

Дюсенбаев Ермек Шуиншибекулының
8D071 – «Инженерия және инженерлік іс» бағыты,
8D07102 – «Көлік, көлік техникасы және технологиялар»
білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін ұсынылған «Дизельді қозғалтқыштың модульдік
ультрадыбыстық бәсендеткішінің құрылымын әзірлеу және
жұмысын зерттеу» тақырыбындағы диссертациясына
АНДАТПА

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі. Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасының климаттың өзгеруі және тұрақты даму саласындағы мемлекеттік саясатын іске асыру аясында орындалған. Бұл саясат Қазақстан Республикасының 2060 жылға дейін көміртекті бейтараптыққа қол жеткізу стратегиясында қарастырылған (Қазақстан Республикасы Президентінің 2023 жылғы 2 ақпандағы №121 «Қазақстан Республикасының 2060 жылға дейін көміртекті бейтараптыққа қол жеткізу стратегиясын бекіту туралы» Жарлығымен бекітілген). Диссертациялық зерттеу сондай-ақ «Ультрадыбыстық және лазерлік сәулеленумен көлік техникасының пайдаланылған газдарын тазартуға арналған құрылғылар мен материалдардың конструкциясын, жұмыс режимін есептеу әдістемесін әзірлеу» атты гранттық жоба аясында орындалды (зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (грант № AP26197113), 29.09.2025 ж. № 309/25-27 шарт).

Жол-құрылыс, карьерлік және коммуналдық техникада қолданылатын дизель қозғалтқыштарын пайдалану қатты бөлшектер (PM), азот оксидтері (NO_x), көміртек оксиді (CO) және көмірсутектер (HC) сияқты зиянды заттардың елеулі көлемде бөлінуімен қатар жүреді. Қазіргі заманғы отын беру жүйелері мен каталитикалық бейтараптандырғыштардың енгізілуіне қарамастан, әсіресе, ауыр пайдалану жағдайларында, төмен және ауыспалы жүктемелерде, сондай-ақ дамыған қалалық инфрақұрылымнан тыс жерлерде жұмыс істейтін арнайы техника үшін атмосфералық ауаның ластану мәселесі өзектілігін сақтап отыр.

Ұлттық және халықаралық климаттық шолулардың деректеріне сәйкес, Қазақстан Республикасының көлік секторы парниктік газдардың жалпы шығарындыларының шамамен 8–11 %-ын құрайды, оның ішінде басым үлес іштен жану қозғалтқыштары бар автомобиль көлігіне тиесілі. 2023 жылы көлік секторынан бөлінген CO_2 шығарындыларының көлемі шамамен 24 млн тонна CO_2 -эквивалентін құрады, бұл жүк көлігі, жол-құрылыс және коммуналдық техника сияқты дизельмен жұмыс істейтін техниканың елеулі үлесін көрсетеді. Ірі қалалар мен өнеркәсіптік агломерациялар жағдайында мобильді ластану көздерінің үлесі 50 %-дан асады, ал көлік жүктемесі жоғары кезеңдерде 70–80 %-ға дейін жетеді.

Дизель қозғалтқыштарының пайдаланылған газдарын тазалаудың дәстүрлі жүйелері – күйе сүзгілері (DPF), селективті каталитикалық қалпына келтіру

жүйелері (SCR) және пайдаланылған газдарды рециркуляциялау жүйелері (EGR) жоғары құнымен, отын сапасына сезімталдығымен, қызмет көрсетудің күрделілігімен және шығарындылар температурасы төмен болған жағдайларда тиімділігінің төмендеуімен сипатталады. Бұл факторлар олардың жол-құрылыс және коммуналдық техникада қолданылуын шектейді. Осыған байланысты пайдаланылған газдарды тазалаудың физикалық әдістері ерекше ғылыми-практикалық қызығушылық тудырады.

