

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,  
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ**

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

**ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ ՀՐԱԶՅԱ ԳՈՒՐԳԵՆԻ**

**ՈՒՂԻՂ ՆՇԱՆԱՌՈՒԹՅԱՄԲ ՀՐԱԶԳՈՒԹՅԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏՍԱՑՎԱԾ  
ՎԱՐԺԱՍԱՐՔԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Ե. 13.02 – «Ավտոմատացման համակարգեր» մասնագիտությամբ  
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման  
ատենախոսության

**ՄԵՂՄԱԳԻՐ**

**Երևան - 2022**

---

---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА  
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ**

**ХАЧАТРЯН ГРАЧЬЯ ГУРГЕНОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ  
СТРЕЛЬБЫ ПРЯМОЙ НАВОДКОЙ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по  
специальности 05.13.02 – “Системы автоматизации”

**Ереван - 2022**

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում (ՀԱՊՀ)

Գիտական ղեկավար՝  
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

տ.գ.դ. Ս. Հ. Մինոնյան  
տ.գ.դ. Հ. Ս. Սուքիասյան  
տ.գ.թ. Ա. Ա. Մուրադյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

ՀՀ ԳԱԱ ինֆորմատիկայի  
և ավտոմատացման պրոբ-  
լեմների ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 2022 թ. ապրիլի 29-ին ժամը 14<sup>30</sup>-ին ՀԱՊՀ-ում գործող ՀՀ ԲՈԿ-ի «Կառավարման և ավտոմատացման» 032 Մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցեն՝ 0009, Երևան, Տեղյան փ., 105, 17-րդ մասնաշենք:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:  
Սեղմագիրն առաքված է 2022 թ. մարտի 19-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.՝

Ա.Վ. Մելիքյան

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете  
Армении (НПУА)

Научный руководитель:  
Официальные оппоненты:

д.т.н. С.О. Симонян  
д.т.н. А.С. Сукиасян  
к.т.н. А.А. Мурадян

Ведущая организация:

Институт информатики и  
проблем автоматизации  
НАН РА

Защита диссертации состоится 29 апреля 2022 г. в 14<sup>30</sup> часов на заседании Специализированного совета 032 “Управление и автоматизация” ВАК РА, действующего при НПУА. Адрес: 0009, Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 19 марта 2022 г.

Учёный секретарь специализированного совета, к.т.н.

А.В. Меликян

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В ходе общевойсковой боя эффективное применение артиллерийских подразделений в борьбе против бронетехники противника является залогом успешного выполнения поставленной боевой задачи. Тем временем частое проведение тренировок с реальной стрельбой сопряжено с рядом трудностей. Поэтому процесс непрерывной подготовки артиллеристов с применением новейших информационных технологий дает возможность наиболее эффективно совершенствовать их навыки.

Актуальность темы обусловлена необходимостью развития и сохранения на должном уровне навыков боевых расчетов орудий ствольной артиллерии, в частности командиров и наводчиков, поскольку от них зависит успешное выполнение огневых задач, в том числе и по стрельбе прямой наводкой (СПН). Несмотря на существующие исследования, вопросы обучения и тренировки подразделений ствольной артиллерии обоснованы и изучены недостаточно. Возникла необходимость в создании компьютерного тренажерного средства, призванного соответствовать современным требованиям по моделированию работы боевой техники, экономии ресурсов и времени, повышению безопасности и эффективности тренировки, формированию и развитию необходимых навыков, и тем самым заполнить описанные выше пробелы, чем и обусловлена актуальность темы настоящей диссертационной работы.

**Объектом исследования** является методика обучения командиров и наводчиков орудий, оснащенных оптическим прицелом ОП-4 и его модификациями.

