

Философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертациялар
8D071 дайындау бағыты бойынша – "Инженерия және инженерлік іс",
8D07102 – "Машина жасау" білім беру бағдарламасы бойынша

АҢДАТПА

МОЛДАХАНОВ БЕКБОЛАТ ӘСКЕРХАНҰЛЫ

ҚАЛАҚШАЛЫ ҮДЕТКІШПЕН ЖАБДЫҚТАЛҒАН ФРЕЗЕРЛІК- РОТОРЛЫ ҚАР ТАЗАЛАҒЫШТЫҢ БҰРАНДАЛЫ ҚОРЕКТЕНДІРГІШІНІҢ КОНСТРУКЦИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ҰТЫМДЫ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ

Диссертация Қазақстан Республикасының инфрақұрылымдық дамуының 2020-2025 жылдарға арналған "Нұрлы жол" мемлекеттік бағдарламасы шеңберінде, 8D071 – "Инженерия және инженерлік іс" даярлау бағыты бойынша PhD философия докторы дәрежесін алуға, 8D07102 – "Машина жасау" докторантурасының білім беру бағдарламасы аясында орындалды.

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі. Қазақстан Республикасы өнеркәсібінің қарқынды дамуы тек жазғы уақытта ғана емес, сонымен қатар қысқы уақытта да көлік тасымалының ұлғаюына алып келеді. Оның барысында қар аномалиялары орын алады, соның салдарынан жолдар бойынша қозғалыс тоқтатылады және әуе айлақтар жабылады. Бұл өз кезегінде жұмыс тиімділігіне, мысалы, тазалау жылдамдығы мен қабілетіне қойылатын жоғары талаптарды айқындайды. Қар тазалағыштар, әсіресе оның ішінде фрезерлік-роторлы қар тазалағыштар, өнімділігі жоғары қарқынмен шұғыл қар тазалау жұмыстары және қардың үлкен көлемін тазалау барысында пайдаланылады.

Қар дрейфтерімен күресудің көптеген әдістері бар (соқалармен, фрезерлермен, щеткалармен және басқа да жұмыс органдарымен), бірақ іс жүзінде жол техникасы нарығында қалың қарды тиімді тазартуды қамтамасыз ететін бірнеше шешімдер бар, бірақ олар әрдайым үнемді бола бермейді.

Ең әмбебап және тиімдісі, әр түрлі тығыздықтағы қарды тазалау үшін (борпылдақтан өте қатты тығыздыққа дейінгі) жоғары жұмыс жылдамдығында қолданылатын фрезерлік-роторлы қар тазалағыштар. Қолданыстағы фрезерлік-роторлы жұмыс органдары әр түрлі қалыңдықтағы қар жамылғысының тазалануын қамтамасыз ете алады. Алайда, олар энергия шығынын (қуатын) айтарлықтай арттырмай, үлкен көлемдегі қарды жылдам қарқынды тазартуды қамтамасыз ете алмайды.

Қар тазалағыштардың бұрандалы қоректендіргіштерінің жұмыс процестерін қарқындатудың құрылымдық шешімдері мен әдістерін талдау, перспективалы бағыттардың бірі бұрандалы қоректендіргіштердің орталық бөлігінде орнатылған қалақ тәрізді үдеткіштерді пайдалану болып табылатынын, жұмыс процесінің энергия сыйымдылығын төмендету және өнімділікті арттыру бойынша күтілетін әсер тұрғысынан айтарлықтай

қызығушылық тудыратын қоректендіргіш таспаның бұрандалы желісінің көтеру бұрышының өзгеруімен бірге анықтауға мүмкіндік береді.

Осы диссертациялық жұмыстың негізін, роторлы қар тазалағыштың бұрандалы қоректендіргішінің қар массивімен өзара әрекеттесу процесін зерттеу құрайды. Оның бұрандалы желісінің белгілі бір бұрышқа көтерілуі немесе еңкеюінің ұтымдылығын негіздеу және роторлы қар тазалағыштың алдында қардың пайда болуын жоюға ықпал ететін қалақ тәрізді үдеткішті орнату және пайдалану арқылы бұрандалы қоректендіргіштің тиімділігін арттыруға бағытталған. Және сол арқылы, қозғалтқыштың қуатын және фрезерлік-роторлы қар тазалағыштың қозғалыс жылдамдығын оны пайдалану режимінде неғұрлым толық пайдалануға мүмкіндік береді. Фрезерлік-роторлы қар тазалағыштағы бұрандалы қоректендіргішпен қардан тазарту процедурасы бойынша бірлескен теориялық және эксперименттік зерттеулерді талдау, дәстүрлі әдістің оң қасиеттерін анықтауға және оларды қардан тазартудың жаңа әдісі мен құрылғысының параметрлерін негіздеу кезінде қолдануға мүмкіндік берді.

