета 16.07.2013 Т/FM.02.02 при Ташкент-
ском государственном техническом университете и Национальном университете Узбеки-
стана. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская 2. Тел/факс (99871) 227-10-32,
e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном
центре Ташкентского государственного технического университета за № 15. Адрес:
100095, г.Ташкент, Университетская улица 2, Тел.(99871) 246-46-00.



ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность востребованность темы диссертации. мире бу - ное развитие промышленности наряду ростом выпуска промышленной продукции привело увеличению негативного воздействия производства на окружающую сред . Это свою очередь ставит перед исследователями - вые задачи, том числе об уменьшени промышленных отходов, количества выбрасываемых атмосферу токсичных газов. За последние пятьдесят лет выбросы углеродных соединений атмосферу увеличилось 9 раз. резул - тате этого окружающая среда загрязняется возникает глобальная эколог - ческая проблема.

При ешени возникших проблем, предотвращении экологических - тастроф процесса глобального потепления климата важное значение имеет уменьшение воздействия промышленных выбросов окружающую среду. том числе, применение пылеочистительных средств эффективных пыл -

уловителей при очистке выбрасываемых окружающую среду газов пр - цессе производства товаров является актуальной задачей. Пылеуловители необходимы не только для очистки промышленных газов, но для обеспеч - ния работы двигателей внутреннего сгорания автомашин оптимальном ритме. се транспортные средства, используемые при добыче полезных - копаемых, эксплуатируются условиях высокой запыленности. таких условиях абразивные част цы пыли, проникая рабочую камеру двигателя, являются причиной износа его поверхностей приводят уменьшению мощности двигателя, увеличению расход топлива смазочных матери - лов.

После достижения независимости нашей стране во многи отраслях промышленности большое внимание уделяется локализации производс ва, том числе, особое внимание уделяется усовершенствованию разработке пылеочистительных устройств соответствии климатическими особенн - стями республики. Более 80% пылеочистительных средств, используемы промышленности, являются пылеуловителями, работающими на основе це - тробежной силы. Поэтому, проведение научно-исследовательских работ по усоверше ствованию разработка новых конструкций высокоэффективного пылеуловител такого типа имеет важное научно-практическое знач ние.

Данное диссертационное исследование определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Постановления Кабинета Мин - стров Республики Узбекистан 232-1 от 26 апреля 1996 года «Об утвержд - нии ст ва комитета по хране окружающей среды» ПП-142 от 27 мая 2013 года « программе ействий по охране окружающей среды Республик - бекистан на 2013-2017 годы».

Соответствие исследования приоритетным направлениям ра - вития науки технологий республик . Данное исследование выполнено соо ветствии приоритетным направлением II развития науки технологий ре публики «Энергетика, энергия ресурсосбережение».

30

Обзор международных научных исследований по теме диссерт - ции¹. Научные исследования, направленные на изучение аэродинамических процессов многофазного потока внутри пылеуловителей проводятся во мн - гих ведущих научных центрах мира, том числе NASA Glenn research cen ter, Boeing Scientific Research Laboratories, Massachusetts institute of tech nology, Stanford university (США), Cambridge university (ликобритания), Hettingen laboratory (Германия), The Air Systems Research Center (Япония), China Aerodynamics Research and Development Center (Китай), Московском государственном ун верситете (Россия) Ташкентском государственном техническом университ те.

результате проведенных мире исследовани по изучению проце - сов внутри пылеуловителей, получены ряд научных результатов, том числе: разработаны различные конечно-разностные методы методы конечных

элементов для численного решения уравнений для многофазных потоков (Stanford university, Boeing Scientific Research Laboratories, Cambridge university, Massachusetts institute of technology, США); получены аэродинамические эффекты для многофазных потоков (Cambridge university, Великобритания); получена математическая модель динамики свободного турбулентного потока при обтекании препятствий (Hettingen laboratory, Германия); разработаны конструкции высокоэффективных вихревых пылеуловителей (The Air Systems Research Center, Япония); разработан механизм сепарации пылевых частиц выбрасываемых газов (China Aerodynamics Research and Development Center, Китай), разработана конструкция каскадного многоступенчатого пылеуловителя для очистки газа от металлургических печей (Московский государственный университет).

В мире по усовершенствованию конструкций пылеуловителей проводятся исследования по ряду приоритетных направлений, том числе: математическое моделирование турбулентных многофазных потоков; разработка эффективных алгоритмов для численного решения этих моделей; усовершенствование конструкций пылеуловителей на основе процессов протекающих по законам аэродинамики.

Степень изученности проблемы. Пионерские работы по исследованию аэродинамики многофазных сред проведены ещё XIX веке. Однако XX веку, практическое значение многофазных потоков существенно возросло за счет исследований ученых теория многофазных сред получило значительное развитие. В 1967 году Фортье разработал теорию миграции для многофазного турбулентного потока. Данная теория получила свое дальнейшее развитие в работах европейских американских ученых (Фридлендера,

¹ Обзор международных научных исследований по теме диссертации <http://www.nasa.gov/centre/glenn/home/index.html>; <http://universal.ru/en.academic.ru/66921/>; Wildes, Karl L.; Lindgren, Nilo A. (2005). A Century of Electrical Engineering and Computer Science at MIT, 2006-2009. Cambridge, Mass.: MIT Press. ISBN 9780262231190; Stuart W. Leslie: The Cold War and American Science: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford. Columbia University Press, New York [u. a.] 1993, ISBN 0-231-07958-3; http://www.mod.go.jp/trdi/en/research/kenkyu_koukuu_en.html; University of Cambridge (ed.). "The Revived University of the Nineteenth and Twentieth Centuries" Retrieved 7 August 2014; <http://www.utias.utoronto.ca>; <http://www.cards.cn:88>; <http://universal.ru/en.academic.ru/240165/>; История Московского университета. . 1—2. ., 1955; На рубеже двух столетий/ . . Бюшгенс, . . Бедржицкий. . : ЦАГИ, 2008. 480. — ISBN 5-02-007017-3; Фортье . Механика суспензий. // . : Мир, 1971; Рахматуллин . . Основы газовой динамики

взаимопроникающих движений сплошных сред. // ПММ, 1956, .20; Нигматулин . . Динамика многофазных сред.//Москва, Наука, 1987; Faizullaev D.F. Laminar motion of multiphase media in conduits.//Consultants bureau, New York, 196 др.

Джоунстоуна, Оуэна, Дейвиса, Била, Земеля др). ольшой вклад развитие этой области внес узбекский ученый, профессор Московского университета . .

Рахматулин. Он является основоположником теории взаимопроникающих движений многофазных потоков. . . Рахматулин первым составил систему уравнений для сжимаемой многофазной среды, проанализировал основные законы распространения волн, разработал основы теории пограничного слоя двухфазной смеси. Теория . . Рахматулина нашла широкое применение в гидротехнике, химической технологии, атомной энергетике.

в качестве ученого, внесший существенный вклад развитие теории мног -

фазного потока можно упомянуть академика АН . . Нигматулин , кот - рый является учеником . . Рахматуллина. . . Нигматулин своих матем - тических моделях уч взаимодействию частиц межд собой дополнил - стему уравнений многофазной смеси. Узбекистане для развития ламина - ных течений многофазных сред, существенный вклад внес профессор . . Файзуллаев.

Несмотря на большие достижения исследований области многофа - ных потоков, существует немало нерешенных проблем. Например, до сих пор не выведены строгие математические уравнения для турбулентного - чения многофазной среды. Существующие математические модели носят основном эмпирический характер не всегда адекватно описывают возник - ющие явления турбулентных многофазных средах. Это можно наблюдать особенно закрученных потоках внутри центробежных пылеуловителей.

Связь темы диссертации научно-исследовательскими работами учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено рамках плана научно-исследовательских фундаментальных пр - ектов научно-исследовательского центра по отраслевому машиноведению при Ташкентском государственном техническом университете .13-12 по теме «Процессы переноса тепла концентрации взвешенных частиц турб - лентном струйном потоке» (2012-2014), также хозяйственных договоров 02-1541 . «Разработка опытно-промышленное испытание вихревого пылеуловителя цинковом заводе ОАО АГМК» (2010-2011), 02-2180 . «Модернизация внедрение инерционного фильтра для подземного автотранспорта, работа - щего условиях высокой запыленности» (2011-2012), 02-2092 . «Разработка высокоэффективного воздухоочистителя для двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов» (2012-2013), 14/2012 «Внедрение инерционного воздухоочистителя для двигателей транспортных средств НГМК» (2012-2013), 02-1466 . «Промышленные испытания разработкой конструкторской документации внедрение инерционного воздухоочистителя для двигателей внутреннего сгорания большегрузных автомобилей» (2013-2014).

Целью исследования является разработка промышленных высокоэффективных центробежных пылеуловителей, также воздухоочистителей для

32

двигателей транспортных средств специальной техники на основе теории аэродинамики многофазных сред.

Задачи исследования:

математическое моделирование динамики потока внутри центробежного пылеуловителя на основе уравнений гидродинамики;

разработка численного метода расчета уравнений гидродинамики; на основе численного эксперимента поиск оптимальных параметров элементов центробежных пылеуловителей, обеспечивающих безотрывное течение потока; повышение эффективности закручивающих потоков за устройств;

моделирование процессов потоке аэрозоли на основе кинетики; разработка методов определения сопротивления эффективности центробежных пылеуловителей;

разработка метода оптимизации геометрических параметров пылеуловителя;

на основе результатов исследований разработка модернизированного, высокоэффективного центробежного пылеуловителя.

Объектом исследования являются пылеочистительные устройства, используемые промышленности, также воздухоочистители для двигателей внутреннего сгорания.

Предмет исследования составляют конструкции, эффективность аэродинамическое сопротивление центробежных пылеуловителей. **Методы исследования.** диссертации применены методы численного исследования однофазных сред, методы аналитического анализа составленных уравнений, лабораторное тестирование полученных результатов. **Научная новизна исследования** заключается в следующем: разработана новая конструкция шнекового пылеуловителя; разработана новая конструкция воздухоочистителя, работающая на основе центробежной силы для двигателей автомашин;

усовершенствован метод определения аэродинамических параметров потока внутри пылеуловителя;

усовершенствована математическая модель процессов переноса массы тепла аэрозольном потоке на основе кинетической теории;

усовершенствованы методы определения эффективности аэродинамического сопротивления пылеуловителя;

разработан метод определения оптимальных параметров пылеуловителя.

Практические результаты исследования. Разработаны промышленные шнековые пылеуловители, работающие на основе центробежной силы воздухоочистители для двигателей внутреннего сгорания.

Достоверность полученных результатов основывается на корректной математической постановке задач гидродинамики, на апробированных методах известны алгоритмах для построения численных программ, также на

33

сопоставлены теоретически численные результатов экспериментальными данными.

Научная практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования определяется применением их при математическом моделировании многофазных сред численным решением выведенных уравнений.

Практическая значимость работы служит для разработки проектов высокоэффективных промышленных пылеуловителей воздухоочистителей для двигателей внутреннего сгорания автомашин.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов исследования аэродинамических процессов промышленно пылеуловителей воздухоочистителей:

внедрены нековые пылеуловители на «звестковом заводе» акционерного общества «Ламалыкский горно-металлургический комбинат» (справка от 18 ноября 2015 года акционерного общества АГМК №ФМ-7222). Эффективность внедренных пылеуловителей оказалась на 15-16% выше, чем у существующих пылеуловителей, позволили дополнительно удерживать 210-243 тонн пыли в год;

внедрены воздухоочистители для двигателей внутреннего сгорания на шахтных машинах Ангренского рудоуправления акционерного общества «Ламалыкский горно-металлургический комбинат», на самосвалах БелАЗ тепловых двигателей Государственного Предприятия «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка от 18 ноября 2015 года акционерного общества АГМК №ФМ-7222). Внедренные воздухоочистители позволили увеличить срок службы двигателей в 2 раза.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования диссертации прошли апробацию на 4- международных республиканских научно-технических конференциях, том числе: «Труды XVIII Научных чтений по космонавтике, посвященных памяти выдающихся ученых-пионеров освоения космического пространства» (Москва, 1994); «Геолотехнология: инновационные методы недропользования XXI века» (Москва, 2007); «Временная технология горно-металлургической отрасли пути их развития» (Навоий, 2008); «Энергосбережение, энергоэффективность возобновляемые источники энергии» (Ташкент 2015).

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 29 научных работ, из них 14 научные статьи (4 из них зарубежных изданиях), получен 1 патент на изобретение.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 149 наименований приложений. Диссертация изложена на 184 страницах машинописного текста, содержит 65 рисунков, 3 таблицы.

СНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновываются актуальность и востребованность темы диссертации, формулируются цель и задачи, также объект, предмет исследования, приводится соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, излагаются научная новизна, практические результаты исследования, обосновывается достоверность полученных результатов, раскрываются теоретическая

практическая значимость полученных результатов, приведены результаты внедрения диссертационной работы практику, сведения по апробациям опубликованным ботам, структуре объёму диссертации.

первой главе диссертации **«Обзор промышленных пылеуловителей воздухоочистителей для двигателя внутреннего сгорания»** приводятся характеристики всех типов промышленных пылеуловителей воздухоочистителей, которые используются для очистки воздуха для двигателя внутреннего сгорания техники. Подробно излагаются их достоинства и недостатки. Дается обоснование развития инерционных центробежных пылеуловителей воздухоочистителей, которые могут быть использованы практически во всех технологических процессах.

Принципиальная схема центробежного пылеуловителя иллюстрирована на рис.1. Принцип действия центробежного пылеуловителя заключается том, что пылевоздушный поток в воздухозаборнике приобретает вращательную скорость поступает кольцевой канал - между корпусом и трубой для отвода очищенного воздуха. Твердые частицы в результате действия центробежной силы прижимаются к корпусу пылеуловителя, далее двигаясь по внутренней поверхности конуса, поступают в бункер, очищенный воздух от частиц поступает вводящую трубу.

Существующие центробежные пылеуловители серийного производства, имеют не высокую эффективность, не более 75%. Поэтому данной главе сформулированы задачи, решения которых приводят к разработке высокоэффективных центробежных промышленных пылеуловителей воздухоочистителей для различных автомашин. Для достижения поставленной цели, первую очередь необходимо начать исследовать аэродинамику воздушного потока внутри центробежного пылеуловителя. Поэтому второй главе **«Аэродинамические процессы, возникающие внутри центробежных пылеуловителей»**, на основе систем уравнений Эйлера изучены особенности потока на различных участках центробежных пылеуловителей.

в параграфе 2.1 проведено численное исследование системы уравнений аэродинамики конусной части пылеуловителя (рис.2). Для получения стационарного решения системы уравнений, использован метод установления. Суть данного метода заключается том, что решение нестационарной задачи при большом значении времени будет стремиться к стационарному решению задачи.