Талдау нәтижелері көрсеткендей, физикалық әдістердің ішінде ультрадыбыстық және лазерлік технологиялар ең үлкен әлеуетке ие, себебі оларда реагенттер мен сүзгілеу элементтері қолданылмайды, құрылымы ықшам және әсер ету параметрлерін икемді түрде реттеуге мүмкіндік береді. Алайда лазерлік жүйелерді пайдаланылған газдар ортасында қолдану жоғары энергия тұтынумен, оптикалық элементтердің деградациясымен, қауіпсіздік пен сенімділікті қамтамасыз етудің күрделілігімен байланысты елеулі инженерлік және пайдалану шектеулеріне тап болады. Осы кезеңде ультрадыбыстық әдіс шығарындылар газын тазалауда ең тиімді болып табылады, өйткені ол тиімділікті, конструкциялық қарапайымдылықты және эксплуатациялық сенімділікті үйлестіреді, ал ультрадыбыс пен лазерді біріктіріп қолдану идеясы перспективалық болып саналады және қосымша зерттеулерді қажет етеді.

Шығарындыларға ультрадыбыстық әсер ету саласындағы қазіргі зерттеулер мен әзірлемелер көрсеткендей, ультрадыбыстық жүйелер көбінесе бәсендеткіштердің көлденең орналасқан конфигурацияларында жүзеге асырылған, бұл коагуляцияланған бөлшектердің тұну тиімділігін шектейді, акустикалық өрістің біркелкі еместігіне және арнаның бітелу қаупінің жоғарылауына әкеледі. Тракторлар, жол-құрылыс және арнайы техниканың пайдалану шарттарын талдау бұл машиналар класы үшін тік бағытта орналасқан шығару жүйелері анағұрлым қолайлы екенін көрсетеді. Шығарынды ағынының бағытының ауырлық күші әсерімен сәйкес келуі іріленген бөлшектердің тиімдірек тұнуын қамтамасыз етеді, ал ультрадыбыстық сәулелендіргіштерді корпус биіктігі бойынша біркелкі орналастыру көпсатылы акустикалық әсерді іске асырып, PM_{2.5} және PM₁₀ фракцияларын ұстау дәрежесін арттыруға мүмкіндік береді.

Вертикаль ультрадыбыстық бәсендеткіштердің айқын артықшылықтарына қарамастан, қазіргі уақытта олардың конструкциясын әзірлеуге, ультрадыбыстық әсердің тиімділігін негіздеуге және шығарындылар газын тазалаудың эксперименттік бағалауыне арналған зерттеулер жоқ. Осыған байланысты, вертикаль модульдік ультрадыбыстық бәсендеткіштің конструкциясын әзірлеу және оның жұмысын зерттеу – көлік және арнайы техникадан шығатын зиянды қалдықтарды азайтуға бағытталған өзекті ғылыми-техникалық міндет болып табылады.

Зерттеу гипотезасы дизель қозғалтқыштарының шығарындыларын тазарту тиімділігін ультрадыбыстық сәулелендіргіштердің қуаты мен кеңістікте орналасуын ұтымды таңдау арқылы вертикаль бағытта орналасқан

модульдік ультрадыбыстық бәсеңдеткішті қолдану есебінен арттыру мүмкіндігі бар деген болжамға негізделеді.

Диссертациялық зерттеудің мақсаты – вертикаль модульдік ультрадыбыстық бәсеңдеткіштің конструкциясын әзірлеу және оның жұмысын негіздеу, бұл жол-құрылыс және арнайы техникадағы дизельді қозғалтқыштардың шығарындыларындағы түтіннің мөлшерін азайту және ұсақ бөлшектердің тұну тиімділігін арттыру үшін бағытталған.