Қалақшалы үдеткіштердің жұмыс процесі туралы зерттеулердің болмауы, сондай-ақ бұрандалы қоректендіргіштің көтерілу және көлбеу бұрышының қарсылық күштері мен моментіне әсері туралы зерттеулер, **зерттеудің өзектілігін** анықтайды.

Зерттеудің гипотезасы қалақша үдеткіштерін қолдану және бұрандалы қоректендіргіштің ұтымды бұрышын орнату арқылы фрезерлік-роторлы қар тазалағыштармен жолдарды қар үйінділерінен тиімді тазарту мүмкіндігі туралы болжам болып табылады.

Зерттеудің мақсаты - бұрандалы қоректендіргіштің және фрезерлік-роторлы қар тазалағыштың қалақ үдеткішінің жұмыс процесін сипаттайтын тәуелділіктерді анықтау.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер шешілді:

- патенттік және ғылыми-техникалық мәліметтерге сындарлы талдау жасалды, сондай-ақ фрезерлік - роторлы қар тазалағыштардың (бұдан әрі-ФРЖ) жұмыс жабдығының конструкцияларын қалыптастыру үрдістері айқындалды;

- қалақшалы үдеткішпен жабдықталған ФРЖ бұрандалы қоректендіргіштерінің конструкциялары әзірленді;

- ҚР-да қар тазалайтын машиналарды пайдаланудың қар фонының ықтималды бағасы анықталды;

- фрезерлік бұрандалы қоректендіргіш пен қалақшалы үдеткіштің әзірленіп жатқан қар массивімен өзара әрекеттесу процесінің математикалық моделі әзірленді және зерттелді;

- қалақшалы үдеткіші бар ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің эксперименттік модельдері әзірленді және аналитикалық жолмен алынған нәтижелер расталды;

- ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің дизайны бұрандалы таспаны көтерудің ұтымды бұрышымен және автомобиль жолдарын қар үйінділерінен

тазартудың максималды тиімділігін қамтамасыз ететін қалақшалы үдеткішті орнатудың және тәуелсіз жетектің өзіндік әдісімен ұсынылған.

Зерттеу әдістері. Ғылыми зерттеулердің кешенді әдісі диссертациялық зерттеудің негізі болды. Теориялық зерттеулер математикалық есептердің сандық шешімдері теориясының әдістерін есептеу техникасын қолдана отырып және бұрандалы қоректендіргіштің ФРЖ қалақшалы үдеткішімен қар массивімен өзара әрекеттесуін Имитациялық модельдеуді, сондай-ақ теориялық механика мен физикалық модельдеудің ғылыми ережелерін бұрандалы қоректендіргіш пен ФРЖ қалақ үдеткішіне қатысты қолдануға негізделген.

Эксперименттік зерттеулер ФРЖ жұмыс органының әзірленген эксперименттік қондырғысын және Excel бағдарламасындағы деректерді талдауды қолдана отырып, пассивті толық факторлы эксперимент жүргізуден тұрды.

Диссертациялық зерттеулер барысында келесі қолданбалы бағдарламалар пакеттері қолданылды: AutoCAD, КОМПАС-3D Viewer, MATLAB, Microsoft Visual Studio C#, STATISTICA, EXCEL, 3D surface Plotter.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы келесідей:

- қалақшалы үдеткіштерді қолдану және бұрандалы қоректендіргішті көтерудің ұтымды бұрышын орнату есебінен фрезерлік-роторлы қар тазалағыштармен жолдарды қар үйінділерінен тиімді тазарту мүмкіндігі туралы гипотеза эксперименттік жолмен расталды;

- теориялық жолмен бұрандалы қоректендіргіштің әзірленіп жатқан материалмен өзара әрекеттесуіне қарсылық күштерінің құрамдас бөліктері арасында бұрандалы желінің көтерілу бұрышынан және қоректендіргіштің жартылай кескішінің айналу жиілігінен, қар тазалағыштың жұмыс жылдамдығынан тәуелділіктер анықталды;