**Предметом исследования** является компьютерный автоматизированный тренажер (АТ) по СПН.

**Цель диссертационной работы.** Научное обоснование технической разработки компьютерного АТ по СПН.

### **Задачи исследования**

- разработать детерминированную математическую модель АТ, на основе которой спроектировать АТ по СПН для применения также в полевых условиях,
- разработать соответствующую методику для внедрения артиллерийских таблиц стрельбы в программное обеспечение (ПО) АТ,
- создать ПО АТ, позволяющее автоматизировать расчеты поправок для стрельбы ствольной артиллерии,
- изучить и выбрать соответствующую машиностроительную систему автоматизированного проектирования (САПР), применив его, автоматизировать проектирование аппаратной части АТ и оптимизировать его некоторые геометрические и физические параметры,
- при помощи САПР радиоэлектронных средств автоматизировать проектирование датчиков АТ,
- изучить количественные данные повышения эффективности обучения личного состава артиллерийского подразделения в результате применения спроектированного и изготовленного прототипа компьютерного АТ,
- обосновать экономическую эффективность внедрения АТ.

**Методы исследования.** В диссертации для теоретических исследований применены методы теории измерительных систем, математического моделирования, в частности, теорий оптимизации, аппроксимаций, систем массового обслуживания (СМО). Аппроксимация выполнена методом наименьших квадратов. При разработке АТ использовались методы следующих теорий: программирования, имитационного моделирования, схемотехники, САПР (CAD/CAE). В САЕ системе ANSYS применен FEM (Finite Element Method) – метод конечных элементов (МКЭ). Для исследования эффективности обучения проведена серия экспериментов, при анализе результатов которых применены методы математической статистики и теории вероятностей, а для проверки адекватности модели – результаты натуральных испытаний.

В теоретических исследованиях использованы статистические и математические пакеты прикладных программ (ППП) SPSS Statistics, Wolfram Mathematica, Advanced Grapher, SciDAVis, MathLab и MathCAD, ПО имитационного моделирования AnyLogic.

### **Научная новизна работы**

1. Применением математических ППП Advanced Grapher и SciDAVis автоматизировано получение аналитических соотношений поправок стрельбы для систем ствольной артиллерии Т-12 (МТ-12), Д-20, Д-30, Д-44.

2. С задействованием САПР SolidWorks, Ansys, Proteus и ППП MathLab, MathCAD, Wolfram Mathematica проведены теоретические и практические исследования, составившие основу технических решений и конструктивных разработок, защищенных авторскими свидетельствами.

3. Предложена стохастическая математическая модель задачи 2а Курса подготовки артиллерии КПА-2012 (поражение движущихся целей при СПН) и найдено ее решение.

4. Предложена стохастическая математическая модель огневого поражения современного танка и применением новейшей версии ПО имитационного моделирования AnyLogic автоматизировано ее численное решение. Симулирована системная динамика процесса огневого поражения во времени и выполнен анализ полученных результатов.

5. На основе предложенной концептуальной модели функционирования АТ и разработки соответствующей детерминированной математической модели разработан АТ "Панорама", с помощью которого автоматизированы вычисления поправок для СПН.

6. В ходе статистической обработки результатов экспериментов по определению эффективности тренажерного обучения выявлено, что закон распределения оценок обучаемых, наилучшим образом описывающий соответствие экспериментальных данных гипотетическому распределению, схож с зеркальным отображением распределения Релея.

7. Выявлено также, что АТ "Панорама" повышает эффективность процесса обучения и тренировки личного состава (общий рост средней оценки тренируемых составил около 24%).

### **Практические результаты**

1. Основным результатом проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) является разработанный и сконструированный аппаратно-программный комплекс компьютерного АТ "Панорама", предназначенного для всех систем ствольной артиллерии, оснащенных оптическим прицелом ОП-4 и его модификациями. На основании разработки получен патент на изобретение № 2520А Агентства интеллектуальной собственности Республики Армения.

2. Разработаны два типа разных датчиков для применения в АТ:

а) новый датчик линейного перемещения на основе компьютерной мыши. При помощи лабораторных приборов рассчитана погрешность измерений, производимых его оптической матрицей и обоснована целесообразность применения данного датчика в АТ. Получен отрицательный научный результат пригодности датчика для прецизионных применений в промышленности. На основании разработки получен патент на полезную модель № 346U Агентства интеллектуальной собственности Республики Армения.