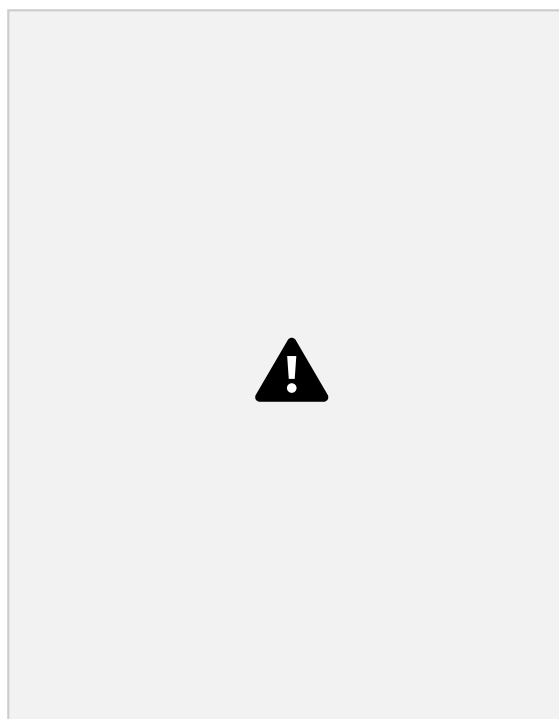


Рис. 1. Принципиальная схема центробежного пылеуловителя

1 – окошко для входа запыленного воздуха пылеуловитель, 2 – воздухозаборник для -
 крутки потока воздуха, 3 – корпус пылеуловителя, 4 – труба для отвода очищенного во -
 духа, 5 – сепарированная пыль, 6 – конусная часть пылеуловителя, 7 – труба для гашения
 скорости потока воздуха, 8 – бункер для сбора ли.

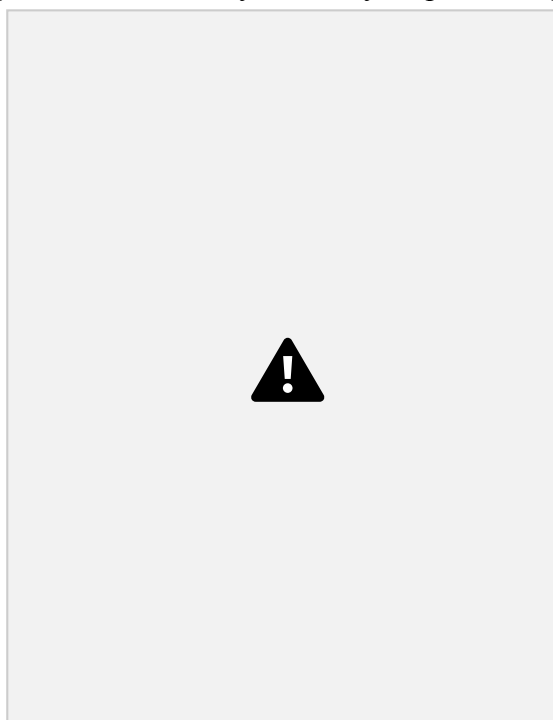


Рис 2. Вертикальный разрез центробежного пылеуловителя

бласть течения потока имеет осевую симметрию, поэтому система уравнений изучена цилиндрических координатах (z, r, ϕ). Система уравнений аэродинамики цилиндрических координатах имеет вид:

$$u = -\frac{1}{\psi} \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{\psi}{1} \frac{\partial \psi}{\partial r},$$

$$\zeta = \frac{\partial}{\partial u} - \frac{\partial}{\partial u} u_\phi \quad (2)$$

[illegible]

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \right)^3$$

$$\partial\psi$$

$$\xi \quad r$$

,0.

ВИДУ:

230

$$\frac{\partial}{\partial t} R(t, g) = \frac{\partial}{\partial t} R_{23}(t)$$

$$\xi \quad \eta \quad R \quad \xi \quad \eta \quad \eta$$

$$\partial \quad {}^3 \quad () \quad \partial \quad {}^3$$

$$\partial \quad \partial \quad \begin{matrix} \tilde{\mathcal{I}} \supseteq \cup \quad \partial \\ \tilde{\mathcal{I}} \not\subset \eta \alpha \\ 0, \end{matrix} = \begin{matrix} \sim \\ \sim \downarrow \end{matrix} \hat{t}g$$

$$+ + + \underline{r}$$

$$^{zz}(4)\partial$$

$$\begin{array}{cccc} t & \xi & \xi & \partial \eta \\ \partial \xi & R & R & \end{array}$$

$$^2 \quad \psi \quad \eta \alpha \quad \psi$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \eta} \right) \in U^2$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \xi} \right) = - \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \eta} \right) \in U^2$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \xi} \right) = - \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \eta} \right) \in U^2$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \xi} \right) = - \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \eta} \right) \in U^2$$

Граничные условия для этой системы ставятся на сечении $\xi = 0$ (рис.1), которое находится на некотором расстоянии до начало конуса.) Диапазон $R_{-2}^1 \leq \eta \leq 1$ соответствует коаксиальному каналу, откуда поступает закрученный поток. Для поступающего потока ставятся следующие условия:

$$\omega \eta \zeta u u \frac{\partial \psi}{\partial \xi} (5) = = = = - = R_z V_r$$

$$V R R$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial}{\partial \xi} \right)_2 \\ & , , 0, , 0. \quad 2 \\ & \frac{2}{1} \quad 2 \end{aligned}$$

Здесь V , ω – продольная угловая скорости потока соответственно. Многочисленные опыты показали, что $\omega = \text{const}$.

) условие $0 < \eta < R_{R_2}^1$ соответствует выходу потока. Здесь поставл - ны условия экстраполяции

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial \xi} = \frac{\partial \psi}{\partial \xi} \\ & 0, 0, 0 \quad 2^2 \end{aligned} \quad \frac{\partial \zeta}{\partial \xi} \quad (6)$$

Данные условия являются стандартными приемами при численной ре - лизации гидродинамических уравнений на выходе. Условие при $\xi = 1$ соо - ветствует чению вдали от начало конуса. Условия на этом сечении:

) для $0 < \eta < 1$: ; ; . $\psi = \psi_2 = \zeta_2$ Здесь индекс 2 относится внешней трубе нусу.

Для численного решения уравнения переноса циркуляции потока сист - мы (1) использована конечно-разностная схема Мак-Кормака, которая явл - ясь двух шаговой, имеет точность второго порядка $(, ,)^{2,2,2} O \Delta t \Delta \xi \Delta \eta$. для численного решения уравнения функции тока использован итерационный метод верхней релаксации по направлению η прогонка по ξ_i качестве начального условия для рассматриваемой нестационарной задачи использ - вано решение стаци нарного потенциального течения.

38

На рис.3 показаны схематическая картина направления скоростей - тока, полученные результате численного решения поставленной задачи. Из рисунка видно, что образуется зона обратного течения. Данный вихрь возн - кает за счет отрыва потока. Однако ходе численного эксперимента был найден диапазон угла конуса, при котором интенсивность обратного течения заметно ослабляе ся. Численный эксперимент показал, что это происходит, если $0^0 8 \leq \alpha \leq 13$.

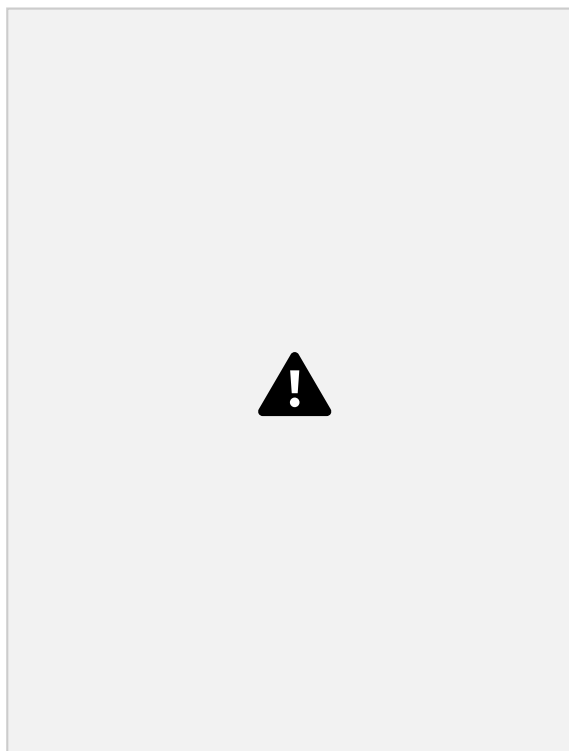


Рис.3. Схематическая картина скоростей тока пылеуловителе

Возникающий вихрь отрицательно влияет на эффективность оборудования, . . . частицы пыли, прижатые стенке, отбрасываются назад. - результате частицы пыли попадают во вход отводной трубы вместо того, чтобы по стенке конуса двигаться бункер, который находится конце конуса.

проведенные опыты показали, что выбором оптимального угла конуса можно - но увеличить эффективность центробежного пылеуловителя от 40% до 75%.

Причиной возникновения обратного течения, точки зрения физики, является источник вихря правой части первого уравнения системы (4). параграфе 2.2 теоретически показано, что можно свести минимуму данного - точника, если качестве закручивающего элемента воздуха использовать шнековый канал. результате разработан шнековый пылеуловитель (рис.4).

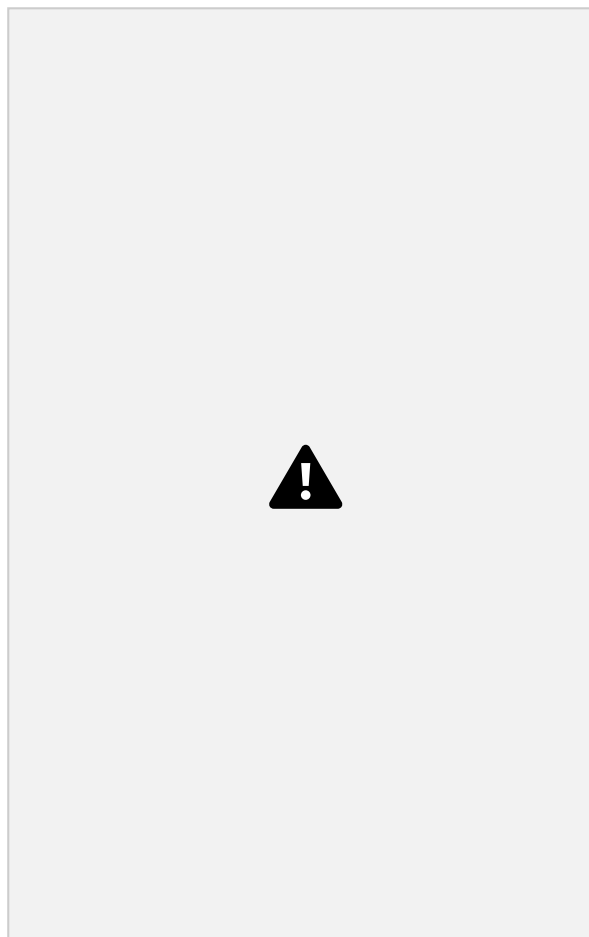


Рис. 4. Принципиальная схема шнекового пылеуловителя

1 – отводная труба для очищенного газа, 2 – воздухозаборник, 3 – шнек для закручивания потока, 4 – конус сепарационной зоны, 5 – бункер для уловленной пыли, 6 – поток газа, 7 – направление очищенного газа.

Разработанные шнековые пылеуловители производительностью $0.9 \text{ }^3/\text{с}$ в количестве 32 штук установлены на известковом заводе ОАО АГМК показали эффективность 85%. Также время показателя эффективности – рийных цикл нов ЦН-15 составляли 69%, аэродинамическое сопротивление них было практически одинаковым. Несмотря на преимущество по пылеулавливанию шнековых пылеуловителей перед центробежными инерционными циклонами, них существует ряд недостатков. Первый недостаток – он сложен по изготовлению, второй – все еще недостаточно эффективен, третий – его невозможно использовать для пыли, которая имеет сильное налипание поверхностям, . . . есть большая вероятность забивания шнекового канала пылью. Последний недостаток пылеуловителя сильно уменьшает его диапазон применения. Этот недостаток подтолкнул на поиски более удачной конструкции пылеуловителя, для которой вероятность налипания пыли минимальна. В этом отношении привлекательной является конструкция циклона. Но для этого, необходимо найти решение проблемы – минимизации обратного вихря. В параграфе 3.2 описывается еще один способ решения данной проблемы. Простым и весьма эффективным решением оказался простой –

трубок, который вставляется на входе трубы для отвода очищенного воздуха (рис.5).

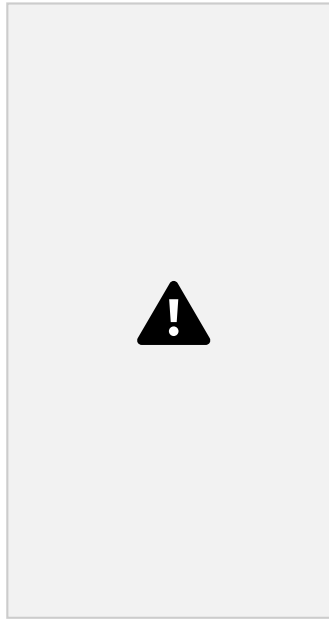


Рис.5. Центробежный пылеуловитель со стабилизатором

Эффект этого патрубка заключается том, что он перераспределяет входящий поток воздуха отводную трубу. результате этого уменьшается вероятность отрыва потока, . . поток стабилизируется. Поэтому этот элемент назван стабилизатором. этом параграфе проведено численное исследование аэродинамики потока внутри пылеуловителя этим элементом - казано, что стабилизатор действительно уменьшает интенсивность обратного вихря.

На стабилизацию потока, следовательно, на эффективность центр - ежного пылеуловителя сильное влияние оказывает конструкция воздухоз - борн ка. Он является закручивающим элементом пылеуловителя. Поэтому четве том параграфе второй главы, проведен анализ всех известных типов воздухозаборников. Для закручивания входящего отока воздуха пылеул - витель используются ряд принципов подвода газа:) спиральный,) танге - циальный,) винтообразный, 4) розеточный возвратом газа, 5) розеточный прямоточный (рис.6). данном параграфе дается математическое доказ - тельство преимущества спирального воздухозаборника по сравнению др - гими. Поэтому этот тип воздухозаборника дальнейшем использован при - здании высокоэффекти ных пылеуловителей воздухоочистителей. итоге эффективность лаборато ного центробежного пылеуловителя была доведена до 96%. целью еще бол шего увеличения эффективности пылеуловителя проведен обширный литературный патентный анализ инерционных пыл - уловителей воздухоочистит лей последних лет. Использование различных элементов приспособлений, описанных них, привели желаемому - зультату. Это свидетельствует том, что дальнейшее увеличение эффекти - ности за счет только стабилизации потока воздуха не представляется во -

можным. Поэтому возникает необходимость исследования процессов переноса пылевых частиц, чему посвящается третья глава диссертации.