- теориялық жолмен айналу моментінің бұрандалы қоректендіргіштің көтерілу бұрышына, ФРЖ жұмыс жылдамдығына және бұрандалы қоректендіргіштің айналу жиілігіне тәуелділігі анықталды;

- қуат шығындарының қозғалыс жылдамдығына және бұрандалы қоректендіргіштің көтерілу бұрышына тәуелділігі эксперименталды түрде анықталды;

- теориялық тұрғыдан ФРЖ бұрандалы қоректендіргіштің үдеткіш қалақтары бойымен қар массасының қозғалу кинематикасы оларды түсіру процесінде анықталды;

- теориялық түрде үдеткіш қалақтарында кедергілер және қалақ үдеткіштің шекті бұрыштық жылдамдығы орнатылады.

Қорғауға шығарылатын ғылыми ережелер:

- ФРЖ жұмыс органдарында қалақ үдеткіштерін қолдану жұмыс органындағы қарсылықты азайтуға және оның алдында қар сызу призмасының пайда болуына жол бермейді;

- бұрандалы желінің көтеру бұрышынан және қоректендіргіштің жартылай кескішінің айналу жиілігінен, қар тазалағыштың жұмыс

жылдамдығынан жасалған материалмен бұрандалы қоректендіргіштің өзара әрекеттесуіне қарсылық күштерінің өзгеру заңдылықтары;

- ФРЖ жұмыс процесінің кедергі күштеріне, моментіне және жалпы қуатына қалақ үдеткішінің диаметрінің, геометриялық пішінінің және айналу жиілігінің әсер ету заңдылықтары;

- ФРЖ фидерінің бұрандалы желісін көтерудің ұтымды бұрышы $\alpha = 18-20^{\circ}$ бұрышы болып табылады;

- қалақша үдеткіші бар бұрандалы қоректендіргіштің жұмыс процесіне жұмсалатын жалпы қуат дәстүрлі дизайндағы қар тазалағыштың жұмыс органындағы қуат шығындарымен салыстырғанда орта есеппен 12% - ға төмендейді.

Автор қорғайды:

1. Бұрандалы қоректендіргіші қалақ түріндегі үдеткішпен жабдықталған жаңа фрезерлік-роторлы қар тазалағыштың конструктивті шешімдері;

2. Қар тазалағыштың параметрлері мен жұмыс режимдеріне байланысты бұрандалы қоректендіргіштегі кедергі күштері, тік R_v және көлденең R_v мен $M_{кр}$ айналу моментінің өзгеруін есептеуге мүмкіндік беретін математикалық модель;

3. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері;

4. ФРЖ бұрандалы қоректендіргішті есептеу әдістемесі.

Зерттеу нысаны - қалақша үдеткішімен жабдықталған ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің жұмыс процесі.

Зерттеу пәні - ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің қалақша үдеткішімен жабдықталған, қар массивімен өзара әрекеттесуінің жұмыс процесінің заңдылықтары.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы:

- экстремалды жағдайларда пайдаланылатын жолдарды жедел қардан тазарту процесінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін ФРЖ параметрлерін қалақшалы үдеткішпен есептеудің әзірленген конструкциялары мен әдістемесінде;

- ФРЖ-ның физикалық моделін зерттеуге арналған эксперименттік стендте қарсыласу күштерінің құрамдас бөліктерінің, айналу моментінің және қар лақтыру диапазонының бұрандалы қоректендіргіштің, қалақшалы үдеткіштің параметрлерінен және олардың жұмыс режимдерінен эксперименттік тәуелділіктерін анықтауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері тиісті әдіспен ресімделіп, "Өскемен-Тазалық" ЖШС жұмыс процесіне енгізілді.

2021-2023 жылдарға арналған АР09260192 "жұмыс тиімділігі жоғары Инновациялық фрезерлік-роторлы қар тазалайтын жұмыс жабдығын әзірлеу" мемлекеттік бюджеттік жобасы бойынша ҚР БҒМ **гранттық қаржыландыру** алынды, онда автор жоба басталғаннан бастап кіші ғылыми қызметкер лауазымында жұмыс істеді.

