

НУРЖАНОВА ОКСАНА АМАНГЕЛЬДЫЕВНАНЫҢ

8D071 - "Инженерия және инженерлік іс" даярлау бағыты, 8D07101 - "Машина жасау" білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертациясына
АҢДАТПА

АЙНАЛМАЛЫ ДЕНЕ ТИПТІ БӨЛШЕКТЕРДІҢ БЕТТЕРІН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі. Диссертация Қазақстан Республикасының индустриялық-инновациялық дамуының 2015-2019 және 2020-2025 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасы, сондай - ақ "Орталық Азиядағы өнеркәсіптік қауіпсіздікті күшейту жөніндегі жоба", 8D071 - "Инженерия және инженерлік іс" даярлау бағыты бойынша, 8D07101 - "Машина жасау" білім беру бағдарламасы бойынша PhD философия докторы дәрежесін алу үшін орындалды.

Қазіргі заманғы машина жасауда бүгінгі таңда Қазақстандағы импорттың 40%-дан астамы тау-кен металлургия кешенінің жабдықтарын, ауыл шаруашылығы техникасын, автомобильдерді және тағы басқаларын қамтитын машина жасау өнімі болып табылатындығына байланысты жөндеу өндірісіне ерекше рөл беріледі.

Машиналар, механизмдер, бөлшектер мен тораптар сапасының негізгі көрсеткіштері өнімнің өмірлік циклі кезеңдерінде қойылады-бұл жобалау, өндіру кезеңдері, бірақ ақаулар көбінесе жұмыс кезеңінде пайда болады. Бұл бөлшектердің көпшілігі қарапайым құрылымдық материалдарға қарағанда бірнеше есе нашар өңделетін материалдардан жасалған. Сондықтан жөндеуді ұйымдастыру және жөндеу шаруашылығын басқару кез-келген кәсіпорынның өндірістік инфрақұрылымында маңызды орын алады, ал осы саланы дамыту елдің экономикалық негізін қамтамасыз етудің маңызды мәселесі болып табылады.

Қарағанды өңірінің жөндеу кәсіпорындарының жұмысын зерделей отырып, көбінесе шетелдік өндірістің күрделі геометриясының динамикалық жабдықтарының айналу денелерінің бөлшектері жөндеуге жататыны анықталды. Айналмалы дене түріндегі бөлшектердің 60% - ы қазіргі уақытта олардың қалдық ресурстарын пайдалану үшін пайдалану нәтижесінде тозғаннан кейін жөндеуге және қалпына келтіруге жіберіледі.

Мұндай бөлшектерді қалпына келтіре отырып, Қарағанды өңірінің машина жасау және жөндеу кәсіпорындары барлық бөлшектердің толық қалпына келуіне және кескіш құралдың көп мөлшеріне байланысты беткі материалдың көп мөлшерін жұмсайды, өйткені қалпына келтірілетін беттер жоғары қаттылыққа ие, сондықтан қалпына келтірілген бөлшектердің

сапалық сипаттамаларын қамтамасыз ететін ресурстарды үнемдейтін қалпына келтіру технологиясын әзірлеу қажет.

Ең көп таралған қосылыстардың бірі, негізінен жүріс бөлігінің және жалпы машинаның ресурсын анықтайтын - шлицті қосылыстар. Жұмыс барысында осы қосылыстардың бөлшектері көптеген ақауларға ие болады: төлке мен білік тістерінің жұмыс беттерінің мыжылуы және тозуы, тістердің сынуы, кептелу және т. б.

Қазіргі уақытта ілініспен жұмыс істемейтін машиналар мен механизмдер жоқ. Әр түрлі берілістердің ішінен шлицтік қосылыстар машина жасаудың бірқатар салаларында кеңінен қолданылды, бұл олардың жоғары жүктеме қабілеттілігімен, білік-төлке түріндегі қосылыстардың басқа түрлеріне қарағанда құрылымдық және технологиялық артықшылықтарымен түсіндіріледі. Шлицтік қосылыстар білікке тісті доңғалақтарды, муфталарды, дискілерді, фланецтерді, маховиктерді, тізбекті беріліс жұлдыздарын және т.б. отырғызу үшін қолданылады. Машиналар мен механизмдердің сенімділігі мен сапасы көбінесе шлицтік қосылыстарының жұмысына байланысты.