б) микропроцессорный узел управления промышленными оптоэлектронными энкодерами на основе контроллера AVR ATMEGA 88 фирмы Atmel.

3. Получены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие рост эффективности обучения личного состава артиллерийских подразделений благодаря применению АТ, а также предложен способ автоматизации вычислений оценок обучающихся.

4. Разработано новое учебно-методическое руководство для обучения СПН личного состава противотанковых подразделений.

### **Практическая значимость работы**

1. Сокращение расходов на материальные ресурсы и время подготовки личного состава артиллерийских подразделений, повышение эффективности обучения и тренировок.

2. Сокращение сроков проведения НИОКР в ходе создания новых образцов военно-технических изделий и модернизации имеющихся разработок, а также повышение уровня автоматизации и эффективности проектирования.

3. Возможность применения предложенных методик и конструкторских решений в проектировании схожих военно-технических систем.

**Результаты внедрения.** Опытный образец АТ "Панорама" показал свою необходимость и эффективность в обучении личного состава противотанкового артиллерийского подразделения, что подтверждено соответствующим актом. Некоторые методики, примененные в диссертационном исследовании, внедряются в разработку ПО IT-компанией Bootech CJSC.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Методика преобразования поправок стрельбы из табличного вида в аналитический для систем ствольной артиллерии Т-12 (МТ-12), Д-20, Д-30, Д-44.

2. Методики исследований матриц сенсоров компьютерных оптических мышей и оценки погрешности производимых этими матрицами измерений.

3. Предложенные графы стохастических математических моделей, послужившие основой для разработки соответствующих систем дифференциальных уравнений (СДУ) Колмогорова.

4. Результаты аналитического и численного методов решения СДУ Колмогорова стохастической математической модели задачи 2а КПА-2012.

5. Результаты численного решения СДУ Колмогорова стохастической математической модели огневого поражения современного танка применением системы имитационного моделирования AnyLogic.

6. АТ "Панорама" моделирования тактической обстановки при СПН из систем ствольной артиллерии, оснащенных оптическим прицелом ОП-4 и его модификациями.

7. Результаты экспериментальных исследований по обоснованию эффективности обучения на АТ "Панорама".

**Апробация результатов работы.** Основные положения и научные результаты диссертации докладывались и обсуждались на:

– годовых научных конференциях НПУА (2014-2016 гг.);

– научных семинарах кафедры "Информационные технологии и автоматизация" (ИТ и А) НПУА (2017-2020 гг.);

– семинаре по внедрению новых технологий компании Bootech CJSC (2021 г.).

**Публикации.** Основные научно-практические результаты диссертации опубликованы в 11 работах, список которых представлен в конце автореферата.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы из 119 наименований, 4 приложений на 13 страницах. Общий объем работы составляет 132 страницы, включая 54 рисунка и 11 таблиц. Диссертация написана на армянском языке.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна, практическое значение и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе "ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ"** проведено изучение литературы по теме диссертации, подчеркнута важная роль современной полевой артиллерии в огневом поражении противника, выполнен анализ нынешнего состояния процесса обучения наводчиков противотанковых орудий, обоснована необходимость обучения на тренажерах в контексте актуальности применения ствольной артиллерии при СПН.

Рассмотрены существующие АТ по СПН, проведен анализ их показателей. Отмечены их преимущества и недостатки. Обоснована необходимость разработки компьютерного АТ, предназначенного для применения также в полевых условиях.

Анализ современного состояния проблемы разработки АТ по СПН показывает, что:

- в открытых источниках публикации по артиллерийским АТ носят лишь только ознакомительный характер и дают крайне ограниченную информацию о примененных технологиях, методах и эффективности их применения;

- имеющиеся АТ по СПН стационарны и не предназначены для тренировок личного состава в полевых условиях;

- в публикациях уделено недостаточно внимания исследованиям статистических данных влияния применения АТ на эффективность обучения личного состава артиллерийских подразделений, а данные об эффективности обучения на АТ по СПН отсутствуют вообще.

