**АННОТАЦИЯ**

**к диссертации Пирманова Ильдар Ануарбековича «Разработка и исследование методологии проектирования цифровых обучающих моделей процессов ремонта вертолетной техники», представленную на соискание ученой степени доктора по специальности D105 - «Авиационная техника и технологии»**

**Актуальность работы.** Ремонт вертолетной техники сопровождается рядом проблем: моральное старение технологий, низкий уровень автоматизации, высокие требования соблюдения безопасности труда на рабочем месте. Но наиболее сложной является процедура организации обучения, поскольку в результате обучающимся необходимо присвоить практические и качественные компетенции с минимальными затратами и максимальным самостоятельным обучением без отрыва от производства инструктора-наставника, а также обеспечивать контроль усвоения учебного материала с учетом риска действий на месте ремонта.

Повышение качества образования также диктуется высокими требованиями к безопасности полетов в соответствии с законом «Об использовании воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности авиации» [1], международными требованиями к стандартам и рекомендованной практике ICAO [2] и EASA [3], членами которых является Республика Казахстан.

Таким образом, на основании текущего состояния проблемы, диссертационные исследования, направленные на разработку методологии проектирования цифровых обучающих моделей процессов ремонта вертолетной техники, в настоящее время являются очень важными и актуальными.

 **Уровень изучения проблемы.** На предприятиях ремонт авиационной техники требует срочного внедрения цифровизации для оптимизации технологического процесса, повышения безопасности труда на рабочем месте, формирования базы данных ремонтируемых объектов и деталей для расчета затрат и прогнозирования трудовых и финансовых ресурсов. Необходимо создать универсальную компьютерную обучающую технологию, в виде программно-педагогического средства, способной эффективно не только разрешить указанные проблемы, но и повысить качество теоретических знаний и практических компетенций, возможно благодаря применению технологий виртуальной реальности. Следовательно, требуется создать научно-теоретические основы и методологические инструменты цифровой трансформации и модернизации не только обучающих процессов ремонта вертолетной техники, но и других в производственном цикле авиационной промышленности.

Таким образом, на основании текущего состояния проблемы, диссертационные исследования, направленные на разработку методологии проектирования цифровых обучающих моделей процессов ремонта вертолетной техники, в настоящее время являются очень важными и актуальными.

 **Цель диссертационной работы.**Целью работы является разработка теоретико-методологических подходов, научных и практических рекомендаций по цифровизации и повышения качества теоретических знаний и практических компетенций при обучении на основе передовых технологий 3D-моделирования и VR-виртуальной реальности по технологическим процессам ремонта вертолетной техники.

Для достижения поставленной цели в рамках диссертационной работы решаются следующие **задачи**:

1. Исследование производственных циклов авиационных предприятий Республики Казахстан, определить перечень проблем технологического процесса ремонта авиационной техники, требующих срочного разрешения с проведением научных исследований.
2. Исследование и анализ цифровых инструментов решения производственных задачи определения основных требований к развитию цифровизации авиаремонтных предприятий.
3. Исследование и анализ компьютерных образовательных технологий и формирование перечня требований для эффективного повышения квалификации специалистов на производстве при ремонте вертолетной техники.
4. Разработка понятийного аппарата цифрового моделирования, классификация и структура модели, формирующей реалистичные объекты или процессы на основе технологий 3D-моделирования, VR-виртуальной реальности и искусственного интеллекта, с передачей динамических воздействий и реакций его органы восприятия человека.
5. Разработка научно-теоретического обеспечения цифровых обучающих моделей, требуемых для проектирования: математическое, алгоритмическое, информационно-производственное, аппаратно-программное.

**Задачи исследования:**

1. Исследование производственных циклов авиационных предприятий Республики Казахстан, определить перечень проблем технологического процесса ремонта авиационной техники, требующих срочного разрешения с проведением научных исследований.
2. Исследование и анализ цифровых инструментов решения производственных задачи определения основных требований к развитию цифровизации авиаремонтных предприятий.
3. Исследование и анализ компьютерных образовательных технологий и формирование перечня требований для эффективного повышения квалификации специалистов на производстве при ремонте вертолетной техники.
4. Разработка понятийного аппарата цифрового моделирования, классификация и структура модели, формирующей реалистичные объекты или процессы на основе технологий 3D-моделирования, VR-виртуальной реальности и искусственного интеллекта, с передачей динамических воздействий и реакций его органы восприятия человека.
5. Разработка научно-теоретического обеспечения цифровых обучающих моделей, требуемых для проектирования: математическое, алгоритмическое, информационно-производственное, аппаратно-программное.