Шлицтік қосылыстар пішіндер мен өлшемдердің алуан түрлілігімен ерекшеленеді, конструктивті және технологиялық жағынан шиеленісті және күрделі бөлшектер болып табылады.

Жөндеу кезінде кесілгеннен кейінгі біліктер мен втулкалар, әдетте, жаңасымен ауыстырылады. Бұл жөндеу құнының айтарлықтай өсуіне әкеледі, ал машинаның амортизациялық кезеңінде бөлшектерді бірнеше рет ауыстырған кезде олардың құны бүкіл жинақтың ғана емес, сонымен қатар машинаның құнынан асып кетуі мүмкін. Осы себепті, шлицтік беттері бар бөлшектерді қалпына келтіру мәселесі белгілі бір қызығушылық тудырады, өйткені қалпына келтіру технологиясын әзірлеу бүкіл машинаны жөндеу құнын төмендетеді.

Бүгінгі таңда шлицтік беттерді жөндеу технологиялары саласында көптеген зерттеулер бар, бірақ бай тәжірибе мен зерттеу нәтижелеріне қарамастан, ресурс үнемдейтін технологияларды пайдалана отырып, бұл беттерді жөндеу, әсіресе Қазақстан контекстінде стратегиялық маңызды міндет болып қала береді. Айнаlmалы дене түріндегі бөлшектердің сплайндық беттерін жөндеу және қалпына келтіру жаңа бөлшектерді сатып алудан гөрі үнемді екені белгілі. Қазақстан ресурстарды үнемдеуге және шығындарды оңтайландыруға ұмтылатындығын ескере отырып, жөндеудің тиімді ресурс үнемдеуші технологияларын зерттеу мәселесі өзекті болып табылады.

Зерттеу гипотезасы қалпына келтіру кезінде қолданылатын және өңделген қабат сапасының негізгі сандық көрсеткіштерімен балқыту және өңдеу процестерінің технологиялық параметрлері арасындағы ықтимал байланыспен заңдылық туралы болжам болып табылады.

Зерттеудің мақсаты шығындарды азайтуды ескере отырып, оңтайлы технологиялық режимдерді таңдау негізінде айналу денелерінің бөлшектерін қалпына келтіру кезінде технология мен құралды ғылыми негіздеу және эксперименттік дамыту болып табылады.

Мақсатқа жету үшін келесі **міндеттер** шешілді:

- айналмалы дене типті бөлшектердің тозған беттерінің құрылымдық ерекшеліктері, оларды қалпына келтіру әдістері мен технологиялары анықталды;
- балқытылған қабаттың қаттылығын ескере отырып, балқытудың технологиялық параметрлерін есептеудің математикалық моделі жасалды;
- балқытудың технологиялық параметрлерін ескере отырып, балқытылған беттердің тозуға төзімділігі зерттелді;
- айналмалы дене типті бөлшектерді балқыту және механикалық өңдеудің жылу және деформациялық процестері зерттелді;
- оңтайлы балқыту және механикалық өңдеу режимдерін анықтауды ескере отырып, айналмалы дене типті бөлшектердің түйісетін беттерін қалпына келтірудің ресурс үнемдейтін технологиясы жасалды;
- айналмалы денелер типіндегі бөлшектердің түйісетін беттерін қалпына келтірудің дамыған ресурс үнемдейтін технологиясы экономикалық тұрғыдан негізделген.

Зерттеу әдістері. Жұмыста қойылған міндеттер практикалық және теориялық әдістермен шешілді. Бұл диссертацияда қолданылған теориялық әдістерге кескіш құралдарды жобалау және жобалау әдістері, тозған беттерді балқыту технологиялары, материалдарды кесу теориясы, металдарды өңдеу технологиялары, машина жасау технологиялары, балқытудың физика-механикалық қасиеттерін анықтау әдістері жатады.

Балқыту бойынша эксперименттік зерттеулер Selma фирмасының ПДГ-252 жартылай автоматты аппаратын пайдалана отырып, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің Қазақстандық дәнекерлеу институтының зертханасы жағдайында жүргізілді.

Балқытылған қабаттың қаттылығын өлшеу Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ "Пайдалы қазбаларды кешенді игеру" инженерлік бейіндегі сынақ зертханасының жабдықтарында жүргізілді.

Балқытылған беттердің тозуға төзімділігі Гедиминас атындағы Вильнюс техникалық университетінің «Машина жасау және материалтану» кафедрасының зертханасында анықталды.