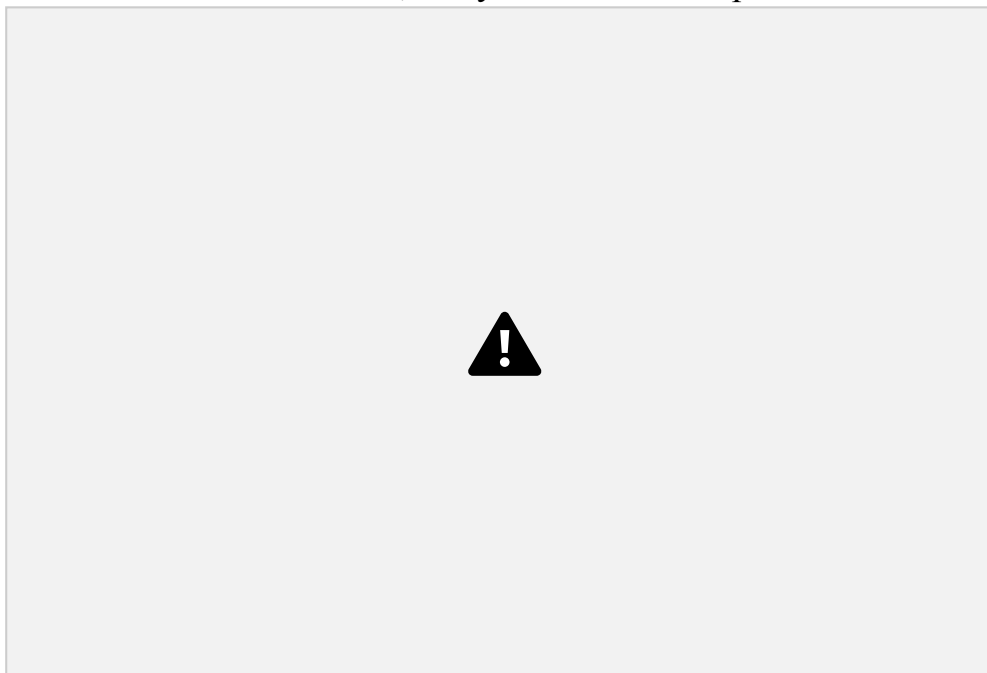


Рис. 6. Типы

подвода газа центробежные пылеуловители

параграфе 3.1 третьей главы «Динамика пылевых частиц аэрозольных центробежном пылеуловителе» оказано, что течение потока внутри центробежного пылеуловителя носит турбулентный характер. Однако эта турбулентность проявляется пристеночном слое, где скапливаются частицы пыли. Поэтому для математического моделирования многофазной струи внутри пылеуловителя предлагается область течения разбить на две зоны:

основную пристеночную. основной зоне, это вдали от стенки, турбулентность имеет мелкомасштабный характер. Поэтому этой зоне для математического описания потока воздуха, можно использовать уравнения Эйлера.

пристеночной зоне движение несущего потока частиц носит хаотический характер, следовательно, этой зоне преобладает диффузный перенос суспензий.

параграфе 3.2 проводится анализ всех сил, действующих на частицы пыли основной зоне течения. Производится их оценка показывается, что основными силами являются центробежная гидродинамическая силы, остальными силами можно пренебречь.

Нередко бывает, что наряду твердыми пылевыми частицами необходимо улавливать аэрозольных капель. Аэрозоли могут возникнуть результате конденсации промышленных газов, выбрасываемых в атмосферу. Кроме естественной конденсации газов, аэрозоли возникают мокро-инерционных пылеуловителях. Потому, что таких пылеуловителях пылевоздушный поток увлажняется водой. Поэтому параграфе 3.3 рассмотрены динамика

$$= \frac{\theta}{ctg} +$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r}{2} \sin^2 \theta \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(r \sin \theta \right) = 0.$$

системе (7) тензоры потоков импульса равны

$$\rho$$

$$\frac{\partial}{\partial} - \frac{\partial}{\partial} = + + - + \text{TM} \subsetneq$$

$$2 \rho \rho v \rho \rho p V_p V$$

$$r r p r t p r \frac{\partial}{\partial r} D V_r \rho$$

$$\frac{\partial}{\partial} = + + - + \quad \partial \sim - V_D$$

$$2,^1 () 2 () ^{\wedge} \mathfrak{I} \supseteq +$$

$$2 \theta \rho \rho v \rho \rho \quad \theta \theta \theta \quad p V \quad \underline{\theta \theta}$$

$$r \quad \frac{\partial}{\partial} \quad r \quad \downarrow \quad r \quad \frac{\partial}{\partial} \quad \theta$$

$$\sim \wedge \mathfrak{I} \supseteq = - + + \text{TM} \odot \quad (8)$$

$$p \quad v \rho \rho \quad \theta \quad 2 () , r$$

$$\phi \phi \quad r \quad \frac{\partial}{\partial} \sim - \quad \rho \quad \rho$$

можно считать, что $Sc = 1$. формулы (9) использованы для расчета диффузного переноса частиц пыли пристеночной зоне. результате опр - делено процентное содержание η пыли зависимости от расстояния - Δ :

$$\eta^{-\Delta} = - \frac{1}{u} e^{(10)}$$

Здесь u - радиальная скорость, которую частицы пыли обретают за счет действия центробежной силы. работе показано, что для пылеуловит - ля отводной трубой радиуса $R_1 = 5$ см корпусом радиуса $R_2 = 10$ см примерно 87% пылевых частиц диаметром 5 мкм будут содержать слое толщиной $\Delta \approx 2$ см. Видно, что пылевой слой занимает довольно большое пространство. Появление этого слоя отрицательно действует на эффекти - ность пылеуловителя. Потому, что из верхней области слоя частицы пыли - сасываются отводную трубу. Следовательно, уменьшение или устранение данного пылевого слоя является еще одним из способов увеличения эффе - тивности пылеочистительной установки. Эта проблема успешно решена разработанном пылеуловителе. Данный пылеуловитель иллюстрирован на рис. 7. Принцип работы данного устройства заключается том, что поток спиральном канале 1 приобретает вращательное движение. результате де - ствия центробежной силы левые частицы прижимаются корпусу 3, здесь

езультате коагуляции част цы укрупняются образуют пылевой слой по инерции попадают пространство между 3, 10, 11, 6 5. Данное простра - ство образует бункер для частиц крупного среднего размеров. данный бункер попадают основном кру ные средние пылевые частицы. Мелкие частицы пыли не попавшие него, переходят конусную часть 5 воздух - очистителя. Там поток перед входом бункер для мелких частиц ударяется об отражатель, вследствие чего воздух устремляется отводящую трубу, частицы пыли попадают во внутренний бункер. Высокая эффективность - леулавливания данного устройства достиг ется за счет того, что бункере для крупных средних частиц накапливается около 90% пыли, вследствие чего конусной части толщина пылевого слоя щественно уменьшается по сравнению тем, если бы отсутствовал внешний бункер. уменьшение то - щины пылевого слоя конусе приводит уменьшению уноса пылевых - стиц отводящую трубу. результате данного явления, эффективность - бораторного воздухоочистителя удалось вел чить 96% до 99%.

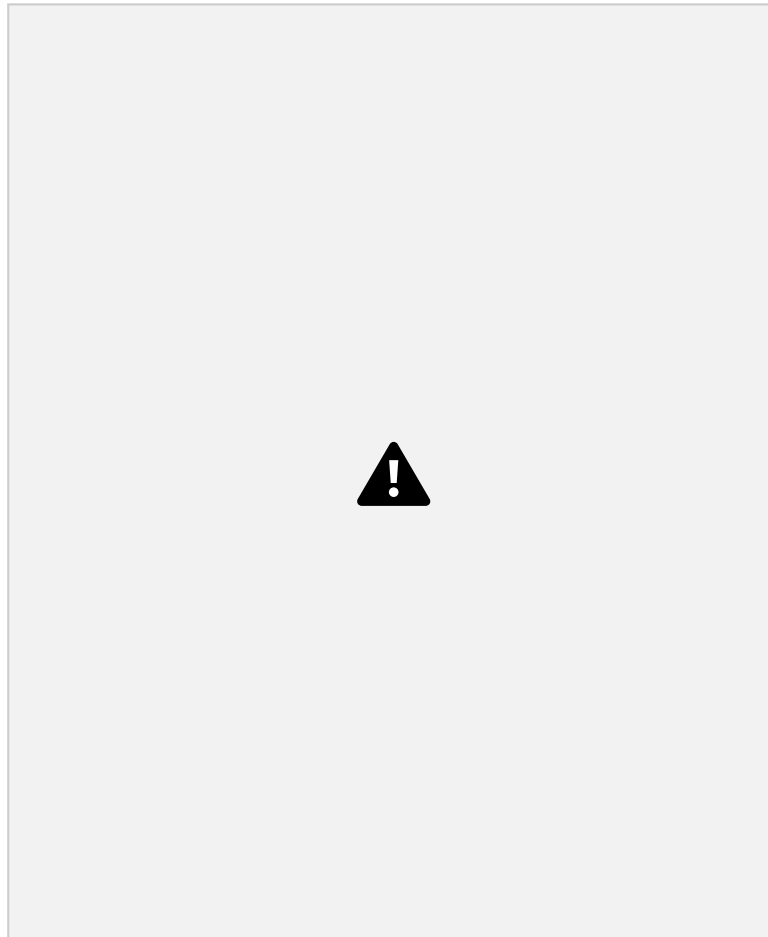


Рис. 7. Принципиальная схема разработанного пылеуловителя

1 – труба для отвода очищенного воздуха, 2 – спиральный воздухозаборник, 3 – корпус, 4 – патрубок для стабилизации потока воздуха, 5 – конус для улавливания мелких частиц, 6 – корпус бункера для мелких частиц, 7 – расширяющийся конус, 8 – отражатель, 9 – крепежный болт, 10 – конус для сбора крупных частиц, 11 – крышка для бункеров, 12 – траектория движения тока.

параграфе 4.1 четвертой главы «Методики расчетов аэродинамического сопротивления, оптимальных параметров эффективности воздухоочистителя» для проведения расчета аэродинамического сопротивления пылеуловителя, область течения потока разбит на различные зоны (рис. 8): 1 – зона спирального воздухозаборника, 2 – зона, где поток приобретает вращательное движение поступательную скорость, направленную вниз, 3 – зона на коаксиального канала, 4 – зона, где происходит разворот потока устремляется отводную трубу, 5 – зона течения потока отводной трубе.

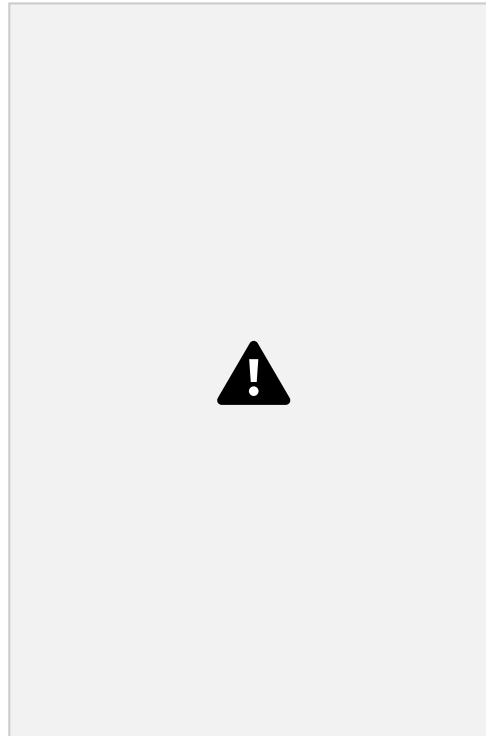


Рис. 8. Вертикальный разрез центробежного пылеуловителя.

Полное аэродинамическое сопротивление во воздухоочистителе, состоит из сумм потери давлений этих зонах. Далее для расчета аэродинамического сопротивления пылеуловителя для заданной производительности – G (литр/сек) выведены расчетные формулы потери давления для каждой - ны:

$$\xi = r_1 r_2 D_{ex} = a_0 b_0 a_0 + b_0 D_{вых} = ab a + b \quad (11)$$

Скорость потока на входе воздухозаборник составляет

$$G U = \quad (12)$$

$$^0 2a b$$

Скорость потока на выходе из воздухозаборника равна $G U_2^1 = \quad (13)$

$$ab$$

$$U_0 D_{\text{вх}} \text{Re}_0 = \text{, коэфф -}$$

Число Рейнольдса на входе воздухозаборник - Re_0

$$68.5 \cdot 0.11 \cdot \frac{\gamma}{\varphi} +$$

$$\Delta = \frac{D_{\text{вх}}}{0.25}$$

коэффициент трения - λ

λ - шероховатость стен воздухоочистителя

$$\text{Re}_0$$

для взята для вентиляционных труб $\Delta = 0.15 \text{ мм}$.

Сопротивление трения воздухозаборника - ρ

$$\lambda_{D_{\text{вх}}} \cdot \frac{2 \cdot U_0^2}{U_1} \cdot \frac{\gamma}{\varphi} + \beta \cdot \alpha \cdot \frac{U_0^2}{U_1} \cdot \frac{\gamma}{\varphi} +$$

$$\Delta = 1$$

$$P \cdot (14)$$

$$\exp \left(\frac{\beta \cdot \alpha}{9.3} \right) + \frac{4}{\downarrow}$$

46

Здесь, $\ln \left(\frac{D_{\text{вх}}}{D_{\text{вых}}} \right) \cdot \alpha = D_{\text{вх}} \cdot D_{\text{вых}}, \ln \left(\frac{U_1}{U_0} \right) \cdot \beta = U_1 \cdot U_0$

Продольная скорость кольцевом канале равна

$$G \cdot V = \pi \cdot (15)$$

$$\frac{2}{r} \cdot \left(\frac{r}{r_1} \right)^2$$

Падение давления при переходе потока из воздухозаборника коаксиальную трубу:

$$(1) \cdot \frac{2 \cdot U_0^2}{r}$$

$$\rho \cdot \xi \cdot \rho$$

$$U V$$

$$+ \Delta = . (16)$$

$$2 \qquad \qquad \qquad 1$$

$$\omega = k .$$

$$\text{Начальная угловая} \qquad \frac{1}{0} r$$

$$\text{скорость потока -} \qquad 2$$

$$2 \ 2 \ U$$

$$\text{Эффективный диаметр кольцевого канала} - 2 () \ 2 \ 1 \ D \ r \ r_{\text{эф}} = - . \ ^2$$

$$0.25 () \text{Re} D \blacksquare r \ r_{\text{эф}} \ + \ + = ,$$

$$\omega \ ^2$$

$$0 \qquad \qquad \qquad 2 \ 1$$

$$\text{Число Рейнольдса кольцевом}$$

$$\text{канале - } \nu$$

$$68.5 \ 0.11 \quad \mathfrak{J} \ \varphi \supset +$$

$$\Delta = \quad D_{\text{эф}}$$

$$\sim \downarrow \hat{} \quad \quad \quad 0.25$$

$$\text{коэффициент трения} - \quad \lambda . \ ^0 \text{Re}$$

$$\text{Падение давления коаксиальном канале:} \ 4$$

$$\lambda \omega \ \xi \ \xi \ - \ + = \frac{L}{V} \ K ,$$

$$1 \ 1$$

$$\quad \quad \quad 2 () \ 4$$

$$\quad \quad \quad \xi$$

$$\Delta = + + - \quad \quad \quad \xi \ \xi \quad \rho \ \rho \omega \quad \lambda_K$$

$$\quad \quad \quad V \quad L \quad \quad \quad \frac{2}{2}$$

$$3 \ \sim \downarrow \hat{}$$

$$\lambda = 0.25 \frac{1}{\text{Re}^{0.25}}$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

$$\lambda = \frac{68.5}{\text{Re}^{0.25}}$$

коэффициент трения – λ Re

$$\lambda = \frac{0.11}{\text{Re}^{0.25}}$$

Падение давления отводной трубе:

47

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2} + \zeta \frac{\rho V^2}{2} \quad (19)$$

$$\Delta p = \rho \frac{V^2}{2} \left(\lambda \frac{L}{D} + \zeta \right)$$

Полное сопротивление воздухоочистителя, равно сумме падения да -
вления во всех участках устройства

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4 + \Delta p_5 \quad (20)$$

параграфе 4.2 проводится сравнение результатов расчетов по выв -
денным формулам опытными данными. Опыты расчеты проведены для возд
хоочистителя, который разработан внедрен для шахтного погрузчика ЛК 07.
зультаты расчетов (сплошная линия) опытные данные (кружки)
приведены на рис. 9. Как видно из рисунка, совпадение расчетной кривой
опытными данными вполне удовлетворительное.