**Объектом исследования.**являются цифровые модели на основе технологий 3D - моделирования и VR - виртуальной реальности для цифровизации и обучения ремонту вертолетной техники.

**Методы и предметы исследования.** Для решения поставленных в диссертационном исследовании задач широко использовались методы аналитических исследований, системного анализа, математического и компьютерного моделирования, математической статистики, классификации, программирования и теории множеств и экспериментов.

В процессе выполнения экспериментальной части работы активно применялись средства проектирования 3D-моделей и приложений VR-виртуальной реальности, автоматизации математических расчетов и инструменты для визуализации результатов исследований с применением компьютерных программ *Solid Works, Blender3D и Unreal Engine 4.*

**Научная новизна.** Наиболее существенными новыми научными результатами, содержащимися в диссертационной работе, являются следующие.

1. Структура цифровой обучающих модели процесса ремонта, включающий ввод входных данных в цифровом формате, построение и обработку 3D-моделей неразъемных деталей и инструментов, создание VR - виртуальной реальности с функциями контроля и оценки и техническими регламентами.
2. Создание метода проектирования базы данных 3D-моделей фотореалистичного качества деталей, инструментов и агрегатов авиационной техники, а также их текстур для дальнейшего использования. Необходимость фотореалистичного качества заключается в уменьшении влияния человеческого фактора на риски, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом.
3. Создание метода проектирования базы данных VR - виртуальной реальности процесса ремонта агрегатов авиационной техники с функциями контроля и оценки и техническими регламентами.
4. Технология проектирования и макетирования аппаратно-программного комплекса интерактивных обучающих программ на основе технологий 3D-моделирования и VR - виртуальной реальности по технологическим процессам ремонта авиационной техники.

Предложен концептуальный общий подход к разработке научно-теоретического и прикладного обеспечений цифровых обучающих моделей ремонта вертолетной техники.

 **Теоретическая и практическая значимость.** Практическая значимость работы состоит в возможности применения полученных в исследовании результатов для построения цифровых и автоматических систем для авиационной отрасли, позволяющих оптимизировать технологические процессы, повысить безопасность труда на рабочем месте, формировать базы данных ремонтируемых деталей и агрегатов, прогнозировать трудовые и финансовые ресурсы.

Цифровая трансформация на основе применения ЦОМ позволяет создавать универсальную компьютерную обучающую технологию, способной эффективно повысить качество теоретических знаний и практических компетенций.

Результаты представленного исследования позволяют предлагать новые эффективные технологии ремонта транспортной техники широкого профиля, а также разрабатывать системы поддержки принятия решений для человеческого персонала, направленных на снижение рисков ошибок и повышение внимания.

**Апробация работы.** Результаты диссертационного исследования были внедрены в учебный процесс АО «Академия гражданской авиации» и на производстве ТОО «ST Integrator Company» для повышения качества выпускаемой продукции, а также учтены при разработке стратегического плана развития применения разработанной цифровой модели обучения ремонта вертолетной техники на технологической базе ТОО «ST Integrator Company» до 2025 года, который направлен на совершенствование технологии анализа надежности, диагностики и внедрения программных средств VR в систему авиационной безопасности.

Основные результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на: V-й Международной научно-практической конференции “Творческий потенциал молодежи в решении авиакосмических проблем” (Баку, Азербайджан, 2020).

**Связь темы с планами-исследовательскими программами.** В диссертационном исследовании дано теоретическое обоснование и предложено решение актуальной научной проблемы, требующей создание методов и технологий цифровизации и автоматизации для качественного повышения обучения с присвоением высоких теоретических знаний и практических компетенций, оптимизации всех этапов производственного цикла, повышения безопасности труда на рабочем месте, формирования базы данных ремонтируемых агрегатов, инструментов и деталей для расчета затрат и прогнозирования трудовых и финансовых ресурсов.

Благодаря применению компьютерных технологий обучения на основе 3D-моделирования и VR-виртуальной реальности предложено создавать цифровую обучающую среду с интуитивным взаимодействием в режиме реального времени.

Разработан понятийный аппарат и определены области применения образовательных технологий в авиационной отрасли, а также направления обучения для подготовки специалистов монтажа и ремонта. Предложены модель и описание операций технологического процесса ремонта вертолетной техники, этапы разработки приложений.