Диссертациялық зерттеулер жүргізу барысында қолданбалы бағдарламалардың келесі пакеттері пайдаланылды: AutoCAD, КОМПАС-3D Viewer, EXCEL, ANSYS Workbench 19.2 Welding Distortion, beta CAE System, ABAQUS.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы келесідей:

1. Айналмалы дене түріндегі бөлшектердің жанасатын шлицтік беттерін қалпына келтіру технологиясы жасалды: оған мыналар кіреді:

- шлицтік беттерді балқытудың технологиялық процесін жетілдіру;
- саңылауларды өлшемдік өңдеуге арналған ауыстырылатын пластиналары бар құрама дискілі фрезаның құрылымын жасау.

2. Балқытылған қабаттың қаттылығын дәнекерлеу тогының беріктігіне, дәнекерлеу кернеуіне, жартылай автоматты балқыту әдісімен сымның берілу жылдамдығына байланысты бағалау үшін теңдеу алынды.

3. ANSYS Workbench 19.2 бағдарламасын және WeldingDistortion және MovingHeatSource қосымша кеңейтімдерін қолдана отырып, балқытылған беттердің термиялық және деформацияланған күйі алғаш рет модельденіп, жартылай автоматты түрде балқытылған кезде:

- оңтайлы технологиялық режимдер қалпына келтірілетін бетке термиялық әсерді азайтады;

- оңтайлы технологиялық режимдер минималды деформацияны қамтамасыз етеді.

4. Алғаш рет Beta CAE system/ ABAQUS бағдарламасында кесу режимдерін және жүктеме циклін ескере отырып, ауыстырылатын тақтайшалары бар құрама диск фрезерінің жаңа құрылымының кернеулі-деформацияланған күйі модельденіп, осы құрылымның өнімділігі негізделген.

Қорғауға шығарылатын ғылыми ережелер:

- айналмалы дене типті бөлшектердің жанасатын шлицтік беттерін қалпына келтіру технологиясы;

- балқытылған қабаттың қаттылығы мен тозуға төзімділігін бағалауды эксперименттік зерттеу нәтижелері;

- балқытылған беттің қаттылығын бағалауға арналған теңдеу;

- Ansys Workbench бағдарламалық кешенін пайдалана отырып, балқыту процесін модельдеу нәтижелері және BETA CAE System, ABAQUS пайдалана отырып, құрал конструкциясының беріктігін есептеуді модельдеу нәтижелері;

- шлицтерді өлшемдік өңдеуге арналған құрама фрезаны әзірлеуге арналған техникалық тапсырма.

Автор қорғайды:

1. Құрылымдық шешімдер

2. Математикалық модель

3. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері

4. Ұсынылған шлиц бетін қалпына келтіру технологиясы.

Зерттеу нысаны - айналу денелері сияқты бөлшектердің тозған беттерін қалпына келтірудің технологиялық процестері.

Зерттеу пәні: қалпына келтіру кезінде қолданылатын және өңделген қабат сапасының негізгі сандық көрсеткіштерімен балқыту және механикалық өңдеу режимдерінің технологиялық параметрлері арасындағы байланыс пен заңдылық.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы:

- жартылай автоматты балқытудың оңтайлы режимдерін белгілеу және айналмалы дене типті бөлшектердің балқытылған беттерін фрезерлеу;
- ANSYS Workbench-те балқыту процесінде температура өрістерін анықтау әдістемесін әзірлеу;
- балқытылған шлицтік беттерді өлшемдік өңдеуге арналған ауыстырылатын пластиналары бар құрама дискілі фрезаның тәжірибелік үлгісін әзірлеу;
- Beta CAE System/ ABAQUS-та ауыстырылатын пластиналары бар құрама дискілі фреза конструкциясының беріктігін есептеу әдістемесі;
- айналмалы дене типті бөлшектердің шлицтік беттерін қалпына келтірудің ресурс үнемдейтін технологиясын қолдану бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Зерттеу нәтижелері "Hansa-Flex гидравликалық Алматы" ЖШС (Қарағанды қ.) өндірісіне енгізілді.

Қысқаша мазмұны.