Қысқаша мазмұны. Диссертацияның бірінші тарауында қар тазалайтын машиналар саласындағы белгілі конструкциялар мен теориялық зерттеулерге шолу және талдау жасалды. ФРЖ патенттік-техникалық

шешімдеріне талдау жасалды. Зерттеудің мақсаттары мен міндеттері қойылды.

Екінші тарауда Қазақстан Республикасының аумағында қар тазалайтын машиналарды пайдаланудың қар жағдайына ықтималды баға берілді. Қардың ықтимал тығыздығы мен қар жамылғысының температурасы бағаланады. Қардың негізгі физикалық-механикалық қасиеттеріне ықтималдық талдау жүргізілді, Қазақстан Республикасының өңірлері бойынша ауа температурасы мен қар жамылғысының көлемдік массасын бөлу полигондары салынды.

Үшінші тарау фрезерлік-роторлы қар тазалағыштың бұрандалы қоректендіргішінің жұмысын теориялық талдауға арналған. ФРЖ бұрандалы қоректендіргіші әзірленіп жатқан қармен жанасқанда күштер мен қарсылық сәттері анықталды. ФРЖ бұрандалы қоректендіргішіндегі тік және көлденең күштердің компоненттері табылды. ФРЖ бұрандалы қоректендіргіш қалақ үдеткішінің жұмыс процесі зерттелді. Қалақ үдеткішінің шекті бұрыштық жылдамдығы есептелген. Бұрандалы қоректендіргіштің жұмыс процесінің қуаты мен энергия сыйымдылығын бағалау жүргізілді. Үдеткіштің қалақтарында оның қуат тұтынуы мен тиімділігіне айтарлықтай әсер ететін қарсылықтар анықталды. ФРЖ жұмыс процесінің математикалық моделі оның параметрлері мен қар тазалағыштың жұмыс режимдеріне байланысты бұрандалы қоректендіргіштегі тік және көлденең қарсылық күштері мен моментінің өзгеруін сипаттайтын жасалды.

Төртінші тарауда ФРЖ моделінің эксперименттік зерттеулерінің әдістемесі мен жабдықтары сипатталған. Эксперименттік зерттеулердің міндеті ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің әртүрлі жұмыс режимдерінің күш пен энергетикалық параметрлерге әсерін сапалы және сандық бағалау болды, бұл ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің дамушы ортамен өзара әрекеттесуінің жұмыс процесін сипаттайды және теориялық зерттеулердің нәтижелерімен салыстырады. Факторлық эксперимент жүргізілді және регрессия коэффициенттерінің сандық мәндері және олардың маңыздылығы анықталды, сонымен қатар көп факторлы эксперименттің эксперименттік деректерін өңдеу кезінде модельдердің сәйкестігі анықталды.

Табиғи түрдегі айнымалылар үшін регрессия теңдеулері түрінде ұсынылған негізгі функционалды модельдер алынды, олар айналу моментінің өзгеруін, тік және көлденең қарсылық күшін, сондай-ақ қар массасын тастау диапазонын сипаттайды, бұл ФРЖ-ның қар үйінділерінен жолдарды тиімді тазарту мүмкіндігі туралы гипотезаны растады. қалақ үдеткіштерін қолдану және бұрандалы лентаның рационалды көтеру бұрышын орнату.

Бесінші тарау ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің тиімділігі туралы эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін талдауға арналған. Бұрандалы желінің көтерілу бұрышын және ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің жұмыс режимдерін эксперименттік анықтау нәтижелеріне талдау жасалды. Қар массивінің фрезерлік кедергісінің көлденең және тік компоненттерінің бұрандалы сызықтың көтерілу бұрышына және ФРЖ-нің жұмыс жылдамдығына тұрақты айналу жиілігі мен қардың биіктігіне тәуелділігі алынды. Бұрандалы желінің көтерілу бұрышының өсуімен бұрандалы

қоректендіргіштің лақтыру қабілеті және материалды оның ішкі бетіне тасымалдау сипаты талданады. Қуат шығындарының ФРЖ-ның салыстырмалы және жұмыс жылдамдығының арақатынасына, бұрандалы желінің көтерілу бұрышына және қоректендіргіштің жұмыс режимдеріне тәуелділігі құрылды. Ротор-лақтырушының жұмыс аймағына ФРЖ бұрандалы қоректендіргішімен қарды тастау процесінің тиімділігі талданды. Бұрандалы қоректендіргіш пен қалақшалы үдеткіш жұмысының нақты бейнесін түсіре отырып, жұмыс процесінің егжей-тегжейлі фотограммалары жасалды. ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің құрылымдық және режимдік параметрлерінің ұтымды параметрлерінің аймақтары орнатылған.