**Личный вклад автора.** Концептуальный подход к цифровому моделированию, структура цифровых обучающих моделей, а также основные экспериментальные и теоретические результаты, полученные в ходе проведения диссертационного исследования, получены автором самостоятельно. В опубликованных научных работах в составе коллектива соавторов, соискателю принадлежит основной вклад при получении, обобщении и анализе достигнутых результатов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация имеет классическую структуру: вводная часть, основная часть (пять глав), заключение, список использованных источников и приложение. Работа изложена на 120 страницах компьютерного текста, включает 47 рисунков, 11 таблиц и 100 наименование библиографических источников.

**АННОТАЦИЯ**

**«Тікұшақтарды жөндеу процестерінің цифрлық оқу үлгілерін жобалау әдістемесін әзірлеу және зерттеу» тақырыбындағы D105 – «Авиациялық техника және технологиялар" мамандығы бойынша доктор ғылыми дәрежесін алуға ұсынылған Пирманов Ильдар Ануарбекович диссертациясы**

**Жұмыстың өзектілігі.** Тікұшақ жабдықтарын жөндеу бірқатар мәселелермен қатар жүреді: технологиялардың ескіруі, автоматтандырудың төмен деңгейі, жұмыс орнындағы еңбек қауіпсіздігіне қойылатын жоғары талаптар. Бірақ ең қиыны – оқытуды ұйымдастыру процедурасы, өйткені нәтижесінде студенттерге нұсқаушы-тәлімгердің жұмысында ең аз шығынмен және максималды өздігінен білім алумен практикалық және сапалы құзыреттіліктерді тағайындау, сондай-ақ олардың ассимиляциясын бақылау қажет. жөндеу орнындағы әрекеттердің тәуекелін ескере отырып, оқу материалы.

Білім сапасын арттыру сонымен қатар «Қазақстан Республикасының әуе кеңістігін пайдалану және авиация қызметі туралы» заңға [1], ИКАО стандарттары мен ұсынылатын тәжірибелеріне қойылатын халықаралық талаптарға [2] сәйкес ұшу қауіпсіздігіне қойылатын жоғары талаптармен байланысты. және Қазақстан Республикасы мүше болып табылатын EASA [3].

Осылайша, мәселенің ағымдағы жағдайына сүйене отырып, тікұшақтарды жөндеу процестерінің цифрлық оқу үлгілерін жобалау әдістемесін жасауға бағытталған диссертациялық зерттеу қазіргі уақытта өте маңызды және өзекті болып табылады.

 **Мәселенің зерттелу деңгейі.** Кәсіпорындарда авиациялық техниканы жөндеу технологиялық процесті оңтайландыру, жұмыс орнындағы еңбек қауіпсіздігін жақсарту, шығындарды есептеу және еңбек және қаржылық ресурстарды болжау үшін жөнделген объектілер мен бөлшектердің деректер базасын құру үшін жедел түрде цифрландыруды енгізуді талап етеді. Бұл міндеттерді тиімді шешіп қана қоймай, теориялық білім мен тәжірибелік құзыреттіліктердің сапасын арттыруға мүмкіндік беретін, мүмкін виртуалды шындық технологияларын қолдану арқылы бағдарламалық-педагогикалық құрал түріндегі әмбебап компьютерлік оқыту технологиясын жасау қажет. Сондықтан тікұшақ жабдықтарын жөндеу бойынша оқу процестерін ғана емес, сонымен қатар авиация саласының өндірістік цикліндегі басқаларын да цифрлық түрлендіру мен жаңғыртудың ғылыми-теориялық негіздері мен әдістемелік құралдарын құру талап етіледі.

Осылайша, мәселенің ағымдағы жағдайына сүйене отырып, тікұшақтарды жөндеу процестерінің цифрлық оқу үлгілерін жобалау әдістемесін жасауға бағытталған диссертациялық зерттеу қазіргі уақытта өте маңызды және өзекті болып табылады.

 **Диссертацияның мақсаты.** Жұмыстың мақсаты – тікұшақтарды жөндеудің технологиялық процестері бойынша 3D модельдеу және VR-виртуалды шындықтың озық технологиялары негізінде оқытудағы теориялық білім мен тәжірибелік құзыреттіліктерді цифрландыру және сапасын арттыру бойынша теориялық және әдістемелік тәсілдерді, ғылыми-практикалық ұсыныстарды әзірлеу. .