Бірінші тарауда зерттеу мәселесінің жай-күйі талданады, айналу денелері сияқты бөлшектердің тозған беттерінің құрылым ерекшеліктері анықталады. Айналмалы дене түріндегі бөлшектерді балқыту арқылы қалпына келтірудің қолданыстағы әдістеріне шолу, сондай-ақ балқытылған сплайн беттерін өңдеу әдістеріне шолу жасалады.

Екінші тарауда жартылай автоматты әдісті және айналмалы дене типті бөлшектердің түйісетін беттерін балқыту режимдерін эксперименттік зерттеу әдістері мен нәтижелері. Балқытылған қабаттың қаттылығы мен тозуға төзімділігі зерттелді, балқытылған қабаттың қаттылығының технологиялық балку режимдеріне тәуелділігінің математикалық моделі жасалды.

Үшінші тарауда модельді әзірлеумен, тапсырманы белгілеумен және жылу беру тапсырмаларын және құрылымдық-статикалық есептерді талдаумен, содан кейін нәтижелерді талдаумен модельдеу процесі жүргізілді. Модельдеу барысында эксперименттік зерттеулер барысында алынған қорытындыларды растайтын, сондай-ақ ток күшінің ($I = 135$ -тен 260 А-ға дейін), кернеудің ($U = 17,5$ -тен 24 В-ке дейін) параметрлері ұлғайған кезде беткі қабаттарда қалдық деформациялардың ұлғаю үрдісі байқалады ($0,23$ мм-ден $0,39$ мм-ге дейін).

Төртінші тарауда айналу денелері сияқты бөлшектердің балқытылған беттерін механикалық өңдеуге арналған арнайы құрал құрылымы жасалған. Сплайндарды өлшемді өңдеуге арналған құрама кескішті есептеу және жобалау, сондай-ақ механикалық өңдеу процесінде ауыстырылатын

пластиналары бар құрама кескіштің кернеулі күйін имитациялық модельдеу жүргізілді.

Жүргізілген динамикалық талдау құралды 79% пайыздық мәнде қолдану дәрежесін көрсетті (қауіпсіздік маржасына $\approx 20\%$ сәйкес келеді), бұл жеткілікті шарт. Ауыстырылатын пластиналары бар құрама кескіштің дизайны қауіпсіздік қорының нормативтік коэффициентін қанағаттандырады, бұл оны балқытылған беттерді өңдеуде қолдануға мүмкіндік береді.

Бесінші тарауда бөлшектердің шлицтік беттерін қалпына келтірудің ұсынылған ресурс үнемдейтін технологияларының экономикалық тиімділігі есептелген. Өнімнің толық құны есептелді, кәсіпорынның пайдасы және өнімнің өтелу кезеңі анықталды.

Тозған шлицтік біліктерді балқыту бойынша өндіріс бойынша ұсыныстар, сондай-ақ сплайндарды өлшемдік өңдеуге арналған арнайы құрама кескіш жасау үшін сызбалар әзірленді.

Диссертанттың жеке үлесі. Жұмысты автор жеке өзі орындады, автор металл кесетін құралдардың белгілі конструкцияларына патенттік талдау жасады, дәнекерлеу процестері мен машиналарды жөндеу теориясы, берілген механикалық қасиеттерді бере отырып, балқыту технологиясы, сондай-ақ кейінгі өңдеу ерекшеліктері саласындағы теориялық зерттеулерге шолу жасады. Тапсырма қойылып, зерттеу әдістемесі әзірленді, құрама дискілі фрезаның құрылымы құрастырылды және модельденді, оңтайлы балқыту технологиялық режимдері анықталды және балқытылған қабаттың қаттылығы мен тозуға төзімділігін анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді.

Жұмысты жариялау және апробациялау. Диссертацияның негізгі ережелері 11 ғылыми жұмыста орыс және ағылшын тілдерінде жарияланды, оның ішінде: Scopus базасының журналдарында кемінде 25 процентильмен (Journal of Applied Engineering Science (47%), Tehnički vjesnik (41%)) 2 мақала, ҚР Білім және ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынған басылымдарда 3 мақала, RSCI ПИНЦ базасындағы 1 мақала. Зерттеу нәтижелері халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалды және талқыланды: X Халықаралық ғылыми-техникалық конференция (Омбы қ., 26-28 сәуір. 2021 ж.), "ғылым, білім және өндірісті интеграциялау-Ұлт жоспарын іске асырудың негізі" халықаралық ғылыми – практикалық конференциясы (Сағынов оқулары №13), (Қарағанды қ., 2021 ж.), халықаралық қатысумен III бүкілресейлік ғылыми-техникалық конференция, (Тула қ., 2022), Халықаралық ғылыми-практикалық конференция "Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы-Ұлт жоспарын іске асырудың негізі" (№14 Сағынов оқулары), (г. Қарағанды, 2022 ж.), "Ғылым, білім және өндірісті интеграциялау-Ұлт жоспарын іске асырудың негізі" халықаралық ғылыми – практикалық конференциясы (№15 Сағынов оқулары), (Қарағанды қ., 2023 ж.). Пайдалы модельге ҚР 1 патенті және авторлық құқық объектісіне