Выполнен обзор существующих в настоящее время CASE средств и систем автоматизации, применяемых для создания ПО. В конце главы сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

**Во второй главе "ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ И ДАТЧИКОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТРЕНАЖЕРА"** рассмотрены вопросы автоматизации проектирования аппаратной части и оптоэлектронных датчиков АТ в специализированных САПР (системах САД/САЕ).

В соответствии с системным подходом на *системном уровне* проектирования решены наиболее общие задачи автоматизированного проектирования тренажера, то есть осуществлена проектная процедура *структурного синтеза*. На *макроуровне* проектирования в соответствующих САД/САЕ построены принципиальные и функциональные схемы подсистем (отдельных узлов) и виртуально смоделирована их работа. На *микроуровне* проектирования выполнен параметрический синтез деталей и компонентов этих узлов.

Осуществлено последовательное решение задач автоматизированного проектирования от верхних иерархических уровней до нижних уровней, то есть применен нисходящий (Bottom-of-Design) стиль проектирования. Реализована декомпозиция общей задачи проектирования на частные задачи. Этими задачами являются:

- 1) автоматизированное проектирование аппаратной части, которое в свою очередь делится на проектирование электроники и механики;

- 2) автоматизированное проектирование ПО.

По завершении этапов проектирования проведены сборка опытного образца (ОО), корректировка конструкторской документации по результатам его повторного изготовления, тестирование всех узлов и внесение необходимых изменений в конструкцию после испытания ОО. Осуществлены также поиски патентной чистоты для подготовки АТ к серийному производству. Цель поисков – выявить признаки изобретений, используемых в АТ другими разработчиками. По их завершении представлены соответствующие заявки в Агентство интеллектуальной собственности РА для защиты авторских прав на АТ и получения соответствующих патентов.

Изучение литературных источников показало актуальность применения обычной оптической компьютерной мыши в качестве энкодера – датчика угла поворота или перемещения. В главе проведен анализ 18-и работ, в том числе 1 монографии, опубликованных за последние 15 лет и посвященных применению микросхем-сенсоров светодиодных и лазерных компьютерных мышей для проведения измерений пройденного на плоскости расстояния.

Изучение вышеназванных источников и последующий анализ показали, что несмотря на то, что некоторыми исследователями получены данные о погрешности измерений, сделанных матрицами оптических сенсоров, однако *методики оценки погрешности измерений*

и разрешающей способности матриц отсутствуют. При 2-3 степенях свободы не решена также проблема простого способа подключения мыши к компьютеру.

В результате инженерных изысканий предложен запатентованный способ сопряжения мыши с компьютером при помощи USB-хаба и двух микросхем КР293КП3А, представляющих собой твердотельные реле. Здесь сигнал величиной 3,5 В (уровень логической "1") на микросхему КР293КП3А подается с квадратурного вывода микросхемы-сенсора мыши, на котором во время движения мыши генерируется серия прямоугольных импульсов. Квадратурный вывод микросхемы-сенсора определен при помощи его справочного листка. При отсутствии справочных данных поиск квадратурного вывода микросхем-сенсоров произведен при помощи сервисного осциллографа С1-94 [3].

Для оценки измеренного компьютерной мышью перемещения проведена серия следующих экспериментов: мышь на разных поверхностях перемещалась на строго определенное расстояние и возвращалась точно в исходное место. Выявлено, что погрешность позиционирования накапливается, а курсор практически не возвращается в исходную точку на экране монитора, что связано с материалом поверхности, скольжением по нему, особенностями алгоритма считывания информации, а также погрешностью оптической матрицы микросхемы-сенсора мыши, оценка которой представлена ниже.