параграфе 4.3 выведена расчетная формула эффективности первой
ступени очистки (эффективность сбора пыли внешнего бункера). Для этого

получен коэффициент пылеулавливания для данной фракции пылевой частицы

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{1 - \exp\left(-\frac{C_m L}{\xi} \left(\frac{\delta}{\rho \omega_0}\right)^2\right)}{1 - \exp\left(-\frac{C_m L}{\xi} \left(\frac{\delta}{\rho \omega_0}\right)^2\right)} = 9 \left(\frac{\delta}{\rho \omega_0}\right)^2 \left(\frac{C_m L}{\xi}\right) \quad (21)$$

$$\xi = \frac{\eta \delta V K}{\rho \omega_0^2 \xi}$$

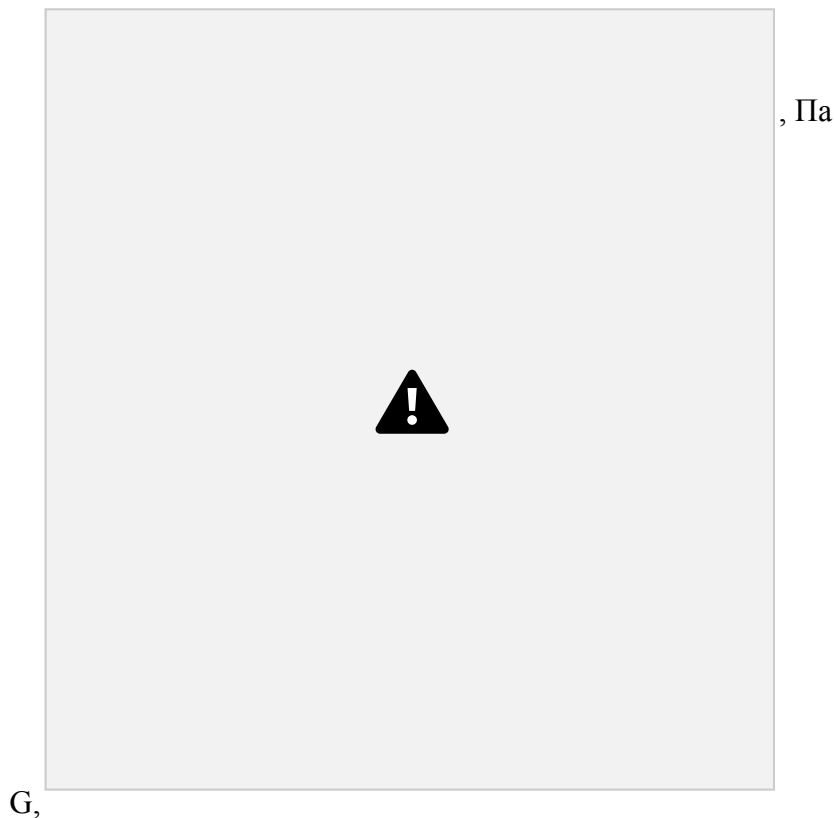
в приведенном выражении ξ - отношение диаметров труб, C_m - коэффициент Кеннингема, δ - диаметр пылевой частицы, ρ - плотность материала пыли, ω_0 - угловая скорость потока начале коаксиального канала, L - длина коаксиального канала, $V(\xi)$ - продольная скорость потока коаксиальном канале, ρ - плотность воздуха, V - молекулярная вязкость воздуха, $K(\xi)$ - коэффициент, который представлен выше, при расчете сопротивления коаксиального канала. Если известен дисперсный состав пыли, именно левая часть по массе ε_i частиц размером δ_i , то суммарная эффективность пылеуловителя первой ступени очистки составит

$$\eta_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i \eta_{\text{eff}}(\delta_i) = \mathcal{R}, \quad (22)$$

$$\eta_{\text{eff}}(\delta_i) = \left(\frac{\eta \varepsilon_i \delta_i}{\rho \omega_0^2 \xi} \right)$$

где ε_i - массовая доля фракций.

где N - количество



**Рис. 9. Сравнение расчетных результатов сопротивления пылеуловителя
опытн ми данными**

параграфе 4.4, дается методика численного расчета эффективности второй ступени очистки. Методика заключается том, что производится ра - чет траектории пылевой частицы на основе уравнений гидродинамики (4) стат стическим путем производится расчет улавливаемых частиц:

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= - \frac{DV}{\pi \mu \delta} \frac{\pi \mu \delta}{\pi \mu \delta} \\
 C &= - + \\
 &^3 (), \\
 m V V_{p z z p} & \\
 D t C^m & \\
 D V m V \pi \mu \delta & \\
 &^3 (), r p p p \\
 \phi & \\
 m V V_{p r r p} & \\
 D t C r^{\pi \mu \delta} &= - \pi \mu \delta \odot \\
 & \\
 \phi & \\
 p &^3 ().
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

$$m V V_{pp} \\ Dt C_{\phi\phi}^m$$

Здесь V_r , V_z , V – скорости несущего потока; m_p – масса, V_{zp} , V_{rp} , V_{fp} – скорости, $\frac{D}{Dt}$ – субстанциональная производная, C_m – коэффициент Кеннингема.

в параграфе 4.5 найдено оптимальное соотношение диаметров труб пылеуловителя. При оптимальном соотношении диаметров труб, достигается максимальная эффективность первой ступени очистки, это приводит к максимальной эффективности пылеуловителя в целом. На рис.10 иллюстрируется зависимость минимального калибра (мкм) улавливаемой частицы от соотношения диаметров труб пылеуловителя. Из этого графика видно, что анализируемая функция имеет четкий минимум для $\xi \approx 0.66$. Следовательно, максимальная эффективность первой ступени очистки пылеуловителя, достигается при данном соотношении диаметров. Данное оптимальное соотношение диаметров кольцевого канала пылеуловителя было найдено в результате многочисленных лабораторных исследований.

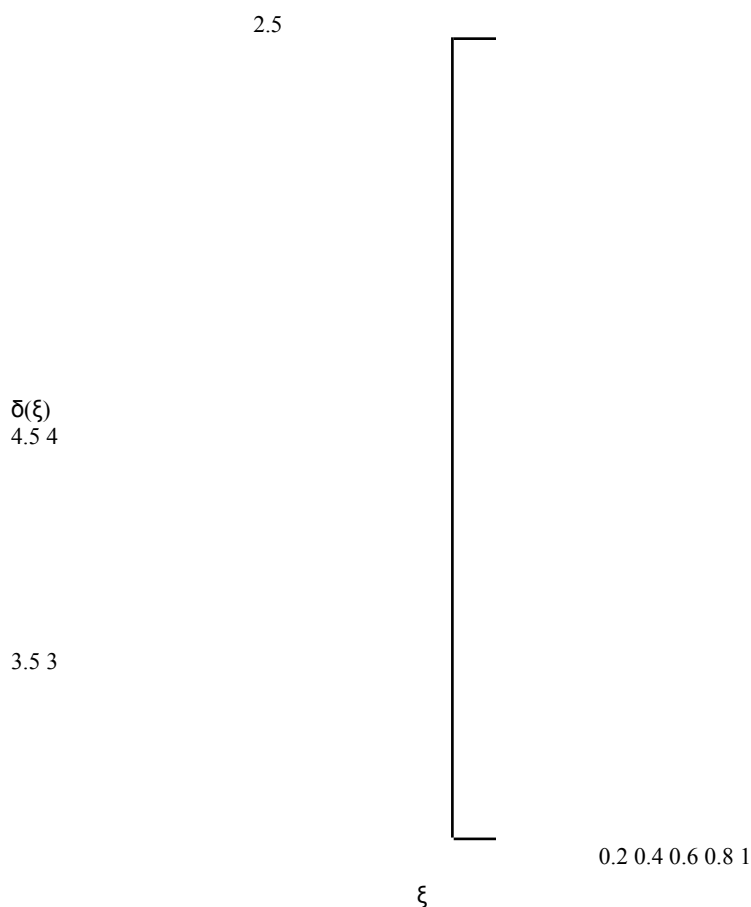


Рис.10. Минимальный калибр улавливаемой частицы зависимости от отношения диаметров труб пылеуловителя.

Таблица 1

Дисперсный состав портландцемента 400.

Диапазон калибра, мкм	Средний калибр, мкм	Выход фракций, %
0...10	5	12,0
10...20	15	36,2
20...30	25	19,39
30...40	35	17,2
40...50	45	12,8
50...60	55	0,3
60...70	65	1,2
70...80	75	0,8
80...90	85	0,3
90...100	95	1,2

50

параграфе 4.6 описывается методика проведения опытных замеров эффективности пылеуловителей воздухоочистителей. этом параграфе проводится сравнение полученных формул для эффективности пылеуловит - ля опытными замерами для пыли портландцемент марки 400. Дисперсный состав портландцемента 400 приведен таблице 1.

На рис. 11 показана зависимость полной эффективности воздухооч -
 бности воздуха для цементной пыли.

, %



G, /

Рис. 11. Зависимость эффективности воздухоочистителя от производительности.

На этом же рисунке кружками нанесены опытные замеры. Как видно, совпадение расчетных кривых экспериментальными данными очень хорошее. Данное обстоятельство свидетельствует об адекватности расчетных формул.

Полученные результаты диссертации позволили создать высокоэффективных центробежных пылеуловителей воздухоочистителей. Вновь созданные устройства не только уступают зарубежным аналогам, но превосходят их по многим параметрам. Внедренные различные объекты республики промышленные шнековые пылеуловители воздухоочистители для двигателей внутреннего сгорания транспортных средств успешно эксплуатируются.

51

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по докторской диссертации на тему «разработка высокоэффективных центробежных пылеуловителей на основе аэродинамических процессов» представлены следующие выводы:

1. На основе численного исследования динамики потока внутри центробежного пылеуловителя выявлено, что вихри возникающие внутри устройства, являются главными факторами снижения эффективности пылеуловителя.

2. Впервые анализ на основе теории устойчивости потока позволил

определить эффективность закручивающих устройств воздуха пылеуловителя. Эти исследования будут полезны при проектировании высокоэффективных центральных пылеуловителей.

3. Исследования по уменьшению интенсивности вихрей привели к созданию устройства «стабилизатор», который позволил увеличить эффективность пылеуловителя до 20%.

4. Исследования динамики массопереноса турбулентного двухфазного потока позволили определить коэффициенты вязкости диффузии. Следствия этой области нужны для определения необходимых размеров элементов для первой ступени очистки пылеуловителя.

5. Разработаны методы определения эффективности аэродинамического сопротивления центробежного пылеуловителя. Эти методы необходимы при проектировании центробежных пылеуловителей воздухоочистителей.

6. Разработан метод оптимизации размеров деталей пылеуловителя. Проведенные исследования этой области позволили разработать компактных, высокоэффективных имеющих минимальное аэродинамическое сопротивление промышленного пылеуловителя воздухоочистителя для двигателей транспортных средств.

MALIKOV ZAFAR MAMATKULOVICH

**DEVELOPMENT OF HIGH-PERFORMANCE
CENTRIFUGAL DUST CATCHERS ON THE BASIS OF
AERODYNAMIC PROCESSES**

01.02.05 – Mechanics of fluid and gas (technical sciences)

ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION

TASHKENT – 2016



INTRODUCTION (annotation of doctoral dissertation)

The urgency and relevance of the theme of the dissertation. Rapid development of the industry in the world along with the growth of goods production has led to an increase in negative impact of production on environment. This, in its turn, sets the new tasks for researchers, including reduction of industrial wastes, reduction of amount of the toxic gases released into the atmosphere. For the last fifty years emissions of carbon compounds into the atmosphere are 9 times greater. As a result of it environment is polluted and there is a global environmental problem.

When solving these problems, preventing environmental disasters and the processes of global warming of climate, the reduction of the impact of industrial emissions into environment becomes very important. Applying in practice of dust cleansing facilities and dust catchers for purification of gas pollutions in environment is an actual task. Dust catchers are necessary not only for purification of industrial gases, but also for ensuring the operation of internal combustion engines in an optimum rhythm. All transport vehicles, used in mining, are operated in the conditions of high dust content. In such conditions, abrasive particles of dust, getting into the working camera of the engine, cause wear of its surfaces and lead to the reduction of engine capacity, and to an increase in fuel consumption and lubricants.

After achieving independence in our country a great attention was paid on localization processes in many fields of industry, including the improvement and development of dust catchers in accordance to climatic conditions of the republic. More than 80% of the dust catchers, used in the industry, are the dust catchers working on centrifugal force. Therefore, carrying out researches on improvement and development of new designs of highly effective dust catchers has a great scientific and practical value.

This dissertation research serves as an accomplishment of the problems provided in the Resolutions of Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 232-1 on April 26, 1996 "On approval of the regulations of the Committee on environmental protection" and RP-142 on May 27, 2013 "On action program on environmental protection of the Republic of Uzbekistan for the years 2013-2017".

Compliance of research with priority directions for science and technology development of the country. This study was performed in the compliance with priority direction II of science and technology of the republic: "Energy, energy-saving and resource-saving".

A review of international research on the subject of dissertation¹. The scientific researches directed to studying of aerodynamic processes of a multiphase flow in dust catchers are carried out in many leading scientific centers of the world, including NASA, Glenn research center, Boeing Scientific Research Laboratories, Massachusetts Institute of Technology, Stanford university (USA), Cambridge university (UK), Hettingen laboratory (Germany), Air Systems Research Center

(Japan), Aerodynamics Research and Development Centre (China), Moscow State University (Russia) and Tashkent State Technical University.