құқықтарды мемлекеттік тіркеу туралы 1 куәлік алынды. Барлық басылымдарда айналмалы дене типті бөлшектердің тозған беттерін қалпына келтіру және балқытылған қабатты кейіннен механикалық өңдеу процестерін теориялық және эксперименттік зерттеулердің материалдары мен нәтижелері келтірілген.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс машинамен басылған мәтіннің 144 бетінде баяндалған, кіріспеден, 5 бөлімнен және қорытындыдан тұрады, 75 суреттен, 36 кестеден, 98 атаудан және 9 қосымшадан тұратын пайдаланылған дереккөздердің тізімінен тұрады.

Зерттеу нәтижелері және негізгі қорытындылар.

Диссертациялық жұмыста жаңа ғылыми негізделген теориялық және эксперименттік нәтижелер бар, олардың жиынтығы айналу денелері сияқты бөлшектердің түйісетін беттерін қалпына келтіру үшін маңызды.

Ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижесінде қолданбалы сипаттағы маңызды ғылыми-практикалық міндет шешілді, ол келесі тұжырымдар жасауға мүмкіндік берді:

1. Зерттеу нәтижесінде қалпына келтіру кезінде қолданылатын және өңделген қабат сапасының негізгі сандық көрсеткіштерімен балқыту және механикалық өңдеу процестерінің технологиялық параметрлері арасындағы ықтимал байланыс пен заңдылық туралы гипотеза расталды.

2. Айналмалы дене типті бөлшектердің тозған беттерінің құрылымдық ерекшеліктері, оларды қалпына келтіру әдістері мен технологиялары анықталды.

3. Оңтайлы жартылай автоматты балқыту режимі орнатылды: дәнекерлеу тогының күші $I = 135\text{A}$, дәнекерлеу кернеуі $U = 17,5\text{ В}$, сымды беріс жылдамдығы 2 м/мин , онда 40 HRC балқытылған қабатының қажетті қаттылығы қамтамасыз етіледі, бұл 42...56 HRC болатын техникалық талаптары бойынша шлиц білігінің қаттылығына мүмкіндігінше жақын.

4. Алынған эмпирикалық регрессия теңдеуі дәнекерлеу тогының күшіне, кернеуге және сымның берілу жылдамдығына байланысты қаттылықты анықтау кезінде келесідей болады: $Y = 752.8998 + 0.4256X_1 - 22.9583X_2 - 5.2646X_3$.

5. Бастапқы бөлшектің температурасының балқыту көзінен біртіндеп өсу тенденциясы бар екендігі анықталды (22-ден 1460 °C-қа дейін) және температура өрістерінің эллипсоидты ұзаруы байқалады. Параметрлерді ұлғайту кезінде ($I = 135$ -тен 260 А -ға дейін, $U = 17,5$ -тен 24 В -қа дейін) балқыту режимдерінде қалдық деформациялардың ($0,23\text{ мм}$ -ден $0,39\text{ мм}$ -ге дейін) ұлғаю үрдісі бар екендігі анықталды.

6. Бөлшекті жөндеудің технологиялық процесін жетілдіру мақсатында айналмалы дене түріндегі сплайндық бөлшектерді жергілікті балқыту әдісімен қалпына келтірілген бастапқы геометрия мен өлшемдерді қалпына келтіру үшін шлицтерді өлшемдік өңдеуге арналған ауыстырылатын көп қырлы пластиналары бар құрама фреза құрастырылды.