Пусть  $X$ ,  $Y$  - длины отрезков, которые измеряет матрицей сенсора, а  $\Delta x$  и  $\Delta y$  - величины погрешностей соответствующих измерений. В этом случае величина абсолютной погрешности  $\Delta s$  измеренного перемещения  $S = \sqrt{X^2 + Y^2}$  будет определяться по следующей формуле:

$$\Delta s = S \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta \varphi^2 + \Delta \psi^2}, \quad (2.1)$$

где  $\Delta \varphi$  – погрешность, вносимая программным драйвером;  $\Delta \psi$  – погрешность, вносимая на аппаратном уровне в результате аналого - цифрового преобразования (АЦП).

### **Методика исследований матриц сенсоров и оценки погрешности производимых матрицами измерений**

До начала исследований выполнена калибровка лабораторного микроскопа МБУ-4 при помощи эталонной меры длины. Сначала при помощи микроскопа измерен диаметр входного отверстия микросхемы. Затем, после разборки корпуса микросхемы оптического сенсора она изучена и сфотографирована снизу со стороны оптической матрицы при помощи лупы с четырехкратным увеличением. Далее с целью изучения физических размеров и состава оптической матрицы микросхема тыльной стороной помещена на предметный столик микроскопа МБУ-4 и при помощи осветителя освещена с разных сторон до получения в окуляре микроскопа яркого и контрастного изображения. При этом, при помощи встроенной в окуляр шкалы измерены линейные размеры и количество элементов по столбцам и строкам матрицы (рис.1). Фотографирование произведено цифровым фотоаппаратом Panasonic Lumix DMC-FP8 непосредственно с окуляра микроскопа при 80 или 100-кратном увеличении. Поскольку явление параллакса приводило к значительным ошибкам считывания результатов измерений, доходящим до 2-3 делений шкалы, то для его нейтрализации фиксирование числовых данных измерений проведено исключительно по сделанным фотографиям. Всего исследованы 24 микросхемы сенсоров светодиодных мышей, результаты исследований отражены в диссертации.

Оценка погрешности измерений, производимых оптической матрицей компьютерной мыши проведена по известной формуле:

$$\Delta x = D/2n, \quad (2.2)$$

где  $D$  – физический размер (длина или ширина) матрицы, мм;  $n$  – число элементов по строкам (столбцам) матрицы.

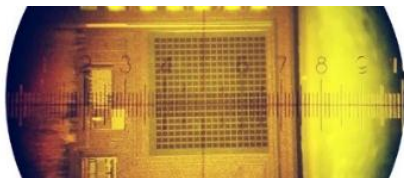


Рис. 1. Фотография под микроскопом (увеличение 80×) матрицы сенсора Instant A601BS (игровой мыши Jiexin X11) с физическими размерами 0,518 x 0,518 мм, содержащей 18 × 18 элементов

### Результаты исследований матриц оптических сенсоров

1. Относительная погрешность измеренного мышью (с разрешающей способностью 800 *срi*) пройденного перемещения составила 4%, что близко к данным, полученным другими исследователями: 0,5%...1% для лазерных и до 5% для светодиодных матриц мышей.

2. Заявленная производителями разрешающая способность, указываемая в технических характеристиках мышей, во многих случаях не соответствует действительности. Так, в параметрах мыши Jiexin X11 Game Mouse (с сенсором A601BS) максимальная разрешающая способность указана равной 4000 *срi* (counts per inch - отсчетов на дюйм), когда в действительности по справочным данным микросхемы A601BS она равна 2000 *срi* (нами получен приближительный расчетный результат, равный 1800 *срi*).

3. Целесообразным является применение лазерной мыши вместо светодиодной. Излучение лазерного диода может создавать картину с высокой контрастностью при движении на прозрачной и глянцевой поверхностях, на которых светодиодная мышь не работает. Кроме того, лазерные мыши имеют большую разрешающую способность и следовательно, меньшую погрешность в сравнении со светодиодными мышами.