As a result of research all over the world on studying the processes occurring inside the dust catchers, a number of scientific results are received, including: various finite-differential methods and finite-element methods are developed for the numerical solution of the equations for multiphase flows (Stanford university, Boeing Scientific Research Laboratories, Cambridge university, Massachusetts institute of technology, USA); aerodynamic effects for multiphase flows are obtained (Cambridge university, UK); the mathematical model of dynamics of a free turbulent flow in flowing the obstacles is received (Hettingen laboratory, Germany); designs of highly effective vortex dust catchers are built (The Air Systems Research Centre, Japan) are developed; the mechanism of separation of polluted dust particles is developed (China Aerodynamics Research and Development Centre, China), the design of a cascade multistage dust catcher for purification of gases from metallurgical furnaces is developed (Moscow State University).

Researches on a number of priority directions are conducted all over the world on improvement of designs of dust catchers; they include: mathematical modelling of turbulent multiphase flows; development of effective algorithms for the numerical solution of these models; improvement of designs of dust catchers on the basis of the processes of laws of aerodynamics.

Scientific study of the issue. Pioneer works on research of aerodynamics of multiphase medium have been carried out as early as XIX century. However by the XX century, practical value of multiphase flows has medium has gained a considerable development. In 1967 A.Fortie has developed the theory of migration for a multiphase turbulent flow. This theory has gained its further development in the works of European and American scientists (Friedlander, Johnstone, Owen, Davis, Bill, Zemel and others). A serious contribution to the development in this area was made by Uzbek scientist, professor of Moscow University H.A.Rakhmatulin. He is a founder of the theory of interpenetrating motions in multiphase flows. H.A. Rakhmatulin was the first who has derived the system of equations for compressed multiphase medium; he has analyzed the fundamental laws of wave propagation, and has developed the bases of the theory of boundary layer in two-phase mixture. H.A Rakhmatulin's theory has found a wide application in hydraulic engineering, in chemical technology, in nuclear power industry.

¹ The extent of knowledge of the problem <http://www.nasa.gov/centre/glenn/home/index.html>; http://universal_ru_en.academic.ru/66921/; Wildes, Karl L.; Lindgren, Nilo A. (2005). A Century of Electrical Engineering and Computer Science at MIT, 2006-2009. Cambridge, Mass.: MIT Press. ISBN 9780262231190; Stuart W. Leslie: The Cold War and American Science: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford. Columbia University Press, New York [u. a.] 1993, ISBN 0-231-07958-3; http://www.mod.go.jp/trdi/en/research/kenkyu_koukuu_en.hym; University of Cambridge (ed.). "The Revived University of the Nineteenth and Twentieth Centuries" Retrieved 7 August 2014; <http://www.utias.utoronto.ca>; <http://www.cards.cn:88>; http://universal_ru_en.academic.ru/240165; История Московского

To name another scientist, who has made an essential contribution to the development of the theory of multiphase flow we should mention academician R. I. Nigmatullin. Under supervision of H.A.Rakhmatullin, R.I.Nigmatullin has considered the mathematical models of particles interaction and has completed the system of equations of multiphase mixture. An essential contribution to the development of laminar currents of multiphase continua in Uzbekistan the was made by professor Zh.F. Fayzullayev.

Despite serious achievements of researches in the field of multiphase flows, there are a lot of unresolved problems. For example, the strict mathematical equations for a turbulent flow of multiphase continua are not derived yet. The existing mathematical models have mainly an empirical character and not always adequately describe the arising phenomena in turbulent multiphase continua. It can be observed especially in twirled flows inside centrifugal dust catchers.

Connection of the dissertation theme with the plans of scientific researches. Dissertation research is executed within the plan of research works of fundamental projects of Scientific research center on sectorial machines science at Tashkent state technical university F.13-12 on the subject "Processes of Heat Transfer and Concentration of Weighed Particles in a Turbulent Jet Flow" (2012-2014), and economic contracts No. 02-1541 IOP. "Development and trial testing of a vortex dust catcher in zinc plant JSC AMMC" (2010-2011), No. 02-2180 IOP. "Upgrade and implementation of the inertial filter for the underground motor transport working in the conditions of high dust content" (2011-2012), No. 02- 2092 IOP. "Development of highly effective air cleaner for engines of heavy-load rock dump trucks" (2012-2013), No. 14/2012 "Implementation of the inertial air cleaner for engines of NMMC vehicles" (2012-2013), No. 02-1466 IOP. "Industrial testing with development of a set of design documentation and implementation of the inertial air cleaner for internal combustion engines of heavy-load cars" (2013-2014).

The aim of the research is a development of industrial highly effective centrifugal dust catchers, and air cleaners for engines of vehicles and special equipment on the basis of the theory of aerodynamics of multiphase continua. **Research problems:**

mathematical modelling of dynamics of flow in a centrifugal dust catcher on the basis of the equations of hydrodynamics;

development of a numerical method of calculation of the equations of hydrodynamics;

on the basis of numerical experiment, the search of optimum parameters and elements of the centrifugal dust catcher providing a continuous flow; increasing the efficiency of the devices of gas flow swirling;

modelling of processes in aerosols flow on the basis of kinetics; development of methods of determination of resistance and efficiency of centrifugal dust catcher; development of an optimization method of geometrical parameters of a dust catcher;

57

on the basis of research results the development of modernized, highly effective centrifugal dust catcher.

The objects of the research are dust catcher devices used in the industry, and air cleaners for internal combustion engines.

The subject of the research is the design, technical and economic characteristics of industrial centrifugal dust catchers and air cleaners for internal combustion engines.

Research methods. In the dissertation the methods of numerical research of one and two-phase medium, methods of analytical analysis of derived equations are applied, laboratory testing of the received results is conducted. **Scientific novelty of the research consists in:**

the new design of a screw dust catcher is developed;

the new design of the air cleaner working on a basis of centrifugal force for engines is developed;

the method of determination of aerodynamic parameters of a flow inside a dust catcher is improved;

the mathematical model of processes of mass and heat transfer in aerosol flow on the basis of the kinetic theory is improved;

the methods of determination of efficiency and aerodynamic resistance of a dust catcher are improved;

the method of determination of optimum parameters of a dust catcher is developed.

Practical results of the dissertation.

Industrial screw dust catchers and air cleaners working on a basis of centrifugal force for internal combustion engines are developed.

Reliability of obtained results is proved by correct mathematical statement of the problems of hydrodynamics, by the use in numerical solution of the equations of proved methods and known algorithms to build a design program, and by a comparison of theoretical and numerical results with experimental data.

Theoretical and practical importance of the research results. The scientific importance of results of research is determined in their application in case of mathematical modelling of multiphase continua and the numerical solution of constructed equations.

The practical importance of work serves for the development of highly effective industrial dust catcher and air cleaners for **internal combustion engines**.

Implementation of the research results. On the basis of results of research of aerodynamic processes in industrial dust catchers and air cleaner: screw dust catchers are implemented at "Limy plant" of Almalyk mining and metallurgical

combine joint-stock company (the certificate on November 18, 2015 of Almalyk mining and metallurgical combine joint-stock company No. FM-7222). Efficiency of the implemented dust catchers was 15-16% higher, than at serial dust catchers and has allowed to catch additionally about 210-243 tons of dust per year; air cleaners for internal combustion engines are implemented in mine machines in Angren mine administration of Almalyk mining and metallurgical com-

58

bine joint-stock company, on the dump trucks BelAZ and diesel locomotives of the State Entity of the Navoiy mining and metallurgical combine (the certificate on November 18, 2015 of the AGMK joint-stock company No. FM-7222). The implemented air cleaners have allowed 2 times increase of engines' life. **Approbation of research results.** Results of research have passed an approbation at 4 international and republican scientific and technical conferences, including: "Proceedings of XVIII Scientific readings on astronautics devoted to reminiscence of outstanding scientists-pioneers of development of a space" (Moscow, 1994); "Geo-technology: innovative methods of subsurface use in the 21st century" (Moscow, 2007); "Modern equipment and technology of a mining and metallurgical industry and way of their development" (Navoi, 2008); "Energy saving, energy efficiency and renewable energy resources" (Tashkent 2015). **Publication of research results.** 29 scientific works are published, including 14 scientific articles (4 in foreign editions), 1 patent for the invention on the topic of dissertation.

Structure and scope of dissertation. The dissertation consists of the introduction, four chapters, conclusion, the list of references of 149 titles and an appendix; it contains 184 pages of typewritten text, including 65 figures, 3 tables.

MAIN CONTENT OF DISSERTATION

In the introduction the urgency and relevance of the work are substantiated, the purpose and tasks, and also object, a subject and methods of research are formulated, compliance of researches to the priority directions of development of science and technologies of the Republic of Uzbekistan is given, scientific novelty and practical results of research are stated, reliability of the received results is proved, reveal the theoretical and practical importance of the received results, results of introduction of dissertation work are given to practice, data on approbations and the published works, structure and volume of the thesis.

In the first chapter of the thesis **"review of industrial dust catchers and air cleaners for internal combustion engine"** characteristics of all types of industrial dust catchers and air cleaners are given, used for air cleaning in internal combustion engine technology. Their strong points and shortcomings are considered in details. Substantiation for the development of inertial centrifugal dust catchers and air cleaners, which can be used in almost all industrial processes, is given.

Principal scheme of the centrifugal dust catcher is illustrated in Figure 1. The

principle of operation of centrifugal dust catcher consists in: dusty air flow in air inlet acquires rotational velocity and enters into circular channel - between the casing and the pipe for withdrawal of clean air. Solid particles due to centrifugal force are pressed to the body of the dust catcher, further moving along the inner cone surface, then enter the bunker, and the air, cleaned from the particles, flows into outlet pipe.

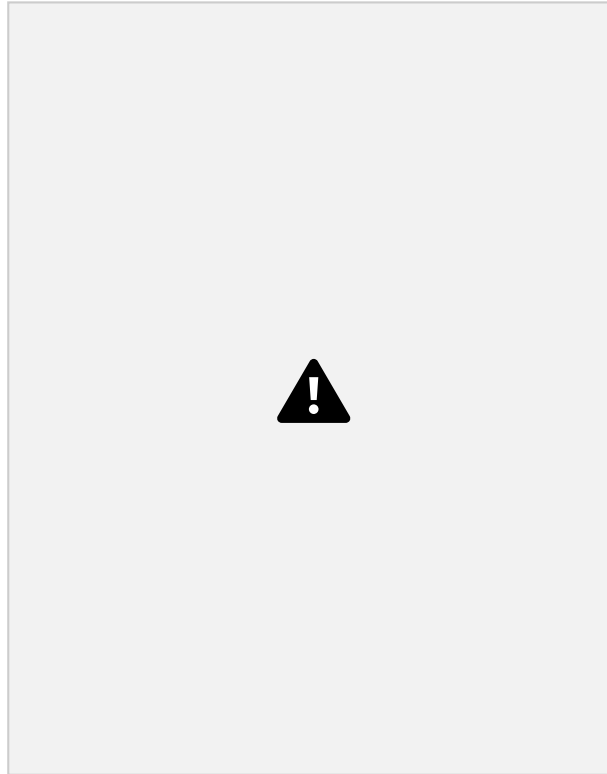


Fig. 1. Principal scheme of centrifugal dust catcher

1 - a window to feed dusty air into dust catcher, 2 - air inlet for swirling air flow, 3 - the case of the dust catcher, 4 - pipe for withdrawal of cleaned air, 5 - separated dust, 6 – cone section of dust catcher, 7 - a pipe to damp air flow velocity, 8 - a bunker for collected dust.

60

Existing centrifugal dust catchers of mass production, have productivity no more than 75%. Therefore, in this chapter problems whose solutions lead to the development of high-performance centrifugal industrial dust catchers and air cleaners for different vehicles are formulated. To achieve this goal, it is necessary first to start exploring the aerodynamics of the air flow inside the centrifugal dust catcher. There for in the second chapter **"aerodynamic processes occurring inside the centrifugal dust catcher"**, based on the system of Euler equations, the characteristics of flow in different parts of centrifugal dust catcher are studied. In Section 2.1, a numerical study of the system of Euler equations in the conical part of the dust catcher is carried out (Figure 2). For stationary solution of the system of equations, we have used the method of establishing. The essence of this method lies in the fact that non-stationary problem is solved and at high values of time its solution tends to the solution of stationary problem.

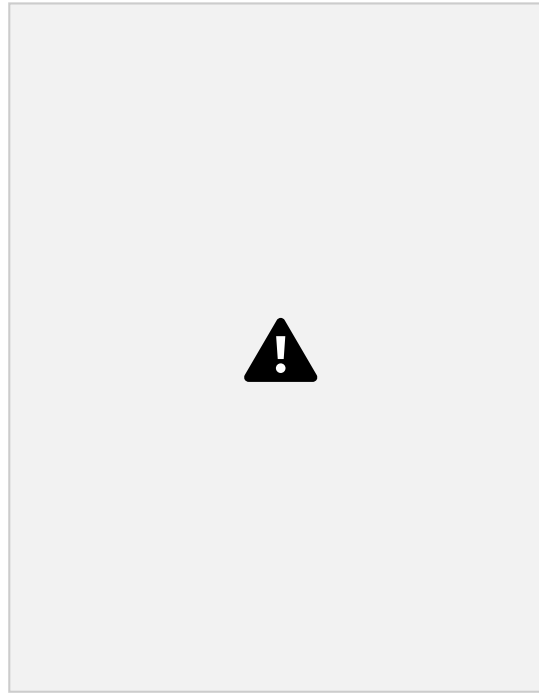


Fig 2. Vertical section of centrifugal dust catcher

Stream flow region has axial symmetry, so the system of equations is studied in cylindrical coordinates (z, r, ϕ) . The system of the equations of aerodynamics in cylindrical coordinates has an appearance:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial t} \left(\rho \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho u \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\rho v \right) = 0, \\
 & \frac{\partial}{\partial t} \left(\rho u \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho u^2 \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\rho u v \right) = - \frac{\partial p}{\partial z}, \\
 & \frac{\partial}{\partial t} \left(\rho v \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho u v \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\rho v^2 \right) = - \frac{\partial p}{\partial r}, \\
 & \frac{\partial}{\partial t} \left(\rho \phi \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho u \phi \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\rho v \phi \right) = 0.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial}{\partial z}$$

61

For numerical research of this system of the equations, introduced the parameters of flow function ψ , vortex of flow ζ , flow circulation Γ . These parameters with

components of flow velocity are related as follows: ψ, ζ, Γ

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial r} &= -\frac{\partial \zeta}{\partial z} \\ \frac{\partial \psi}{\partial z} &= \frac{\partial \zeta}{\partial r} \\ \frac{\partial \Gamma}{\partial r} &= \frac{\partial \zeta}{\partial z} - \frac{\partial \psi}{\partial r} \end{aligned} \quad (2)$$

After substitution of new variables, the system of equations of aerodynamics will be

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial}{\partial z} \end{aligned} \quad (3)$$

Further, conversion of variables is made for convenience of setting of boundary conditions:

$$R_z, \xi, \eta, R_z, R_2, z, \tan \alpha$$

$$\partial + \frac{\zeta\psi\zeta}{\partial} + \frac{\eta\alpha}{\partial} + \frac{tg}{\partial} + 1 = \partial\partial$$
$$\partial \quad t \quad \xi \quad \xi \quad \eta\xi \quad \eta \quad \underline{zrr}$$
$$\partial \quad R R$$
$$\tilde{\mathcal{T}} \not\supseteq () \quad + \tilde{\downarrow}^{\wedge} ()$$
$$\partial \quad \tilde{\mathcal{T}} \not\supseteq \tilde{\downarrow}^{\wedge} {}^{23}()$$

$$\begin{array}{ccccccc} \xi & \eta & \partial & R & \partial \\ \eta & \partial & & \eta & \alpha & \partial \\ \xi & \eta & \partial & \eta & \alpha & \partial \\ \cup & & \supseteq & \eta & \alpha & \partial \\ \cup & & 0, & = & \sim & \downarrow tg \end{array}$$

$$z z (4) \partial$$

$$\begin{array}{ccccccc} t & \partial \xi & R R_2 & \xi & & & 2 \\ & \xi & & \partial \eta & & & 2 \\ & \psi & \psi & \partial \cdot \subseteq & & & \in \cup \\ & \eta \alpha & & & & & \\ \partial & & \partial & 2 & 1 & \eta \alpha & 2 + \\ & 2 & + & tg & + +_2 & tg & \psi^2 \\ & \xi & \xi & \xi \eta \xi & \xi & & \eta \end{array}$$

$$\eta^\alpha \quad \quad \quad () , ^1 \eta \xi \zeta$$

$$tg$$

$$+ -$$

$$\psi$$

$$^2 \quad () \quad \quad \quad R$$

$$R \quad \quad \quad \eta$$

$$^2 \quad \quad \quad \partial \psi \quad \alpha \quad \partial \psi \quad \partial \psi$$

$$\xi \eta$$

$$R^{r-}{}_z = - = ^1 , () ()$$

conditions for this system are determined on the section $\xi=0$ is positioned on some distance from the cone end.