Қойылған мақсатқа жету үшін диссертацияда келесі **міндеттер шешілді:**

- автокөлік және жол-құрылыс техникасындағы дизель қозғалтқыштарының конструкциялары мен пайдаланылған газдарды шығару жүйелеріне талдау жүргізілді;
- пайдаланылған газдарды тазартудың физикалық әдістеріне талдау жүргізілді;
- ультрадыбыстың газ ортасына әсер етуінің физикалық механизмдері зерттелді;
- бөлшектердің коагуляция тиімділігіне әсер ететін ультрадыбыстық ықпалдың негізгі параметрлері анықталды;
- вертикаль бағытта орналасқан ультрадыбыстық бәсеңдеткіштегі бөлшектердің қозғалысы мен іріленуін сипаттайтын математикалық модель әзірленді;
- ұқсастық теориясы мен өлшемдік талдау әдістері арқылы конструкцияны сипаттайтын және модульдік ультрадыбыстық бәсеңдеткіштің тиімді жұмыс істеу шарттарын анықтауға мүмкіндік беретін ұқсастық критерийлері алынған;
- сәулешығарғыштарды кезең-кезеңімен қосу мүмкіндігі бар модульдік ультрадыбыстық эксперименттік стенд жасалды;
- ультрадыбыстық сәулешығарғыштардың саны, қуаты және олардың үйлесімінің түтінденуге, шығарындылар құрамына және тұндырылатын бөлшектер массасына әсерін анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді;
- Эксперименттік деректер өңделіп, алынған нәтижелер талданды;
- жол-құрылыс техникасына ультрадыбыстық бәсеңдеткішті енгізудің техникалық-экономикалық негіздемесі жасалды.

Зерттеу нысаны - арнайы техниканың дизельді қозғалтқышының пайдаланылған газдарын тазарту жүйесі болып табылады.

Зерттеу заты – модульдік бәсеңдеткіште ультрадыбыстық тербелістердің әсерінен пайдаланылған газдардағы қатты бөлшектердің коагуляциясы мен тұну процестері болып табылады.

Зерттеу әдістері Диссертациялық жұмыста теориялық талдау әдістері, математикалық модельдеу, экспериментті жоспарлау және өңдеу әдістері, сондай-ақ ұқсастық теориясы мен өлшемдік талдау әдістері қолданылған.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы мыналардан тұрады:

- ультрадыбыстық сәуле шығарғыштардың қуатын және кеңістікте орналасуын ұтымды таңдаған жағдайда, вертикаль бағытта орналасқан модульдік ультрадыбыстық бәсеңдеткішті қолдану арқылы дизельді

қозғалтқыштардың пайдаланылған газдарын тазарту тиімділігін арттыру мүмкіндігі дәлелденді;

- математикалық модельдеудің шеңберінде вертикаль ультрадыбыстық өрістегі бөлшектердің қозғалыс динамикасымен олардың массасының өсуін байланыстыратын теңдеулер жүйесі қалыптастырылды;

- модульдік ультрадыбыстық бәсендеткіштің конструкциясын және жұмысын сипаттайтын ұқсастық критерийлері анықталды;

- коагуляция процесін күшейту үшін ультрадыбыстық сәулешығарғыштарды модульдік түрде қосудың тиімділігі расталды;

- эксперименттік жолмен газдың түтінділік көрсеткішінің қозғалтқыш айналым саны, ультрадыбыстық сәулешығарғыштардың қуаты және сәулешығарғыштар арасындағы қашықтыққа байланысты өзгеруін сипаттайтын регрессиялық тәуелділік алынды.