Датчик на основе компьютерной мыши имеет простую и надежную конструкцию и приемлем в применении при штучном производстве АТ. В случае серийного или массового производства возможно возникновение эксплуатационных неудобств в связи с большим разбросом параметров компьютерных мышей и необходимостью их индивидуальной программной настройки. Поэтому предпочтительнее разработать датчик, состоящий из унифицированных промышленных деталей и узлов. С этой целью спроектирован второй вариант датчика перемещений, представляющий собой микропроцессорный узел управления промышленными оптоэлектронными энкодерами.

Выполнение всего технологического цикла проектирования микропроцессорного узла, начиная от параметрического синтеза и заканчивая получением готового решения, автоматизировано в среде САПР Proteus. В процессе проектирования составлены структурная и принципиальная электрическая схемы микропроцессорного узла, состоящего из 8-рядного RISC микроконтроллера AVR ATMEGA88, преобразователя сигналов UART-USB FT232R и четырех энкодеров WayCon B36. Выполнена симуляция работы узла в САПР Proteus: в окне виртуального осциллографа и терминала изучены формы генерируемых цифровых сигналов и текстовая информация, а также проверено их соответствие заложенным на этапе программирования на языке C в среде CodeVision AVR данным. Выполнена автоматизированная трассировка готовой печатной платы и получен ее 3D-вид [8].

Для разработки аппаратной части АТ проанализирован рынок машиностроительных САД/САЕ систем (систем САПР), используемых в настоящее время для автоматизированного проектирования. Выявлено, что связка САД/САЕ систем SolidWorks + ANSYS является одной из лучших на рынке решений для проектирования конструкций устройств, оборудования, инструментов и проведения различных физических расчетов.

Сформулированы требования к техническим параметрам АТ. Построена 3D-модель конструкции АТ в SolidWorks, исследованы возможности снижения его массогабаритных характеристик. Оптимизация параметров выполнена по минимизации отношения масс деталей (валов, опор, зубчатых передач и т. д.) к их жесткостям.



С применением автоматизированной оптимизации геометрических параметров в SolidWorks получена оптимальная, но не рациональная с точки зрения эргономики конструкция. В результате дальнейшей проработки получен окончательный внешний вид.

Автоматизированным моделированием получены оптимальные данные толщин оснований корпуса и крышки, а также размеров и толщин складных ног. Исходным пунктом вычислений прочности валов является максимальный крутящий момент, приложенный к каждому из двух нижних рабочих органов (маховиков), от которого зависят минимальные диаметры соответствующих валов. Результатом решения однокритериальной нелинейной задачи оптимизации является уточненный минимальный диаметр валов подъемно-поворотного механизма. В САПР SolidWorks выполнена автоматизированная оптимизация топологии опор валов.

С целью улучшения характеристик прочности конструкции устройства в ANSYS Workbench проведен автоматизированный динамический анализ ее напряженно-деформированного состояния. При помощи МКЭ под воздействием вектора синусоидальных нагрузок найдены и исследованы деформации и амплитудно-частотные характеристики конструкции в диапазонах частот 1...100 Гц и 100...1000 Гц, а также частоты собственных колебаний [10].

Автоматизированные вычисления были продолжены с применением технологий виртуализации на гипервизоре VMware Workstation и облачных вычислений с моделью обслуживания PaaS (Platform-as-a-Service) на сервере компании Instigate, давших многократную (8...11 раз) экономию времени в сравнении с локальными вычислениями, что подтверждается соответствующими графиками, приведенными в диссертации.

### **Результаты теоретических исследований в САПР ANSYS Workbench**

1. Частота резонанса конструкции АТ равна 30,7 Гц, а деформация в верхней части стойки на данной частоте принимает значение 13,2 мм, что вынудило для нейтрализации возможного негативного воздействия предусмотреть соответствующее конструктивное решение с жестким закреплением верхней стойки при помощи резьбового соединения.

2. Максимальная деформация конструкции при динамической синусоидальной нагрузке в диапазоне частот 100...1000 Гц зафиксирована на левом участке днища корпуса, достигая значения 10,59 мм на частоте 109 Гц, что указывает на необходимость увеличения толщины материала днища (сталь марки Ст. 4) и перерасчета, или добавления ребер жесткости под днищем.