) The range $R_{-2}^1 \leq \eta \leq 1$ corresponds to co-axial channel from which swirling flow enters. The following conditions are stated for entering flow:

[illegible]

Here V , ω – are longitudinal and angular flow velocities, respectively. Numerous tests have shown $\omega = const$.

b) Condition $0 < \eta < R$
 $\frac{1}{R}$
 $\frac{2}{2}$

tions are stated here :
 corresponds to flow outlet. Extrapolation
 condi

$\frac{2}{2}$

$\frac{2}{2}$

$\frac{\partial \zeta}{\partial \xi} \cdot (6)$

$$\frac{\partial \psi}{\partial \xi} = 0, 0, 0 \quad \frac{\partial \psi}{\partial \xi} = 0$$

These conditions are standard devices in numeric realization of hydrodynamic equations in the outlet. $\xi = 1$ corresponds to the section located far from the cone end. Conditions in this section are as follows:

c) for $0 < \eta < 1$; ; . $\psi = \psi_2 = \zeta = \zeta_2$ Here the index 2 refers to external pipe and the cone.

For numerical solution of the equation of transfer of flow circulation of the system (1) McCormack's finite-difference scheme is used, which, being a two step scheme, has an accuracy of second-order $(\Delta t, \Delta \xi, \Delta \eta) \propto \Delta t \Delta \xi \Delta \eta$. For numeric solution of the equation of flow function an iterative method of upper relaxation towards η and runs along ξ_i are used. As an initial condition for considered non-stationary problem the solution of stationary potential flow is used.

Figure 3 shows the flow lines, obtained by numerical solution of the problem.

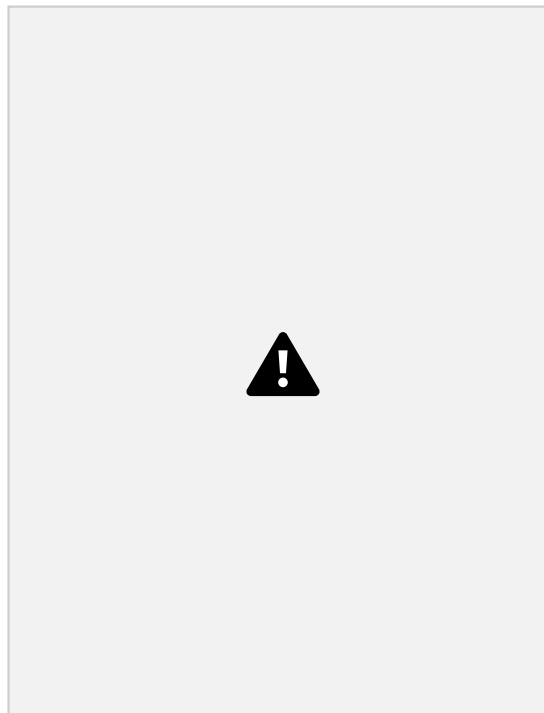


Fig.3.Flow lines inside the dust catcher

As can be seen from the figure the zone of backflow is formed. This vortex is due to flow separation. However, in numeric experiment the range of cone angle was found, at which the intensity of reverse flow is reduced considerably. Numeric experiments show that this happens when $8^\circ \leq \alpha \leq 13^\circ$.

The resulting vortex negatively affects the efficiency of equipment, as dust particles pressed to the wall, are thrown back. As a result, dust particles enter into the inlet of withdrawal pipe, instead of moving along the cone wall into the bunker, which lies at the end of the cone. The experiments showed that the choice of the optimum angle of the cone can increase the efficiency of centrifugal dust catcher from 40% to 75%. The reason of reverse flow, from the point of physics, is the source of the vortex in the right side of the first equation of the system (1). In Section 2.2 it is theoretically shown that it is possible to minimize this source, if to use screw conveyor channel as a swirling element of air. As a result, a screw-conveyor dust catcher is designed (Figure 4).

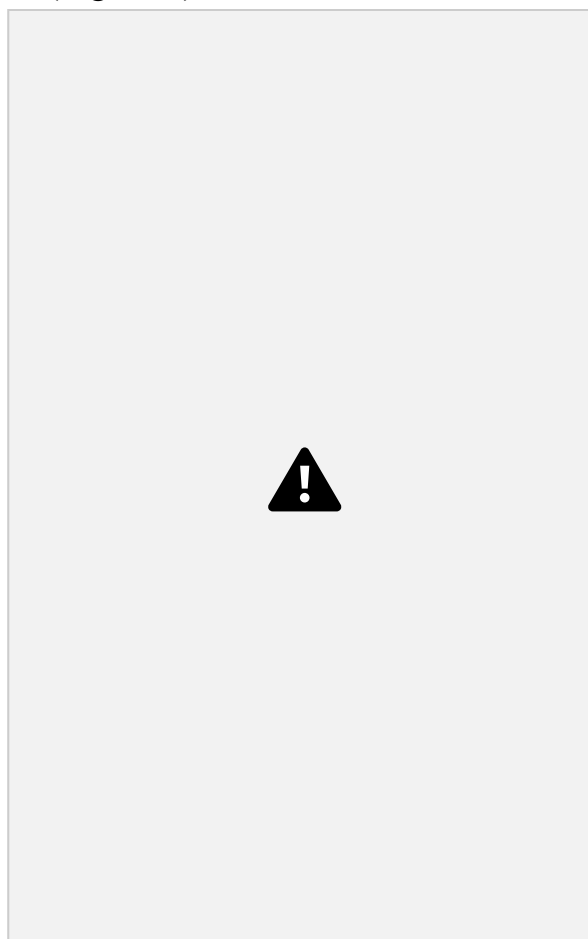


Fig. 4. Principal scheme of screw-conveyor dust catcher

1- withdrawal pipe for cleaned gas, 2 - air intake, 3 – screw-conveyor to swirl the flow, 4 - cone of separation zone, 5 – a bunker for collected dust, 6 - gas flow 7 – flow direction of cleaned gas.

Designed screw-conveyor dust catchers with productivity of $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ each (32 in number) are set in lime plant of AGMK and have demonstrated the efficiency of 85%. At the same time performance indicator of serial cyclones CN-15 is 69%, with similar air-dynamic resistance.

Despite the advantage of dust collecting by screw-conveyor dust catchers when compared with centrifugal inertial cyclones, they still have a number of drawbacks. The first drawback - it is complicated in manufacturing, the second – it is still not efficient enough, and the third - it cannot be used for the dust, which has strong adhesion to the surfaces as there is a high probability of clogging of the screw conveyor channel with dust. The latter drawback of dust catcher greatly reduces its range of application. This drawback has pushed the researchers to develop a good design of a dust catcher with minimal probability of dust adhesion. In this regard, the structure of cyclone seems an attractive one. The main problem is to find a solution for the problem - to minimize the reverse vortex. In Section 3.2 another way to solve this problem is described. Simple and very effective solution proved to be a simple branch pipe that is inserted into the inlet pipe to withdraw cleaned air (Figure 5).

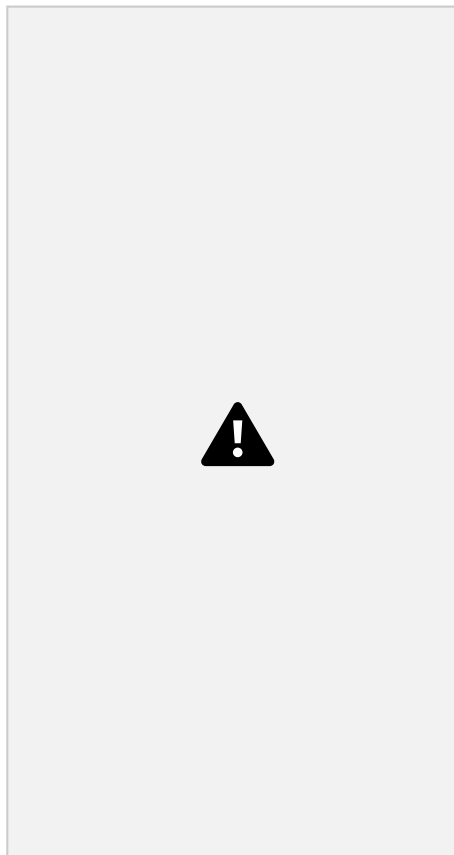


Fig.5. Centrifugal dust catcher with stabilizer

The effect of this branch pipe consists in the fact that it re-distributes the incoming air flow into withdrawal pipe. As a result, this reduces the possibility of flow separation, i.e. the flow is stabilized. Therefore, this element is called a stabilizer. In this section, a numerical study of aerodynamic flow inside the dust catcher with this element is carried out; and it is shown that the stabilizer does reduce the intensity of the reverse vortex.

Stabilization of the flow and consequently the efficiency of centrifugal dust catcher is strongly influenced by the design of air intake. It is the swirl element of

dust catcher. Therefore, in the fourth paragraph of the second chapter, the analysis of all known types of air intakes is performed. To twist the incoming air flow to

65

dust catcher a number of principles of gas feeding is used: a) spiral, b) tangential c) screw-like, 4) outlet with gas return, 5) direct-flow outlet (Figure 6). In this section we give a mathematical proof of the advantages of spiral in take compared with others. Therefore, this type of air intake further was used to create a highly efficient dust collectors and air cleaners. As a result, the efficiency of the laboratory centrifugal dust catcher was increased up to 96%. In order to increase the efficiency of dust catcher an extensive literature and patent analysis of inertial dust catchers and air cleaners was conducted in recent years. The use of different elements and devices described, did not lead to the desired result. This shows that a further increase in efficiency due to air flow stabilization only does not seem possible. Therefore there is a need to study the transport processes of dust particles, considered in the third chapter of the thesis

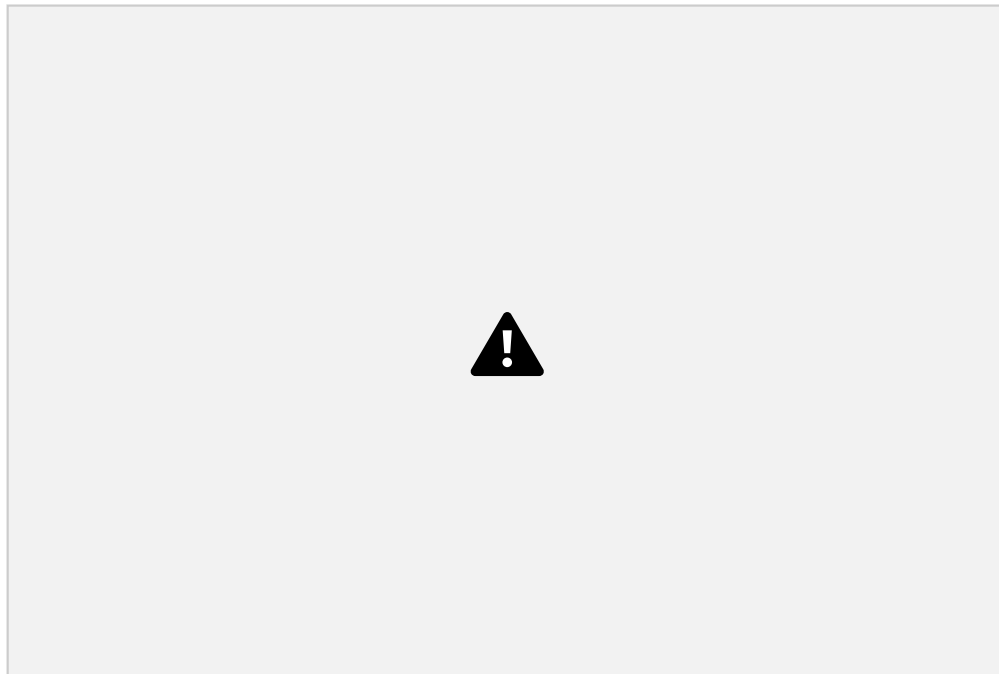


Fig. 6. Types of gas feeding into centrifugal dust catchers

In the third chapter "**dynamics of dust particles and aerosols in the centrifugal dust catcher**" the dynamics of dust particles and aerosols in the centrifugal dust catcher is considered.

Section 3.1 deals with the properties and characteristics of turbulent flow. It is shown that centrifugal flow inside the dust box is turbulent. However, this turbulence is manifested in the boundary layer, where dust particles are accumulated. Therefore, for the mathematical modeling of multiphase jet inside dust catcher it is proposed to divide the flow domain into two zones: the main one and close-to-wall one. In the main area, far from the wall, the turbulence has a small-scale character. Therefore, in this zone for the mathematical description of air flow Euler equation can be used. A motion of bearing flow and particles in close-to-wall zone is chaotic

Section 3.2 presents an analysis of all the forces acting on the dust particles in the main zone of flow. Their assessment is conducted and it is shown that the main forces are centrifugal and hydrodynamic ones; other forces can be neglected.