Диссертацияның жеке үлесі. Жұмысты автор жеке өзі орындады, автор белгілі конструкцияларға патенттік талдау жасады, қар тазалағыштар саласындағы теориялық зерттеулерге шолу жасады. Қалақ түріндегі үдеткішпен жабдықталған жаңа ФРЖ параметрлерін есептеудің математикалық моделін әзірледі және зерттеді. Эксперименттік стендтер әзірледі және жасады, қарды имитациялайтын арнайы қоспаны модельдеді, тіркеу аппаратурасын таңдады. ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің қалақша үдеткішімен жұмысын сипаттайтын аналитикалық және эксперименттік тәуелділіктерді алды және салыстырды.

Жұмысты жариялау және сынақтан өткізу. Диссертацияның негізгі 18 ғылыми жұмыстан тұрады. Оның ішінде Scopus деректер базасына енетін басылымдарда 35-тен жоғары процентилмен 3 мақала және Web of Science деректер базасына енген ҚР өнертабысына бір патент. Сонымен қатар, Ғылым және Жоғары білім министрлігінің Ғылым және Жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынған журналдарда 7 мақала жарияланған, 3 Еуразиялық патент және ҚР өнертабыстарына 2 патент, РИНЦ рефераттық базасына кіретін шығарылымдарда 3 мақала жарияланды. Барлық басылымдарда фрезерлік-роторлы қар тазалағыштың бұрандалы қоректендіргішінің жұмыс процесінің теориялық және эксперименттік зерттеулерінің материалдары мен нәтижелері ұсынылған. Олар қар массасының ішінде де, оның бұрандалы қоректендіргішпен немесе қалақша тәріздес үдеткішімен жанасу аймағында да жүретін процестер туралы түсінік береді. Бұл қар тазалағыштың жұмыс процесінің ұтымды параметрлерін және қар тазалағыштардың құрылымдық параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, диссертация материалдары Халықаралық ғылыми-практикалық және ғылыми-әдістемелік конференциялардың 6 тезисінде ұсынылған. Зерттеу нәтижелері халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалды және талқыланды: 79-шы (2021) және 80-ші (2022) МНМиНИК МАДИ (МАДИ, Мәскеу, РФ); студенттердің, магистранттардың және жас ғалымдардың VI және VII Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясында "Қазақстанның инновациялық дамуына жастардың шығармашылығы", ШҚТУ, (2021, 2022, 2023); Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған ХҒПҚ: "Қазіргі Қазақстан: Білім және ғылым реформалары" (2021), Еуразиялық технологиялық университеті; Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған "Ғылым,

Білім және өндіріс интеграциясы – Ұлт жоспарын іске асырудың негізі" (№13 Сағынов оқулары) ХҒПК (2021).

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс машинкамен басылған мәтіннің 174 бетінде баяндалған. Белгілеулер мен қысқартулардан, кіріспеден, 5 бөлімнен және қорытындыдан тұрады, 92 суреттен, 18 кестеден, 123 атаудан және 6 қосымшадан тұратын пайдаланылған дереккөздердің тізімінен тұрады.

Автор МАДИ (Мәскеу автомобиль мен жолдар мемлекеттік техникалық университеті) "жол-құрылыс машиналары" кафедрасының ұжымы мен сол кафедраның меңгерушісі Кустарев Геннадий Владимировичке эксперименттік жұмыстарды жүргізу кезінде көрсеткен көмегі мен консультациялары үшін, сондай-ақ "Өскемен-Тазалық" ЖШС директоры Байгунусов Айдос Жомартқанұлына комиссияны ұйымдастыруға және фрезерлік-роторлы қар тазалағыштың тәжірибелік моделін өндіріске енгізуге көмектескені үшін алғыс білдіреді.