Осы мақсатқа жету үшін диссертациялық жұмыс аясында келесі міндеттер шешіледі:

1. Қазақстан Республикасының авиациялық кәсіпорындарының өндірістік циклдерін зерделеу, ғылыми зерттеулермен шұғыл шешуді талап ететін авиациялық техниканы жөндеудің технологиялық процесінің мәселелерінің тізбесін анықтау.

2. Авиажөндеу кәсіпорындарын цифрландыруды дамытудың негізгі талаптарын анықтаудың өндірістік міндеттерін шешуге арналған цифрлық құралдарды зерттеу және талдау.

3. Компьютерлік білім беру технологияларын зерттеу және талдау және тікұшақ техникасын жөндеу кезінде өндірістегі мамандардың біліктілігін тиімді арттыруға қойылатын талаптар тізбесін қалыптастыру.

4. 3D модельдеу технологиялары, VR виртуалды шындық және жасанды интеллект негізінде оның адамның қабылдау органдарына динамикалық әсерлер мен реакцияларды бере отырып, нақты объектілерді немесе процестерді қалыптастыратын модельдің сандық модельдеудің тұжырымдамалық аппаратын, классификациясын және құрылымын әзірлеу.

5. Жобалауға қажетті сандық оқыту модельдерін ғылыми-теориялық қамтамасыз етуді әзірлеу: математикалық, алгоритмдік, ақпараттық-өндірістік, аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз ету.

**Зерттеу мақсаттары:**

1. Қазақстан Республикасының авиациялық кәсіпорындарының өндірістік циклдерін зерделеу, ғылыми зерттеулермен шұғыл шешуді талап ететін авиациялық техниканы жөндеудің технологиялық процесінің мәселелерінің тізбесін анықтау.

2. Авиажөндеу кәсіпорындарын цифрландыруды дамытудың негізгі талаптарын анықтаудың өндірістік міндеттерін шешуге арналған цифрлық құралдарды зерттеу және талдау.

3. Компьютерлік білім беру технологияларын зерттеу және талдау және тікұшақ техникасын жөндеу кезінде өндірістегі мамандардың біліктілігін тиімді арттыруға қойылатын талаптар тізбесін қалыптастыру.

4. 3D модельдеу технологиялары, VR виртуалды шындық және жасанды интеллект негізінде оның адамның қабылдау органдарына динамикалық әсерлер мен реакцияларды бере отырып, нақты объектілерді немесе процестерді қалыптастыратын модельдің сандық модельдеудің тұжырымдамалық аппаратын, классификациясын және құрылымын әзірлеу.

5. Жобалауға қажетті сандық оқыту модельдерін ғылыми-теориялық қамтамасыз етуді әзірлеу: математикалық, алгоритмдік, ақпараттық-өндірістік, аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз ету.

**Зерттеу объектісі.** тікұшақ жабдықтарын жөндеуге және цифрландыруға арналған 3D – модельдеу және VR – виртуалды шындық технологияларына негізделген цифрлық модельдер.

**Зерттеудің әдістері мен пәндері**. Диссертациялық зерттеуде қойылған міндеттерді шешу үшін аналитикалық зерттеу әдістері, жүйелік талдау, математикалық және компьютерлік модельдеу, математикалық статистика, жіктеу, бағдарламалау, жиындар теориясы мен эксперименттер кеңінен қолданылды.

Жұмыстың эксперименттік бөлігін орындау процесінде 3D модельдері мен виртуалды шындық қосымшаларын жобалау құралдары, математикалық есептеулерді автоматтандыру және Solid Works, Blender3D және Unreal Engine 4 компьютерлік бағдарламаларын қолдану арқылы зерттеу нәтижелерін визуализациялау құралдары белсенді түрде пайдаланылды.

Ғылыми жаңалық. Диссертациялық жұмыста қамтылған ең маңызды жаңа ғылыми нәтижелер мыналар болып табылады.

1. Жөндеу процесінің цифрлық оқыту моделінің құрылымы, оның ішінде кіріс деректерін цифрлық форматта енгізу, бір бөліктен тұратын бөлшектер мен құралдардың 3D модельдерін құру және өңдеу, VR – бақылау және бағалау арқылы виртуалды шындықты құру. функциялары мен техникалық регламенттері.