Қорғауға ұсынылатын ғылыми тұжырымдар:

- модульдік ультрадыбыстық бәсендеткіштің вертикаль компоновкасы конструктивті және физикалық тұрғыдан негізделген, өйткені ол көлденең схемаларға қарағанда бөлшектердің іріленуі мен гравитациялық тұнуына тиімдірек жағдай жасайды;

- шығарындылар газына ультрадыбыстық әсердің тиімділігі ультрадыбыстық параметрлердің жиынтығы арқылы анықталады, соның ішінде акустикалық өрістің қуаты мен кеңістіктегі таралуы, сондай-ақ бір уақытта жұмыс істейтін ультрадыбыстық сәулешығарғыштардың саны мен комбинациясы;

- вертикаль ультрадыбыстық бәсендеткіштегі бөлшектердің қозғалысы мен коагуляциясын сипаттайтын математикалық модель бөлшектердің массасының өсуін олардың вертикаль ультрадыбыстық өрістегі қозғалыс динамикасымен адекватты түрде сипаттайды, бұл эксперименттік түрде тұндырылған бөлшектердің массасының артуымен расталды;

- әзірленген ұқсастық критерийлері жүйесі модульдік ультрадыбыстық бәсендеткіштің конструкциясы мен жұмыс параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді;

- ультрадыбыстық сәулешығарғыштарды модульдік-комбинациялық қосу шығарындыларға әсер процесін салыстыруға және коагуляция тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді;

- жол-құрылыс техникасына вертикаль модульдік ультрадыбыстық бәсендеткішті қолдану тек экологиялық емес, сонымен қатар экономикалық әсер береді, ол ластаушы заттар үшін төлемдерді азайту және атмосфералық ауаның ластануынан туындайтын әлеуметтік-экономикалық зиянды болдырмау арқылы көрінеді.

Автор қорғайды:

- коагуляция және қатты бөлшектердің тұнуы арқылы шығарындылар газын тазалау үшін арналған дизельді қозғалтқыштың вертикаль типтегі модульдік ультрадыбыстық бәсендеткіш конструкциясын;

- вертикаль ультрадыбыстық бәсендеткіштегі бөлшектердің қозғалысы мен іріленуін сипаттайтын математикалық модельді;

- модульдік ультрадыбыстық бәсендеткіштің конструкциясы мен жұмысын сипаттайтын ұқсастық критерийлерін есептеу әдістемесін;

- ультрадыбыстық сәуле шығарғыштардың саны, қуаты және комбинацияларының түтінділікке, пайдаланылған газдардың құрамына және тұнған бөлшектер массасына әсерін растайтын эксперименттік зерттеулер нәтижелері;

- дизельді жол-құрылыс техникасына ультрадыбыстық бәсендеткішті енгізудің техникалық-экономикалық негіздемесі, оның практикалық қолданудың өзектілігін дәлелдейтін нәтижелері.

Практикалық маңыздылығы зерттеу нәтижелерін шығарындыларды тазарту жүйелерін жобалау, оған техникалық құжаттама дайындау және көлік пен арнайы техниканың зиянды шығарындыларын азайтуға арналған шараларды негіздеу кезінде қолдануға болады. Ұсынылған шешімдер жүйеге қызмет көрсету аралығын ұзартып, пайдалану шығындарын төмендетуге мүмкіндік береді

Диссертациялық жұмыста алынған қорытындылардың сенімділігі зерттеу тапсырмаларының дұрыс қойылуымен, негізделген және адекватты зерттеу әдістерін қолданумен, сондай-ақ эксперименттік нәтижелердің аналитикалық есептеулермен сәйкес келуімен расталады.

Диссертацияның негізгі тұжырымдары жарияланған ғылыми мақалалар мен конференция материалдарында көрсетілген. Сонымен қатар, авторлық құқық объектілеріне мемлекеттік тіркеу куәлігі алынған.

Диссертация құрылымы логикалық түрде ұйымдастырылған, бөлімдер бір-бірімен үйлесімді және зерттеудің барысын біртұтас әдістемелік желіде ашады. Автор қойған барлық міндеттер толық көлемде шешілді, зерттеудің мақсаты қол жеткізілді. Жұмыстың ғылыми жаңалығы мен практикалық маңызы диссертация тақырыбына, мақсатына және міндеттеріне толық сәйкес келеді.