It often happens that, along with solid dust particles it is necessary to collect aerosol droplets as well. Aerosols can appear due to condensation of industrial gases emitted to the atmosphere. Apart from the natural condensation of gases aerosols may appear in wet-inertial dust catcher, as in such dust catchers dusty flow is wetted with water. Therefore, in Section 3.3 the dynamics and heat mass transfer of small aerosols are examined in the approximation of free-molecular flow by gas stream. Calculation formulas which can be used for design of various dust catchers are obtained

[illegible]

$$r\,r\,r\,\partial\quad r\,r\quad\theta\,\theta\,\partial\quad\theta$$

$$_2=^{+-}\partial\partial(\sin\,)\,0,\sin\,^1(\,)\,^1_2$$

$$\frac{\partial}{r}\qquad\qquad\qquad\theta\theta\phi\phi\theta^\theta\theta\theta\theta\,(7)+$$

$$r\,r\,^{rr}\,r\,\partial$$

$$r\,r$$

$$\theta$$

$$_2=^{-}+$$

$$(\sin\,)\,0.\,^{ctg}\sin\,^1(\,)\,^1_2$$

$$\begin{array}{ccccccc} \partial & r & & + & \partial & \theta & r \\ & & & & & & \theta\phi\phi \\ r\,r & & & & \theta\,\theta & & \\ \theta\,\theta\theta\,r & & & & & & \end{array}$$

$$\partial\qquad\qquad\qquad r\qquad\qquad\qquad\partial\qquad\qquad\qquad r$$

In the system (7) tensors of flow impulses are:

$$\partial-\frac{\partial}{V}=^{++-+}\rho$$

$$p\,V^p\rho\rho v\rho\rho$$

$$(\,)^2(\,)^2,\,^2r$$

$$\overset{z}{DV}_{rrprt p\,\partial}$$

$$\frac{r}{r}$$

$$\frac{\rho}{\partial_{\sim-}}$$

$$\partial=^{++-+}\frac{r}{_p2},\,^1(\,)^2(\,)^2$$

$$VV\quad\quad\quad^{\wedge}\mathfrak{I}_{\not{C}}\supseteq+$$

$$\begin{aligned}
& V_D \\
& \theta \rho \rho v \rho \rho \theta \\
& \theta \theta \theta \frac{p V}{\partial p t p r} \\
& \theta \\
& r \quad \frac{\partial}{V} \quad r \quad \downarrow \\
& V \quad V \operatorname{ctg} \theta \\
& 2 () \sim \downarrow \hat{\gamma} \supseteq = - + + r \\
& v \rho \rho \theta \\
& p^z \\
& \phi \phi (8) \\
& t p \\
& r \\
& \rho \\
& \partial \sim - \\
& \gamma \supseteq \partial \partial \\
& 1 () () \sim \downarrow \hat{\gamma} \supseteq - \partial \partial \\
& V V \quad V \\
& \partial = + - + r \\
& V_D \\
& V V \frac{r r}{p p} \theta \rho \rho v \rho \rho \theta \\
& + \\
& \theta \theta \\
& r \quad \partial \quad r \quad \frac{r p r t p}{\theta \theta} \quad r \quad \downarrow \quad r \quad \partial \quad \theta \quad V
\end{aligned}$$

Here $p, \rho, \rho_p, V_r, V_\theta, v_t, D$ are the pressure, density of the gas medium, the density of the solid phase, the two components of the velocity, the kinematic viscosity and the diffusion coefficient of the multiphase turbulent flow, respectively.

In the thesis auto-model solutions of the first two approximations for the system of equations (7) were obtained. It was proved that the obtained solutions exist when coefficients of viscosity and diffusion of two-phase flow have the form:

$$v = - \frac{D}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial r} \quad (9)$$

In these expressions, Sc – is a Schmidt number, ν_0 - kinematic turbulent viscosity of the pure gas flow. The resulting solution generalizes the known solutions for pure gas by L.D. Landau and Yu.B. Rumer. For most of the dust particles it can be assumed that $Sc = 1$. Formula (3) is used to calculate the diffusion transfer of dust

particles in close-to-wall region. As a result, the percentage of dust η is determined depending on the distance - Δ :

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\Delta^2}{2\nu_0}} \quad (10)$$

Here u - is a radial velocity which dust particles gain due to centrifugal force. It is shown that for dust catcher with a withdrawal pipe of the radius $R_1 = 5 \text{ cm}$ and the body of the radius of the $R_2 = 10 \text{ cm}$, about 87% of dust particles with a diameter of 5mm will be contained in the layer of $\Delta \approx 2 \text{ sm}$ thickness. It can be seen that the dust layer takes quite a lot of space. The appearance of this layer adversely affects the efficiency of the dust catcher, because dust particles are sucked into the withdrawal pipe from the upper region of the layer. Therefore, reduction or elimination of the dust layer is another way to increase the efficiency of dust catcher device. This issue has been successfully solved in proposed dust catcher. The dust catcher is illustrated in Figure 7. The principle of this device consists in the fact that the flow of cleaning air in spiral air intake 1 acquires rotary motion, and as a result of the centrifugal force dust particles are pressed to the case 3, then, after coagulation they become larger and form a dust layer; then by momentum they fall into the space between the 3, 10, 11, 6 and 5. This space forms a bunker for particles of large and medium sizes. Mainly large and medium-sized dust particles fall into this bunker. Smaller ones go into cone part of air cleaner 5. There the stream before entering the bunker for fine particles strikes the reflector, whereby air flows into the outlet pipe, and dust particles fall into inner bunker.

High efficiency of dust collection of this unit is achieved due to the fact that in a bunker for large and medium particles about 90% of the dust is accumulated, so in cone section the thickness of dust layer is substantially reduced compared to the case with no external bunker. A decrease in the thickness of dust layer in the cone leads to a reduction of dust particles withdrawal into outlet pipe. As a result of

this phenomenon, the effectiveness of laboratory air cleaner has increased from 96% up to 99%.

The fourth chapter - "**Method of calculation of aerodynamic resistance, optimal parameters and efficiency of air cleaner**" of the thesis - is devoted to

68

the study of aerodynamic resistance, efficiency and optimization of the parameters of centrifugal dust catchers.

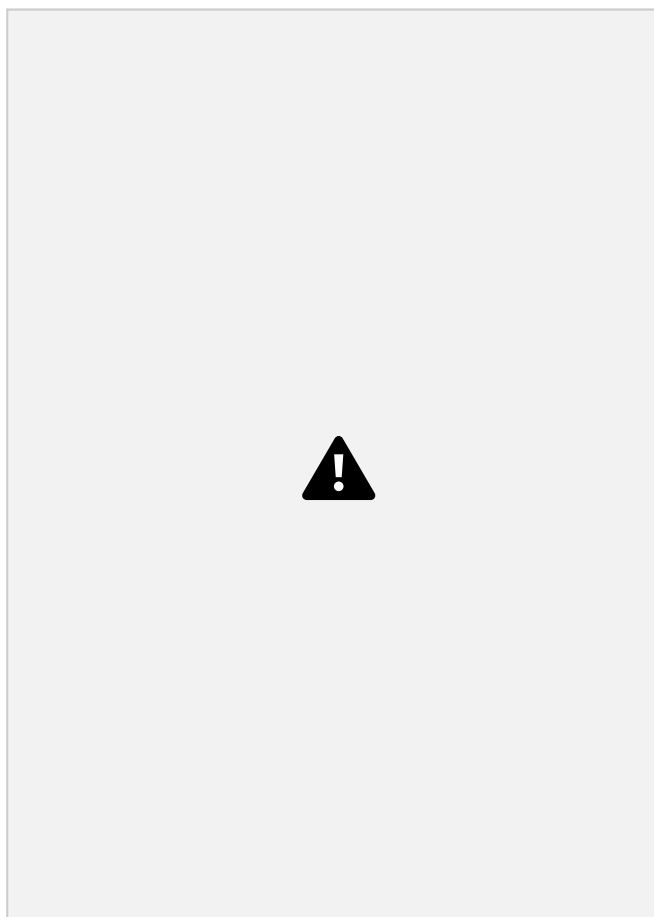


Fig. 7. Principal scheme of proposed dust catcher

1- pipe to withdraw cleaned air, 2 - spiral air intake, 3 – body, 4 – branch pipe to stabilize the flow of air, 5 - cone to collect fine particles, 6 - the case of the bunker for fine particles, 7 - expanding cone, 8 - reflector 9 - a fixing bolt, 10 - cone to collect large particles, 11 – bunker cover, 12 - trajectory of the flow

In Section 4.1, to calculate the aerodynamic resistance of dust catcher, stream flow region is divided into 5 zones (Fig. 8): 1 - the zone of spiral inlet, 2 - the zone where the flow acquires rotational motion and translational velocity directed downwards, 3 – zone of coaxial channel, 4 – the zone where the flow is reversed and flows into outlet pipe, 5 – the zone of stream flow in outlet pipe. Full aerodynamic resistance of air cleaner is the sum of pressure losses in these zones. To calculate the aerodynamic resistance (total pressure drop) of dust catcher for a given productivity $-G$ (l/s) the following calculation formulas are derived:

$\xi = r_1 r_2 D_{ex} = a_0 b_0 a_0 + b_0 D_{ex} = ab a + b$ (11) Flow velocity on the entrance into air inlet is

$$G U = \quad (12)$$

$$^0 2a b_{00}$$

69

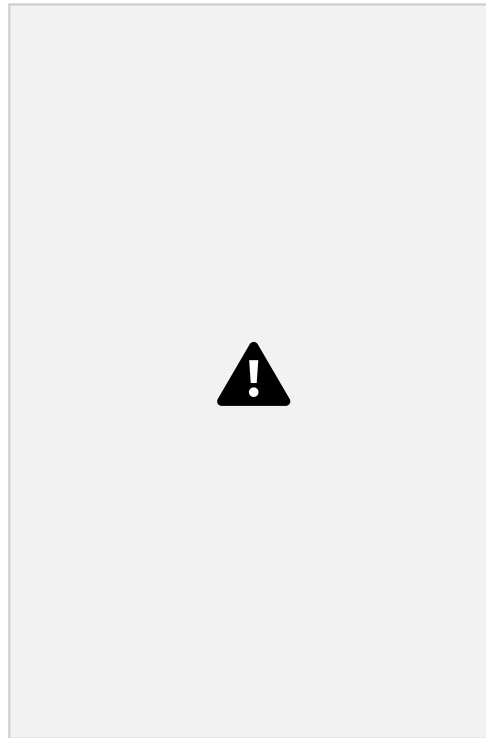


Fig. 8. Vertical section of centrifugal dust catcher

Flow velocity on withdrawal from air inlet is

$$G U_2^1 = \quad (13)$$

$$ab$$

$$U_0 D^{6x} \text{Re}_0 = \text{, friction co}$$

Reynolds' number on the entrance into air inlet - v

$$68.5 \quad 0.11^{0.25}$$

$$^0 \sim \downarrow \hat{}$$

$$\mathfrak{J} \supseteq +$$

$$\Delta = D_{ex}$$

λ Roughness of air cleaner walls for ventilation

efficient - η Re

pipes is taken as equal to $\Delta = 0.15mm$.

Frictional resistance of air inlet is

$$\frac{\rho \lambda_{D_{ex}}}{2 \rho} \beta \alpha$$

$$\frac{U_1}{U_0} = \frac{U_1}{U_0} - \frac{U_1}{U_0}$$

$$\frac{U_1}{U_0} = \frac{U_1}{U_0} + 9$$

$$\Delta = 1$$

$$P \cdot (14)$$

$$\exp \left(\frac{\beta \alpha}{9} \right) + \frac{4}{\downarrow}$$

Here, $\ln \left(\frac{U_1}{U_0} \right) \alpha = D_{ex} D_{ex} \ln \left(\frac{U_1}{U_0} \right)$. $\beta = U_1 U_0$

Longitudinal velocity in circular channel equals to

$$G V = \pi \cdot (15)$$

$$\left(\frac{r}{r} \right)^2$$

Pressure drop at flow transportation from air inlet into co-axial pipe is:

$$(1) \frac{2}{2}$$

$$p \rho \xi \rho$$

$$U V$$

$$+ \Delta = \cdot (16)$$

$$\frac{1}{2}$$

$$\frac{2}{U}$$

$$\omega = k \cdot$$

Initial angular
velocity of flow - $\frac{1}{r}$

Effective diameter of circular channel - $2 \left(\frac{r}{r} \right) D r r_{\phi} = -$.

$$\frac{0.25}{Re D} \left(\frac{r}{r_{\phi}} \right)^{+} = \frac{\omega^2}{2}$$

Reynolds' number in circular channel –

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$
$$\Delta = \frac{0.25}{Re D}$$

Friction coefficient –

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$
$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2}$$

Pressure drop in co-axial channel:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho v^2 \left(\lambda \frac{L}{D} + \frac{1}{2} \right)$$

$$\frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\frac{1}{2} \rho v^2$$

$$p$$

$$\frac{1}{2} \rho v^2$$

$$2 \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$D$$

Pressure drop at flow turn into withdrawal pipe:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\frac{V_1^2}{r_1^2}$$

$$\xi_4 = \frac{1}{2}$$

$$\omega_0$$

$$\omega_K =$$

Angular velocity in withdrawal pipe – ω_1 ()

$$\xi_1$$

$$G_V = \pi$$

Longitudinal velocity of the flow in withdrawal pipe – v_1

$$\omega_1^2$$

$$Re_{rV+r} = 2.025$$

$$\frac{1}{1}$$

Reynolds' number in withdrawal pipe – Re_1

$$\frac{1}{2} \sim \frac{1}{2}$$

$$\frac{\gamma}{\gamma} = +$$

$$\lambda = \frac{\Delta}{r} = 68.5$$

Friction coefficient – λ

$$\frac{0.11}{2} = \frac{1}{1}$$

Pressure drop in withdrawal pipe:

$$\lambda \omega$$

$$L_K$$

$$= \frac{1}{2} \frac{V_1}{1}$$

G, l/s

Fig.9. Comparison of design results of resistance of dust catcher with tests data

In this expression ξ - is the ratio of pipe diameters, C_m - Kenninghem's factor, δ - the diameter of dust particle, ρ - the density of dust material, ω_0 - the angular velocity of flow at the beginning of coaxial channel, L - the length of coaxial channel, $V(\xi)$ - longitudinal velocity of the flow in the coaxial channel, ρ - air density, ν - molecular viscosity of air, $K(\xi)$ - ratio, which is mentioned above, in calculating the resistance of coaxial channel. With known dispersed composition of dust, namely share part by weight ε_i of the particles of δ_i size, the total efficiency of the dust catcher of the first stage of cleaning is:

N

$$= \eta, (22)$$

$$\eta = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i \eta_{\delta_i}$$

()

ε_i - share of fractions.

here N - is a number

In Section 4.4 the method of numerical calculation of the efficiency of the second stage of cleaning is given. The method consists in the fact that the calculated trajectories of dust particles are conducted on the basis of hydrodynamic equations (4) and calculation of collected particles is done by statistics:

$$\begin{aligned} & DV \\ \notin = -\pi\mu\delta_{TMTMTMTM} \\ & C=-+ \\ & z_p \\ & 3^{}(,), \\ mV V_{pzp} \\ & DtC^m \\ & 2 \\ & DVmV\pi\mu\delta \\ & 3^{}(,) , rppp \\ & \phi \\ mVV \\ & TMTMTM=-TM \\ & \copyright (23) \\ p rrp \\ & D tCr \\ & m \\ & DV3^{}(.). \\ & \phi_p \\ & \pi\mu\delta \\ mVV_{pp} \\ & DtC^m \\ & \phi\phi\phi \end{aligned}$$

Here V_r , V_z , V - are velocities of moving flow; m_p - mass, V_{zp} , V_{rp} , $V_{\phi p}$ - velocities, D_{Dt} - substantial derivative, m - Kenningham's coefficient. In Section 4.5 an optimum correlation between pipe diameters of dust catcher is found. At optimal correlation of pipe diameters, maximum efficiency of the first stage of cleaning is reached, which leads to maximum efficiency of dust catcher as a whole.