7. Кесудің физикалық процесін модельдеу барысында BETA CAE

SYSTEM, ABAQUS бағдарламаларында фрезаның жобаланған конструкциясының өнімді екендігі расталды. Жүргізілген динамикалық талдау алмалы-салмалы пластиналары бар құрама фрезаның әзірленген конструкциясы қауіпсіздік қорының нормативтік коэффициентін қанағаттандыратынын көрсетті, бұл оны балқытылған беттерді өңдеу кезінде қолдануға мүмкіндік береді.

8. Механикалық өңдеу кезінде балқытудың және ресурс үнемдеудің технологиялық режимдерін реттеуді ескере отырып, дене типті бөлшектердің шлицтік беттерін қалпына келтіру технологиясы жасалды.

9. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері "Hansa-Flex Hydraulik Almaty" ЖШС өндірістік процесіне енгізілді. Экономикалық тиімділікті есептеу қалпына келтіру кезінде саңылауларды өлшемді өңдеу үшін құрама фрезаны пайдалану жылына 1 852 265,5 теңгені үнемдейтінін көрсетті. Көлденең-фрезерлік операцияның өзіндік құны бір ауысуды қысқарта отырып, 107806,8 теңгені үнемдеуге, сондай-ақ операцияға жұмсалатын уақытты 10,657 минутқа қысқартуға мүмкіндік береді. Тозған шлицтік біліктерді балқыту бойынша ұсыныстар, сондай-ақ шлицтерді өлшемдік өңдеуге арналған құрама фрезаны жасауға арналған техникалық тапсырма мен сызбалар әзірленді.

Өндіріске салынған инвестициялар таза пайда ағынымен қайтарылатын өтеу мерзімі 0,12 жылды құрайды.

АЛҒЫС

Автор диссертацияны орындаудың барлық кезеңдерінде көмек көрсеткені үшін, құнды кеңестер мен ескертпелер үшін, сондай-ақ докторантурада оқудың барлық уақытында қолдау көрсеткені үшін ғылыми кеңесші т.ғ.к., "Технологиялық жабдық, машина жасау және стандарттау" кафедрасының профессоры О.М. Жаркевичке терең ризашылығын білдіреді.

Автор ғылыми бағытты таңдау, құнды ұсыныстар мен ғылыми сүйемелдеу үшін т.ғ.к., "Көлік техникасы және логистикалық жүйелер" кафедрасының профессоры А.С. Қадыровқа, т.ғ.д., ҚазАТУ "Технологиялық машиналар және жабдықтар" кафедрасының профессоры, халықаралық машина жасаушылар одағының мүшесі К.Т. Шеровқа, PhD, "Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандарттау" кафедрасының меңгерушісі В.В. Юрченкоға алғысын білдіреді.

Автор шетелдік ғылыми кеңесшіге, PhD, Гедиминас атындағы Вильнюс техникалық университетінің профессоры Витаутас Бучинскасқа, шетелдік ғылыми тағылымдамадан өту кезінде жұмысты ұйымдастырғаны және көмектескені үшін, сондай-ақ эксперименттік зерттеулер жүргізуге көмектескені үшін PhD ассоциирленген, профессорге Олегас Чернашюске алғысын білдіреді.

Аналитикалық зерттеулерді ұйымдастыруға және жүргізуге және жұмысты орындау кезінде әдістемелік көмек көрсеткені үшін

"Технологиялық жабдық, машина жасау және стандарттау" кафедрасының аға оқытушылары А.В. Жуковаға, Д.С. Жунуспековқа, құралды жасауға көмектескені үшін, құнды кеңестер мен ұсынымдар үшін "АрселорМиттал" Теміртау ҰМЖАЦ цехының бастығы А.А. Бергке, "SimuCOMP" ЖШС САЕ-инженері А.А. Бергке, "Құрылысмет" РГТО ЖШС бас конструкторы С.В. Шляховқа алғысын білдіреді.

Автор №3 өндіріс (Энергозавод) бұрынғы бастығы Б.Т. Жолшоринге, №3 өндіріс (Энергозавод) конструкторлық-технологиялық бөлімінің бастығы И.В. Щетинниковқа диссертациямен жұмыс кезінде көрсеткен көмегі үшін, ұсынылған ақпараттық материалдар үшін және зерттеу тақырыбы бойынша кеңес беруге бөлінген уақыт үшін алғыс білдіреді.

Магистрлер А. Бессоновқа, В. Лапкинге ғылыми зерттеулер мен эксперименттер жүргізудегі бірлескен жұмысы үшін алғысын білдіреді.