Диссертантының жеке үлесі келесіде көрінеді. Автор тәуелсіз түрде эксперименттік ультрадыбыстық бәсендеткіш стендін жобалап жасап шығарды, бұл эксперименттік зерттеулер жүргізуге мүмкіндік береді. Зерттеуші эксперименттік зерттеулерді жүргізу әдістемесін әзірледі, ультрадыбыстық сәулешығарғыштардың әртүрлі комбинацияларында тәжірибелер кешенін орындады және шығарындылар газын тазалау дәрежесін сипаттайтын негізгі параметрлерді өлшеу мен тіркеуді қамтамасыз етті.

Ізденуші эксперименттік деректерді өңдеп, ультрадыбыстық әсердің түтіндік көрсеткішке, газ құрамына және тұндырылған бөлшектер массасына әсер тиімділігін анықтады. Сонымен қатар, вертикаль ультрадыбыстық бәсендеткіштегі газ бөлшектерінің қозғалыс процесін сипаттайтын математикалық модель әзірленді.

Сонымен бірге, автор ұсынылған шешімнің технико-экономикалық талдауын жүргізіп, оның тәжірибелік қолданылу мүмкіндігін негіздеді және құрылымдық орындалуы мен жұмыс жағдайлары бойынша ұсыныстар жасады.

Жұмыстың жариялануы және апробациясы: диссертацияның негізгі тұжырымдары Scopus және Web of Science дерекқорына кіретін екі мақалада, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитетінің ұсынымы бойынша екі мақалада, екі авторлық құқық объектілеріне мемлекеттік тіркеу куәлігінде және халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциялардың үш тезисінде жарияланған.

«Optimization of Vertical Ultrasonic Attenuator Parameters for Reducing Exhaust Gas Smoke of Compression - Ignition Engines: Efficient Selection of Emitter Power, Number, and Spacing» атты Soft Acoustic Metamaterials: Advances in Geometry, Mechanism, and Responsiveness <https://doi.org/10.3390/app15147870> журналында жарияланған мақалада автордың үлесі келесіде көрініс тапты: Зерттеуді концептуализациялау, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық қамтамасыз ету, валидация, формальды талдау, зерттеулер жүргізу, ресурстарды қамтамасыз ету, деректерді қадағалау, мақаланың бастапқы нұсқасын жазу, мәтінді рецензиялау және редакциялау, нәтижелерді визуализациялау, жобаны басқару, сондай-ақ қаржыландыруды тарту.

«Theoretical and experimental study of diesel engine exhaust gas purification in a vertical ultrasonic muffler stand» атты Komunikacie communications, Scientific letters of the University of Žilina журналында жарияланған мақалада автордың үлесі келесіде көрінді: математикалық модельді әзірлеу, эксперименттік зерттеулерді жүргізу, деректерді өңдеу, мақала мәтінін дайындау, редакциялық өңдеу, алынған нәтижелерді визуализациялау.

«Comparison of the Efficiency of Cleaning the Exhaust Gas of Internal Combustion Engines of Cars with Ultrasonic Emitters» атты мақала, «Университет Еңбектері» журналы №3 (92), 2023, «Құрылыс. Көлік» бөлімі, DOI: 10.52209/1609-1825_2023_3_284, автордың үлесі келесіде көрінді: эксперименттік зерттеу әдістемесі мен жоспарын әзірлеуге қатысу, эксперименттік қондырғыны дайындау, ультрадыбыстық сәуле шығарғыштардың жұмыс режимдерін таңдау, сондай-ақ ішкі жану қозғалтқыштарының пайдаланылған газдарын тазартудың тиімділігін бағалау мақсатында жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін жүргізу және талдау.

«Дизельді қозғалтқыштың модульдік ультрадыбыстық бәсеңдеткішінің құрылымын әзірлеу және жұмысын зерттеу» атты мақала, «Университет Еңбектері» журналы №4 (101), 2025, «Құрылыс. Көлік» бөлімі, DOI: 10.52209/2706-977X_2025_2_102.