2. Авиациялық техника бөлшектерінің, құралдары мен тораптарының, сондай-ақ олардың текстураларының фотореалистік сапасының 3D модельдерінің мәліметтер базасын одан әрі пайдалану үшін жобалау әдістемесін құру. Фотореалистік сапаның қажеттілігі техникалық қызмет көрсету және жөндеуге байланысты тәуекелдерге адам факторының әсерін азайту болып табылады.

3. VR деректер базасын жобалау әдісін құру – бақылау-бағалау функциялары мен техникалық регламенттері бар әуе кемелерінің агрегаттарын жөндеу процесінің виртуалды шындығы.

4. 3D модельдеу және VR технологиялары негізінде интерактивті оқыту бағдарламаларының аппараттық-бағдарламалық кешенін жобалау және прототиптеу технологиясы – әуе кемелерін жөндеудің технологиялық процестері бойынша виртуалды шындық.

Тікұшақтарды жөндеудің цифрлық оқыту үлгілері үшін ғылыми, теориялық және қолданбалы бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеуге тұжырымдамалық жалпы көзқарас ұсынылады.

**Теориялық және практикалық маңызы.** Жұмыстың практикалық маңыздылығы технологиялық процестерді оңтайландыруға, жұмыс орнында еңбек қауіпсіздігін арттыруға, жөндеуден өткен бөлшектер мен тораптардың деректер базасын құруға, авиациялық өнеркәсіпке арналған цифрлық және автоматты жүйелерді құру үшін зерттеу нәтижесінде алынған нәтижелерді пайдалану мүмкіндігінде. еңбек және қаржылық ресурстарды болжау.

БКМ пайдалану негізіндегі цифрлық трансформация теориялық білім мен практикалық құзыреттіліктердің сапасын тиімді түрде арттыра алатын әмбебап компьютерлік оқыту технологиясын құруға мүмкіндік береді.

Ұсынылған зерттеудің нәтижелері көлік техникасының кең спектрін жөндеудің жаңа тиімді технологияларын ұсынуға, сондай-ақ қателер қаупін азайтуға және назар аударуды арттыруға бағытталған адам персоналының шешімдерін қолдау жүйесін әзірлеуге мүмкіндік береді.

**Жұмысты апробациялау.** Диссертациялық зерттеудің нәтижелері «Азаматтық авиация академиясы» АҚ оқу үдерісіне және «ST Integrator Company» ЖШС өндірісіне өнім сапасын арттыру мақсатында енгізілді, сондай-ақ стратегиялық жоспарды әзірлеу кезінде ескерілді. 2025 жылға дейін «ST Integrator Company» ЖШС технологиялық негізінде тікұшақ техникасын жөндеу бойынша оқытудың әзірленген цифрлық моделін қолдануды әзірлеу, ол сенімділікті талдау, диагностикалау және VR бағдарламалық қамтамасыз етуді енгізу технологиясын жетілдіруге бағытталған. авиациялық қауіпсіздік жүйесі.

**Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері:** «Аэроғарыш мәселелерін шешудегі жастардың шығармашылық әлеуеті» V Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясында баяндалып, талқыланды (Баку, Әзірбайжан, 2020 ж.).

Тақырыптың жоспарлармен және зерттеу бағдарламаларымен байланысы. Диссертациялық зерттеу теориялық негіздеме береді және жоғары теориялық білім мен практикалық құзыреттіліктерді тағайындай отырып, оқытуды сапалы жақсарту үшін цифрландыру және автоматтандыру әдістері мен технологияларын құруды, барлық кезеңдерді оңтайландыруды талап ететін өзекті ғылыми мәселенің шешімін ұсынады. өндірістік циклді, жұмыс орнындағы еңбек қауіпсіздігін жақсартуды, еңбек және қаржы ресурстарының құнын калькуляциялау және болжау үшін жөнделетін агрегаттар, аспаптар мен бөлшектердің мәліметтер базасын қалыптастыру.

3D модельдеуге және VR виртуалды шындыққа негізделген компьютерлік оқыту технологияларын қолданудың арқасында нақты уақыттағы интуитивті өзара әрекеттесу арқылы цифрлық оқыту ортасын құру ұсынылады.

Концептуалды аппарат әзірленді және авиациялық өнеркәсіпте білім беру технологияларын қолдану бағыттары, сондай-ақ монтаждау және жөндеу мамандарын даярлаудың оқу бағыттары анықталды. Тікұшақ жабдықтарын жөндеудің технологиялық процесінің операцияларының моделі мен сипаттамасы, қолдануды әзірлеу кезеңдері ұсынылған.