Figure 10 shows the dependence of the minimum size of collected particles on the ratio of dust catcher pipe diameters. From this graph it is clear that the analyzed function has a precise minimum for $\xi \approx 0.66$. Therefore, the maximum ef

ficiency of the first step of cleaning of dust catcher is achieved at this ratio of di
 ameters. The same optimum ratio of diameters of the annular channel and the dust
 catcher has been found in numerous laboratory studies.

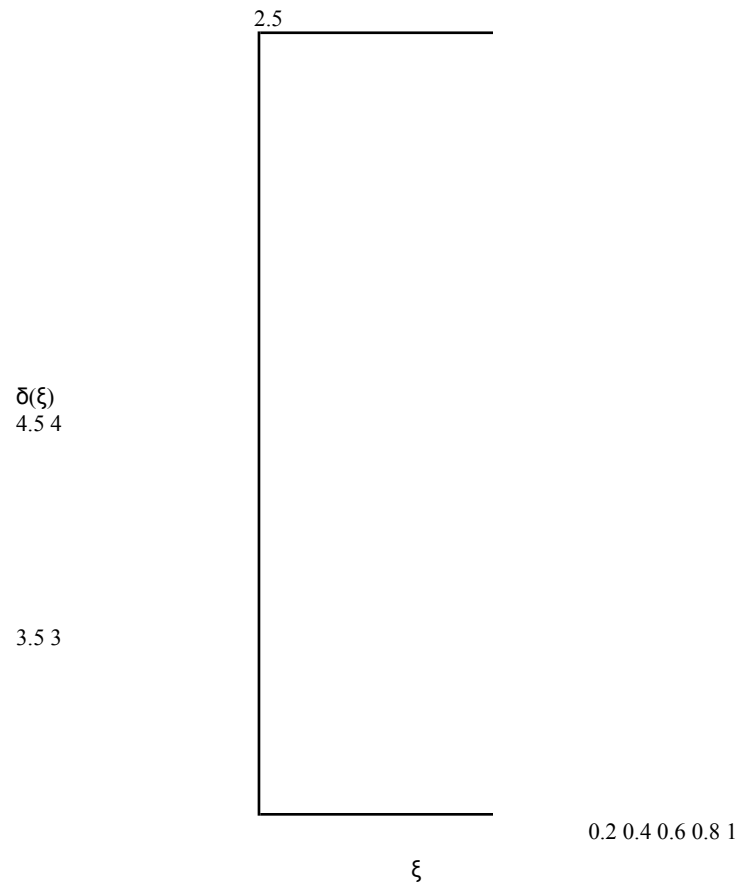


Fig.10. Minimal size of collected particle depending on diameter ratio of dust catcher pipes

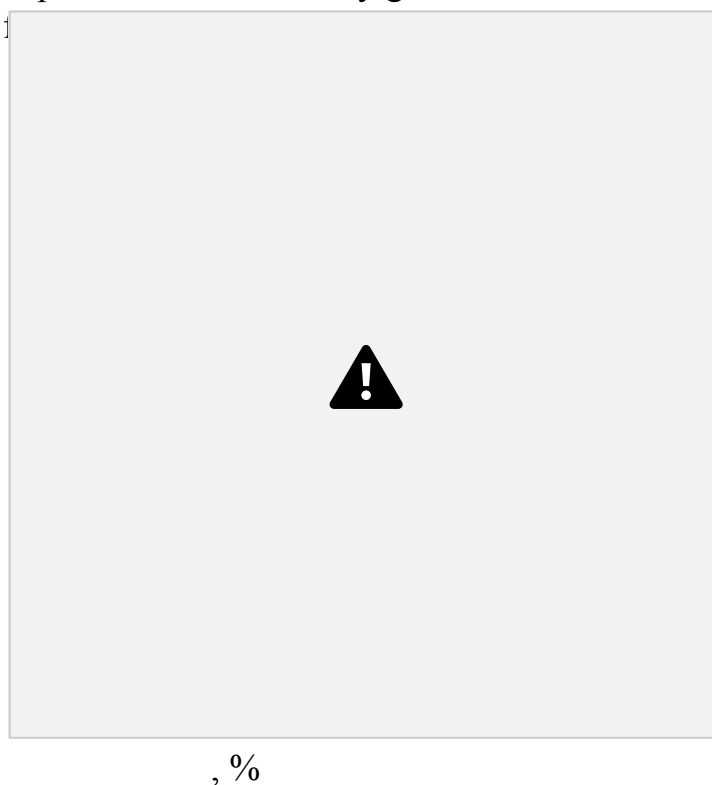
In Section 4.6 the methodology of experimental measurements of effective
 ness of dust catchers and air cleaners is described. In this section the comparison of
 obtained formulas for the efficiency of dust collector with experimental measure
 ments for dust of Portland cement 400 was carried out. Dispersed composition of
 Portland cement 400 is shown in Table 1.

Table 1

Dispersed composition of Portland cement 400.		
Size range, mcm	Medium size, mcm	Outlet of fraction, %
0...10	5	12,0
10...20	15	36,2
20...30	25	19,39
30...40	35	17.2
40...50	45	12.8

50...60	55	0,3
60...70	65	1,2
70...80	75	0,8
80...90	85	0,3
90...100	95	1.2

Fig. 11 shows the dependence of total efficiency of air cleaner for ICE LK 07 on productivity of air for cement dust. The same figure shows tests measurements plotted in circles. As can be seen, the agreement between the calculated curves and experimental data is very good. This fact testifies to the adequacy of design



G, l/s

Fig. 11. Dependence of total efficiency of air-cleaner on productivity

74

The results obtained in the thesis allow to create high-performance centrifugal dust catchers and air cleaners. The newly created devices are not only similar to foreign analogues, but exceed them in many ways. Dust catchers and air cleaners are introduced into various enterprises and successfully operate in the Republic.

CONCLUSION

On the basis of the conducted researches on the doctoral dissertation on the subject "development of highly effective centrifugal dust arresters on a basis of aerodynamic processes" the following conclusions are provided:

1. On the basis of numerical research of dynamics of a flow in a centrifugal dust catcher it is revealed that the whirlwinds arising in the device are the main factors in decrease in efficiency of a dust catcher.

2. For the first time the analysis on the basis of the theory of stability of a flow has allowed to determine efficiency of the twisting dust arrester air devices. These researches will be useful when designing highly effective centrifugal dust arresters.

3. Researches on reduction of intensity of whirlwinds have led to creation of the stabilizer device which has allowed to increase efficiency of a dust arrester to 20%.

4. Researches of dynamics and a mass transfer of a turbulent two-phase flow have allowed to determine coefficients of viscosity and diffusion. Researches in this area are necessary for determination of the necessary sizes of elements for the first step of cleaning of a dust arrester.

5. Methods of determination of efficiency and aerodynamic resistance of a

centrifugal dust arrester are developed. These methods are necessary when designing centrifugal dust arresters and air cleaners.

6. The optimization method of the sizes of details of a dust arrester is developed. The conducted researches in this area have allowed to develop the compact, highly effective and having minimum aerodynamic resistance of an industrial dust arrester and the air cleaner for the engine of vehicles.

НАШР ЭТИЛГАН ИШЛАР ЙХАТИ - СПИСОК ОПУБЛИКОВА НЫХ РАБОТ - LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Маликов . . , . . Хужаев, . . Орзикулов. Гидродинамическое взаимодействие двух сфер при вращении их вокруг общей оси при малых числах Рейнольдса. // Журнал «Проблемы механики», Ташкент, 1994, 3-4. — .21-24. (05.00.00; 6).
2. Маликов . . , Умаров . . , Тиллабоев . . Двумерное стациона - ное движение жидкости пузырьками газа плоской трубе учетом архим - довой силы. // Журнал «Проблемы механики», 1999, Ташкент, 1. — .25-30. (05.00.00; 6).
3. Маликов . . , Ризаев . . Промышленное внедрение нового пыл - уловителя. //Москва, Горный журнал, 2009, спец. выпуск АГМК-60 лет. — .108-109. (05.00.00; 28).
4. Маликов . . , Ризаев . . Испытание внедрение нового пылеул - вителя промышленности. // Ташкент, Журнал «Горный вестник Узбекист - на», 2010, 40. — .65-67. (05.00.00; 7).
5. Маликов . . , Нуритдинов . . Исследование турбулентной струи затопленном пространстве. // Журнал «Проблемы механики», Ташкент, 2010, 4, — .23-25. (05.00.00; 6).
6. Маликов . . , Ризаев . . др. Аэродинамический расчет геоме - рических

размеров криволинейного участка трубопровода. // Журнал «Проблемы механики», Ташкент, 2010, 4, – 29-31. (05.00.00; 6).

7. Маликов . ., Нуритдинов . ., Ризаев . . Методика расчета эффективности центробежных пылеуловителей. Доклады АН РУз., 2012, 2. – 32-34. (05.00.00; 9).

8. Маликов . ., Стасенко . . Асимптотика затопленной струи процессы переноса ней. // Москва, Журнал «Труды МФТИ, Том 5, 2, 2013 . – 59-68. (05.00.00. 85).

9. Маликов . ., Ризаев . . др. Квазиодномерная модель течения взаимопроникающих сред путевым изменением массового расхода фазы. // Журнал «Доклады АН РУз», 2014, 1. – 36-38. (05.00.00; 9).

10. Маликов . ., Ризаев . ., . . Йўлдошев. Разработка мокро инерционного пылеуловителя испытания лабораторной установки промышленных условиях. // Вестник ТГТУ, 2015, 2. – 132-137. (05.00.00; 16).

11. Маликов . ., Ризаев . ., Йўлдошев . ., Ражабов . ., Нури - динов . . Предварительный воздухоочиститель для двигателей внутреннего сгорания автомашин. // Журнал «Горный вестник Узбекистана», 2015, 4. (05.00.00; 7).

76

12. Маликов . ., Ризаев . ., Йўлдошев . . Разработка мокро инерционного пылеуловителя испытания лабораторной установки промышленных условиях. //Журнал вестник ТГТУ, 2015, 2, – 132-137. (05.00.00; 16).

13. Маликов . . Математическое моделирование численный расчет потока винтовом канале. //Журнал «Проблемы механики», 2015 ., 3- 4, 96-100. (05.00.00; 6).

14. Патент IAP 04154 от 28.04.2010. Маликов . ., Ризаев . . др. Центробежный пылеуловитель.

II бўлим (II часть; II part)

15. Маликов . ., Стасенко . . Нестационарная парокапельная струя разреженном пространстве. //Ученые записки ЦАГИ, 1993, Том XXIV, 3. – 121-132.

16. Маликов . ., Стасенко . . Механика оптика полидисперсной струи вращающимися частицами. //Ученые записки ЦАГИ, 1996, Том XXVII, 1-2. – 117-124.

17. Маликов . ., Хужаев . . Математическая численная модели воздушного потока дольками хлопка-сырца криволинейной части труб - провода хлопоуборочной машины. // Ташкент, Вопросы вычислительной прикладной математики. 2012 ., вып. 127. – 131-135.

18. Маликов . ., Стасенко . ., Шуинов . . Газодинамические оптические характеристики нерасчетных двухфазных трехмерных струй вращающимися жидкими частицами. // кн.: Прикладные вопросы аэродинамики. Сб. научн.

Трудов. Киев: Наукова думка 1987, – С.28-31.

19. Маликов . ., Карпов . ., Сергеева . ., Стасенко . . Управл - ние нестационарными двухфазными струями при помощи магнитного поля. // кн. «Теория конструкция двигателей летательных аппаратов». Труды XVIII Научных чтений по космонавтике, посвященных памяти выдающихся ученых-пионеров освоения космического пространства. Москва, 24-28 янв - ря 1994 . – .64-65.

20. Маликов . ., Стасенко . ., Чеховский . . Высокоскоростные полидисперсные парокapельные потоки учетом объемной неизотермичн - сти, испарения, отвердевания вращения капель частиц. // Тезисы докл - дов вос мой всесоюзной конференции «Двухфазный поток энергетических шинах аппаратах», 1990, Том 3. – .380-381.

21. Маликов . ., Коган . . Влияние полетов самолетов на перенос вредных веществ атмосфере. // Препринт ЦАГИ, 1991 .

22. Маликов . ., Стасенко . . Полидисперсное течение транзв - ковой части сопла струе произвольной нерасчетности учетом фазовых - реходов лучистого энергопереноса. // Тезисы докладов 15 Всесоюзного - минара по газовым струям. Ленинград, из-во ЛМИ, 1990. – . 77-78.

77

23. Маликов . . Транззвуковое течение полидисперсной струи. // - зисы докладов 6-международной школы-семинара, . Самарканд, 1992 . – . 67-68.

24. Маликов . ., Ризаев . . др. Центробежный пылеуловитель для очистки промышленных выбросных газов. // Материалы республиканской научно-технической конференции ISTIQLOL «Геолотехнология: инновац - онные методы недропользования XXI веке». Москва-Наваи. 25-27 се тьября 2007 . – .333-334.

25. Маликов . ., Абдурахманов . . др. Опытнo-промышленное испытание нового пылеуловителя ЦП-1. // Ер усти транспорти тизимлари - аммоларига ба ишланган илмий-техник конференцияси. 29-31 май 2008 .

26. Маликов . ., Ризаев . . др. Внедрение центробежного пыл - уловителя на известковом заводе ОАО АГМК. // Материалы конференци «Совр менная техника технология горно-металлургической отрасли пути их разв тия». .Навоий, 29-30 сентября 2008 .

27. Маликов . ., Йулдашев . ., Ризаев . . Пылеулавливатель - вого поколения. // Каталог II республиканской ярмарки инновационных иде , техн логий проектов. – Ташкент 2009.

28. Маликов . ., Нуритдинов . . Высокоэффективные ентро бежные пылеуловители. //Тезисы докладов ВСФПТПМ, 24-30 августа 2011, Нижний Новгород, Россия.

29. Ризаев . ., Маликов . ., Йулдашев . ., Исроилов . . Энерго ресурсосберегающий фильтр для двигателей внутреннего сгорания авт - машин. // VIII Международная научно-техническая конференция, 19-21 - ября

2015 ., . - 235.