Автордың үлесі дизельді қозғалтқыштардың пайдаланылған газдарындағы зиянды қоспаларды азайтуға арналған модульдік ультрадыбыстық бәсеңдеткіштің конструкциясын әзірлеу және оның жұмыс істеу принципін зерттеуге байланысты. Эксперименттер барысында газдағы оттегінің мөлшері мен түтінділік көрсеткіштері өлшенді, олардың нәтижелері ультрадыбыстық әсердің оттегінің концентрациясын арттыруға және түтінділікті азайтуға ықпал ететінін көрсетті. Алынған нәтижелер модульдік ультрадыбыстық

бәсеңдеткіштердің дизельді қозғалтқыштардың зиянды шығарындыларын азайту тиімділігін негізделген түрде дәлелдеуге мүмкіндік берді.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс 171 бет машиналық мәтін түрінде ұсынылған, оған белгіленімдер мен қысқартулар, кіріспе, 4 бөлім және қорытынды кіреді. Жұмыста 45 сурет, 28 кесте, 110 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімі және 5 қосымша қамтылған.

Диссертацияның қысқаша мазмұны

Барлық бөлімдер әдістемелік логикалық тәртіппен орындалған және өзара байланысты. Диссертантың қойған барлық міндеттері шешілді, зерттеудің мақсаты қол жеткізілді. Жұмыстың практикалық маңызы мен ғылыми жаңалығы диссертация тақырыбына, мақсатына және міндеттеріне толық сәйкес келеді.

Қысқаша мазмұны

Бірінші тарауда дизельді қозғалтқыштың конструкциясы, жұмыс режимі және техникалық жағдайының отынның жану процестеріне және зиянды шығарындылардың түзілуіне әсері негізделген. Дизельді қозғалтқыштардың пайдаланылған газдары күрделі токсикалық қоспадан тұратыны және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін тиімді тазалау әдістерін қажет ететіні анықталған. Барлық қолданыстағы шығарындыларды азайтатын жүйелер талданып, олардың жоғары құны мен техникалық қызмет көрсету қиындығы көрсетіліп, физикалық тазалау әдістерін қолданудың негізділігі дәлелденген. Пайдаланылған газдарға физикалық әсер ету әдістері қарастырылып, олардың ішінде ультрадыбыстық және лазерлік тазалау тәсілдері ең қызықты болып табылған. Лазер сәулесі газ-аэрозольдік ортаға фототермиялық және фотохимиялық әсері арқылы жоғары потенциалға ие екені анықталса да, оны шығарындылар жүйесінде қолдану энергия тұтынудың жоғары болуы, оптикалық элементтердің деградациясы және сенімділік пен қауіпсіздікті қамтамасыз етудің күрделілігіне байланысты шектеледі. Нәтижесінде, жоғары тиімділік, қарапайым конструкция және төмен эксплуатациялық шығындарымен ерекшеленетін ультрадыбыстық әдістің перспективалығы дәлелденді. Тракторлар мен арнайы техника үшін ең тиімді шешім ретінде ультрадыбыстық сәуле шығарғыштары интеграцияланған вертикаль бағыттағы бәсеңдеткіштерді қолданудың негізділігі көрсетілген. Жүргізілген талдаулар негізінде зерттеудің мақсаты мен міндеттері анықталған.