**Автордың жеке үлесі.** Цифрлық модельдеудің тұжырымдамалық тәсілін, цифрлық оқыту модельдерінің құрылымын, сонымен қатар диссертациялық зерттеу барысында алынған негізгі эксперименттік және теориялық нәтижелерді автор өз бетінше алды. Жарияланған ғылыми еңбектерде бірлескен авторлар тобының құрамында ізденуші қол жеткізілген нәтижелерді алуға, қорытындылауға және талдауға негізгі үлес қосады.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертацияның классикалық құрылымы бар: кіріспе, негізгі бөлім (бес тарау), қорытынды, пайдаланылған әдебиеттер тізімі және қосымша. Жұмыс компьютерлік мәтіннің 120 бетінде ұсынылған, 47 сурет, 11 кесте және 100 библиографиялық дереккөз атауынан тұрады.

**ABSTRACT**

**Dissertation of Pirmanov Ildar Anuarbekovich on the topic: " Development and research of design methodology for digital training models of helicopter repair processes", submitted for the degree of doctor in the specialty D105 - "Aviation engineering and technology"**

**The relevance of the work.** The repair of helicopter equipment is accompanied by a number of problems: obsolescence of technologies, low level of automation, high requirements for labor safety in the workplace. But the most difficult is the procedure for organizing training, because as a result, students need to assign practical and high-quality competencies at minimal cost and maximum self-study on the job of an instructor-mentor, as well as control the assimilation of educational material, taking into account the risk of actions at the repair site.

Improving the quality of education is also dictated by high requirements for flight safety in accordance with the law "On the use of the airspace of the Republic of Kazakhstan and aviation activities" [1], international requirements for standards and recommended practices ICAO [2] and EASA [3], of which the Republic is a member Kazakhstan.

Thus, based on the current state of the problem, dissertation research aimed at developing a methodology for designing digital training models of helicopter repair processes is currently very important and relevant.

 **The level of study of the problem.** At enterprises, the repair of aviation equipment requires the urgent introduction of digitalization to optimize the technological process, improve labor safety in the workplace, create a database of repaired objects and parts to calculate costs and forecast labor and financial resources. It is necessary to create a universal computer teaching technology in the form of a software and pedagogical tool that can effectively not only solve these problems, but also improve the quality of theoretical knowledge and practical competencies, possibly through the use of virtual reality technologies. Therefore, it is required to create scientific and theoretical foundations and methodological tools for digital transformation and modernization not only of training processes for the repair of helicopter equipment, but also of others in the production cycle of the aviation industry.

Thus, based on the current state of the problem, dissertation research aimed at developing a methodology for designing digital training models of helicopter repair processes is currently very important and relevant.

 **The purpose of the dissertation work.** The purpose of the work is to develop theoretical and methodological approaches, scientific and practical recommendations for digitalization and improving the quality of theoretical knowledge and practical competencies in training based on advanced technologies of 3D modeling and VR-virtual reality on the technological processes of helicopter repair.

To achieve this goal, the following tasks are solved within the framework of the dissertation work:

1. Study of the production cycles of aviation enterprises of the Republic of Kazakhstan, determine the list of problems of the technological process of repair of aviation equipment that require urgent resolution with scientific research.

2. Research and analysis of digital tools for solving production problems of determining the main requirements for the development of digitalization of aircraft repair enterprises.

3. Research and analysis of computer educational technologies and the formation of a list of requirements for effective advanced training of specialists in production during the repair of helicopter equipment.

4. Development of a conceptual apparatus of digital modeling, classification and structure of a model that forms realistic objects or processes based on 3D modeling technologies, VR virtual reality and artificial intelligence, with the transfer of dynamic influences and reactions to its human perception organs.

5. Development of scientific and theoretical support for digital training models required for design: mathematical, algorithmic, information and production, hardware and software.

**Research objectives:**

1. Study of the production cycles of aviation enterprises of the Republic of Kazakhstan, determine the list of problems of the technological process of repair of aviation equipment that require urgent resolution with scientific research.

2. Research and analysis of digital tools for solving production problems of determining the main requirements for the development of digitalization of aircraft repair enterprises.