Зерттеу нәтижелері және негізгі қорытындылар. Диссертацияда жаңа ғылыми негізделген нәтижелер бар, оларды пайдалану ФРЖ-ның құрылымдық параметрлерін қалақша үдеткішімен есептеу әдістемесін әзірлеудің маңызды қолданбалы мәселесін шешуді қамтамасыз етеді, бұл автомобиль жолдарын қар үйінділерінен энергияны аз тұтынумен тиімді жылдам тазартуды қамтамасыз етеді:

1. Патенттік және ғылыми-техникалық мәліметтердің сындарлы талдауы фрезерлік-роторлы жұмыс органдарын конструкцияларының басқа салыстырылатын түрлеріне қарағанда зерттеудің артықшылықтары мен перспективаларын көрсетті. Сондай-ақ базалық машинаның қозғалтқышының қуатын арттыруды қоспағанда, қар тазалаудың жұмыс процесін ұтымды ұйымдастыру есебінен орындалатын ФРЖ жұмысының тиімділігін арттыру әдістерінің жіктеу схемасын әзірлеуге мүмкіндік берді.

2. ФРЖ бұрандалы қоректендіргіштер конструкциясының өнертабыстарына арналған 3 Еуразиялық және 2 Қазақстандық патенттер әзірленді және қорғалды, бұл қалақшалы үдеткіш есебінен пайдаланылатын жолдарды ең аз энергия шығынымен жедел қар тазалау процесінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

3. ҚР-да қар тазалайтын машиналарды пайдаланудың қар фонының ықтималдық бағасы анықталды, қар жамылғысының көлемдік массасы және температурасы $R_d = 95\%$ ықтималдығымен қалыпты таралу заңына бағынады. Кесудің меншікті кедергісінің ең ықтимал мәндері 4,7 - 7,9, қардың сыртқы және ішкі үйкеліс коэффициенттері тиісінше 0,07-0,08, 0,42-0,45;

4. ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің жұмыс процесінің математикалық моделі жасалды, оның параметрлеріне (бұрандалы желінің көтерілу бұрышы) және қар тазалағыштың жұмыс режимдеріне (қоректендіргіштің айналу жылдамдығы ω және қардың жұмыс биіктігі H_0) байланысты бұрандалы қоректендіргіштегі күш пен Майн.мом. айналу моментінің тік және көлденең R_k өзгеруін сипаттайды;

5. ФРЖ бұрандалы қоректендіргішінің физикалық моделін зерттеу үшін эксперименттік стендтер әзірленді, бұл бұрандалы қоректендіргіштің материалмен өзара әрекеттесу процесін кері қайтаруға мүмкіндік береді, нәтижесінде ФРЖ бұрандалы қоректендіргіш моделінің қозғалуынан сыртқы кедергілер алынып тасталады.

6. Аналитикалық жолмен алынған нәтижелер эксперименталды түрде расталды. ФРЖ бұрандалы қоректендіргішіне қалақ үдеткішін $\alpha=18^{\circ}$ бұрышымен орнатқан кезде қар массивін тазалау кезіндегі көлденең және тік күштері және жұмыс органындағы қарсылық моменті бұрандалы қоректендіргіштің дәстүрлі дизайнымен салыстырғанда 25-30% - ға азаяды. Ал тазаланып жатқан қар қабатының қалыңдығының артуымен, қалақ үдеткішті пайдаланудың тиімділігі артады, бұл 28-30% құрайды.

7. Бұрандалы қоректендіргіштің қалақшалы үдеткішімен ФРЖ жұмысының тиімділігін талдау жұмыс органының қар массивімен өзара әрекеттесу процесінің энергия сыйымдылығы қолданыстағы дәстүрлі дизайнмен салыстырғанда металл сыйымдылығының шамалы (1,5-2%) өскенімен, ФРЖ жұмысының тиімділігінің интегралды көрсеткішінің мәні бұрандалы қоректендіргішке қалақ үдеткішті орнату кезінде 25-30% - ға төмендейді.

8. Теориялық және эксперименттік деректер 11-18% аралығында сәйкессіздікке ие, бұл теориялық модельдің дұрыстығын көрсетеді және оны инженерлік есептеулерде қолдануға мүмкіндік береді;

9. ФРЖ бұрандалы қоректендіргіштің ұтымды бұрышы $\alpha=18^{\circ}$ болатын конструкциясы ұсынылды. Және ол автомобиль жолдарын қар үйінділерінен тазартудың максималды тиімділігін қамтамасыз ететін қалақшалы үдеткіштің орнатылуымен және тәуелсіз жетектің өзіндік әдісімен құрастырылуымен қамтамасыз етілген. Тәжірибелік конструкция нақты өндірістік жағдайларда сынақтан өтті.