Екінші тарауда ультрадыбыстық әсердің пайдаланылған газдарға кешенді механикалық және физикалық ықпал ететіні анықталды, бұл қатты бөлшектердің коагуляциясын қарқындатып, газ ортасының токсиктілігін төмендетуге мүмкіндік береді. Көрсетілгендей, ультрадыбыстық тазалау тиімділігі ультрадыбыстық әсердің өзара байланысты параметрлері мен газ ағымының шарттарының жиынтығына байланысты, бұл процесті басқарылатын деп қарастыруға мүмкіндік береді. Негізгі параметрлердің иерархиясы қалыптасып, олардың өзара әсерін сипаттайтын схема ұсынылды, бұл ультрадыбыстық тазалау жүйелерінің жұмыс режимдерін адаптивті басқаруға негіз болады. Сондай-ақ, пайдаланылған газдардағы бөлшектер

қозғалысының вертикаль математикалық моделі әзірленді, ол коагуляция және тұну процестерін дәлірек сипаттауға мүмкіндік береді, және ұсынылған модульдік ультрадыбыстық бәсеңдеткіштің конструкциясын және тиімді жұмыс шарттарын сипаттайтын ұқсастық критерийлерін есептеу әдістемесі жасалды.

Үшінші тарауда дизельді қозғалтқыштардың пайдаланылған газдарын тазалау үшін ультрадыбыстық тербелістердің тиімділігі эксперименттік түрде дәлелденді. Вертикаль бағыттағы ультрадыбыстық бәсеңдеткіштің көп деңгейлі сәуле шығарғыштар орналасуы коагуляция және қатты бөлшектердің тұну процестерін күшейтетіндігі, бұл газдардың түтінділігін 30–35% төмендетіп, газ құрамын тұрақтандыратыны анықталды. Ең үлкен тазалау әсеріне қол жеткізілетін рационалды ультрадыбыстық әсер режимдері анықталды. Жоғары детерминация коэффициентімен әзірленген регрессиялық модель ультрадыбыстық әсердің негізгі параметрлерінің түтінділікке әсерін дәл сипаттайды және қозғалтқыштың берілген жұмыс режимдері үшін оңтайлы мәндерін анықтауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер ультрадыбыстық технологиялардың дизельді қозғалтқыштарды экологиялық жаңғыртуда практикалық қолданылуын және перспективтілігін растайды.

Төртінші тарауда ультрадыбыстық бәсеңдеткіштің тиімділігі бағаланып, оны Қазақстандағы жол-құрылыс техникасына енгізудің техникалық-экономикалық негіздемесі жасалды. Cat 12M3 автогрейдері мен Caterpillar C9.3 ACERT қозғалтқышының мысалында ультрадыбыстық бәсеңдеткішті қолдану зиянды заттар шығарындыларының массасын азайтуға, түтінділікті және отын шығынын төмендетуге, сондай-ақ экологиялық төлемдерді қысқартуға мүмкіндік беретіні көрсетілді. Есептеулер кәсіпорын үшін оң экономикалық әсерді және қоғам үшін әлеуметтік-экономикалық жоғары әсерді көрсетті (тиімділік коэффициенті 2-ден жоғары, өзін-өзі ақтау мерзімі бір жылдан аз). Ультрадыбыстық бәсеңдеткіштің өндіріс шығындары талданып, оның құны дәстүрлі сажалық сүзгілер мен DPF модульдерінен экологиялық тиімділігіне сай едәуір төмен екені анықталды. Caterpillar C9.3 ACERT қозғалтқышына ультрадыбыстық бәсеңдеткішке қойылатын техникалық талаптар анықталып, арнайы техниканың жұмыс жағдайында сенімді, қауіпсіз және энергия үнемді жұмысын қамтамасыз ету ұсынылды. Сонымен қатар, вертикаль ультрадыбыстық бәсеңдеткіштің конструкциялық ерекшеліктері, монтаж, техникалық қызмет көрсету және жөндеу мәселелері қарастырылып, оның практикалық қолданылуы мен өнеркәсіптік енгізу перспективасы расталды.