3. Research and analysis of computer educational technologies and the formation of a list of requirements for effective advanced training of specialists in production during the repair of helicopter equipment.

4. Development of a conceptual apparatus of digital modeling, classification and structure of a model that forms realistic objects or processes based on 3D modeling technologies, VR virtual reality and artificial intelligence, with the transfer of dynamic influences and reactions to its human perception organs.

5. Development of scientific and theoretical support for digital training models required for design: mathematical, algorithmic, information and production, hardware and software.

The object of the study is digital models based on 3D modeling and VR technologies for digitalization and training in helicopter repair.

**Methods and subjects of research.** To solve the problems set in the dissertation research, the methods of analytical research, system analysis, mathematical and computer modeling, mathematical statistics, classification, programming, and theory of sets and experiments were widely used.

In the process of performing the experimental part of the work, design tools for 3D models and VR virtual reality applications, automation of mathematical calculations and tools for visualizing research results using Solid Works, Blender3D and Unreal Engine 4 computer programs were actively used.

**Scientific novelty.** The most significant new scientific results contained in the dissertation work are the following.

1. The structure of the digital training model of the repair process, including the input of input data in digital format, the construction and processing of 3D models of one-piece parts and tools, the creation of VR - virtual reality with control and evaluation functions and technical regulations.

2. Creation of a method for designing a database of 3D models of photorealistic quality of parts, tools and assemblies of aviation equipment, as well as their textures for further use. The need for photorealistic quality is to reduce the influence of the human factor on the risks associated with maintenance and repair.

3. Creation of a method for designing a VR database - a virtual reality of the process of repairing aircraft units with control and evaluation functions and technical regulations.

4. Technology for designing and prototyping a hardware-software complex of interactive training programs based on 3D modeling and VR technologies - virtual reality on the technological processes of aircraft repair.

A conceptual general approach to the development of scientific, theoretical and applied software for digital training models of helicopter repair is proposed.

 **Theoretical and practical significance.** The practical significance of the work lies in the possibility of using the results obtained in the study to build digital and automatic systems for the aviation industry, which allow optimizing technological processes, improving labor safety in the workplace, creating databases of repaired parts and assemblies, predicting labor and financial resources.

Digital transformation based on the use of CCM allows you to create a universal computer-based learning technology that can effectively improve the quality of theoretical knowledge and practical competencies.

The results of the presented study allow us to offer new effective technologies for the repair of a wide range of transport equipment, as well as to develop decision support systems for human personnel aimed at reducing the risk of errors and increasing attention.

**Approbation of work.** The results of the dissertation research were introduced into the educational process of JSC "Academy of Civil Aviation" and at the production of LLP "ST Integrator Company" to improve the quality of products, and were also taken into account when developing a strategic plan for the development of the application of the developed digital model for training in the repair of helicopter equipment on the technological basis of LLP " ST Integrator Company" until 2025, which is aimed at improving the technology of reliability analysis, diagnostics and implementation of VR software in the aviation security system.

The main results of the dissertation research were reported and discussed at: V International Scientific and Practical Conference “Creative potential of youth in solving aerospace problems” (Baku, Azerbaijan, 2020).

**The connection of the topic with plans and research programs.** The dissertation research provides a theoretical justification and proposes a solution to an urgent scientific problem that requires the creation of methods and technologies for digitalization and automation for the qualitative improvement of training with the assignment of high theoretical knowledge and practical competencies, the optimization of all stages of the production cycle, the improvement of labor safety in the workplace, the formation of a database repaired units, tools and parts for cost calculation and forecasting of labor and financial resources.

Thanks to the use of computer learning technologies based on 3D modeling and VR virtual reality, it is proposed to create a digital learning environment with intuitive real-time interaction.

A conceptual apparatus has been developed and the areas of application of educational technologies in the aviation industry, as well as areas of study for the training of installation and repair specialists, have been determined. A model and description of the operations of the technological process of repair of helicopter equipment, stages of application development are proposed.

**Personal contribution of the author.** The conceptual approach to digital modeling, the structure of digital training models, as well as the main experimental and theoretical results obtained during the dissertation research, were obtained by the author independently. In published scientific papers as part of a team of co-authors, the applicant makes the main contribution to obtaining, summarizing and analyzing the results achieved.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation has a classical structure: introduction, main part (five chapters), conclusion, list of references and appendix. The work is presented on 120 pages of computer text, includes 47 figures, 11 tables and 100 names of bibliographic sources.