Диссертация жаңа, ғылыми тұрғыдан негізделген нәтижелерді ұсынады, олар маңызды қолданбалы мәселені шешуге бағытталған — вертикаль модульдік ультрадыбыстық бәсеңдеткіштің конструкциясын әзірлеу және оның жұмысын негіздеу, бұл жол-құрылыс және арнайы техникадағы дизельді қозғалтқыштардың шығарындыларындағы түтін мөлшерін азайту мен ұсақ бөлшектердің тұну тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Диссертациялық зерттеу нәтижелері бойынша келесі қорытындылар алынды:

- дизельді қозғалтқыштардың конструкциясы мен жұмыс режимдері талданды, нәтижесінде жол-құрылыс және карьерлік техника жағдайында қолданылатын дәстүрлі тазалау жүйелерінің айтарлықтай эксплуатациялық шектеулері бар екені анықталды: жоғары құны, температуралық режимге тәуелділігі, жанармай мен реагенттердің сапасына сезімталдығы және регенерация қажеттілігі;

- шығарындыларды физикалық әдістермен тазалауды талдау жүргізілді, оның нәтижесінде реагенттер мен сүзгі элементтерін қажет етпейтін ультрадыбыстық және лазерлік әдістердің ең үлкен потенциалға ие екені анықталды. Дизельді қозғалтқыштардың шығарындылар ортасында лазерлік жүйелерді практикалық іске асыру инженерлік және эксплуатациялық шектеулерге байланысты күрделі екені белгілі болды, сондықтан негізгі әдіс ретінде ультрадыбыстық әдіс таңдалды. Оларды біріктіріп қолдану – болашақ зерттеулердің перспективалық бағыты ретінде қарастырылады;

- вертикаль модульдік ультрадыбыстық бәсендеткіштің компоновкасы бөлшектердің коагуляциясы мен тұну механизмдерін жүзеге асыру үшін көлденең схемаларға қарағанда ең тиімді жағдай жасайтыны туралы гипотеза ұсынылып, расталды;

- газ ортасына ультрадыбыстық әсер ету процесінің физикасы зерттелді, нәтижесінде процестің параметрлерінің иерархиясы, олардың өзара байланысы және ультрадыбыстық әсер кезінде оларды басқару мүмкіндігі анықталды;

- математикалық модельдеу нәтижесінде бөлшектердің массасының өсуін олардың вертикаль ультрадыбыстық өрістегі қозғалыс динамикасымен байланыстыратын теңдеулер жүйесі жасалды, бұл коагуляция және тұну процестерін сандық сипаттауға мүмкіндік берді;

- ұқсастық теориясы мен өлшемдік талдау негізінде вертикаль модульдік ультрадыбыстық бәсендеткіштің конструкциясы мен жұмыс режимдерін сипаттайтын ұқсастық критерийлері жүйесі алынған және оның конструкциялық және режимдік параметрлерін есептеу әдістемесі әзірленген;

- ультрадыбыстық сәулешығарғыштардың санын және орналасуын өзгертуге мүмкіндік беретін эксперименттік вертикаль модульдік ультрадыбыстық стенд әзірленген;

- эксперименттік жолмен ультрадыбыстық әсердің тиімділігі оның қуаты мен сәулешығарғыштар комбинациясына тәуелді екені дәлелденді;

- қозғалтқыш айналым саны, ультрадыбыстық сәулешығарғыштардың қуаты, олардың арасындағы қашықтық және шығарындылар газындағы түтіндік көрсеткіш арасындағы регрессиялық тәуелділіктер алынды, бұл қозғалтқыштың әртүрлі жұмыс режимдерінде ультрадыбыстық әсер процесін болжауға мүмкіндік береді;

- технико-экономикалық талдау ультрадыбыстық бәсендеткішті енгізу экологиялық төлемдерді және эксплуатациялық шығындарды азайтып, экономикалық және әлеуметтік тиімділікті қамтамасыз ететінін көрсетті;

- теориялық, модельдік, эксперименттік және экономикалық нәтижелердің жиынтығы әзірленген вертикаль модульдік ультрадыбыстық бәсендеткіштің

ғылыми негізделгенін және оны транспорттық техникада практикалық қолдануға жарамды екенін растайды.