3. Перевозка конструкции транспортными средствами не вызовет проблем, так как основная часть собственных колебаний кабины и кузова автомобилей с рычажно-пружинной и пневмо-гидравлической подвесками приходится в основном на диапазон частот 1,5...22 Гц, что ниже резонансной частоты (30,7 Гц) конструкции.

**Третья глава "РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТРЕНАЖЕРА"** посвящена созданию математической модели АТ и разработке его ПО [5, 6].

Скорость вращения  $V_M$  маховиков (рис. 2) подъемно-поворотного механизма АТ постоянна и является некоторой функцией от времени  $t$ , т.е.

$$V_M = f(t).$$

Тогда величина перемещаемого маховиками оптического прицела ОП-4 орудия в окне ПО определится выражением

$$S(t) = k \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt,$$

где  $t_1$  – время засечки цели;  $t_2$  – время производства выстрела;  $k$  – коэффициент пропорциональности, настраиваемый из окна ПО (соотношение скорости вращения маховика подъемно-поворотного механизма к скорости перемещения прицела ОП-4 в окне ПО).

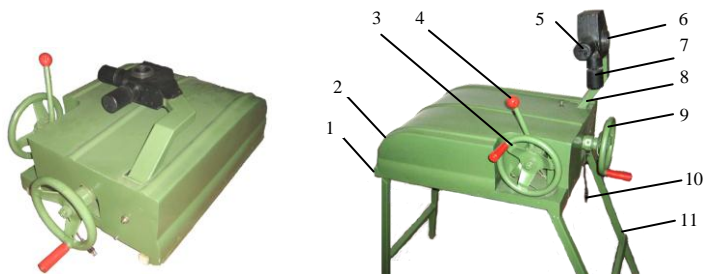


Рис. 2. Аппаратная часть АТ в походном и рабочем состояниях

1 – шасси, 2 – крышка, 3 – маховик подъемного механизма, 4 – рычаг пуска, 5 – маховичок установки боковых поправок, 6 – окно установки оптического устройства, 7 – маховичок установки прицела, 8 – верхняя стойка, 9 – маховик поворотного механизма, 10 – соединительный USB-кабель, 11 – складные ножки.

Дальность до цели при фланговом курсе,  $m$ :

$$L(t) = L_0 = const,$$

где  $L_0$  – начальная дальность до цели.

Дальность до цели при облическом (наклонном) курсе,  $m$ :

$$L(t) = L_0 - v t \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол между горизонтом и линией визирования цели;  $v \cos \alpha$  – проекция вектора  $\vec{V}$  скорости цели на координатную ось.

Условие поражения цели:

$$|L(t) - P| \leq U_{max}, a \in M,$$

где  $P$  – установка прицела, соответствующая дальности до цели,  $m$ ;  $U_{max}$  – максимально допустимое рассогласование установки прицела и дальности до цели,  $m$ ;  $a(x_1, y_1)$  – координаты центра разрыва снаряда;  $M = \{x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n\}$  – множество координат, заключенных в контур цели, усеченный со всех сторон на 10% (учет толщины брони).

Ввод таблиц стрельбы артиллерийских систем в ПО возможен в виде двумерных массивов данных, однако здесь возникает проблема расчета значения функции при промежуточных значениях аргумента. Поэтому целесообразнее вводить таблицы в исходные коды ПО в виде формул при помощи приводимой ниже методики.

**Методика исследования таблиц стрельбы.** Перевод из табличного представления в аналитическое функциональных зависимостей поправок для стрельбы прямой и полупрямой наводками из орудий Т-12 (МТ-12), Д-20, Д-30, Д-44 нами автоматизирован в математических пакетах SciDAVis 0.2.4 и Advanced Grapher 2.2. Аппроксимации с применением метода наименьших квадратов выполнены: полиномом второй  $f(x) = a_2 x^2 + a_1 x + a_0$  степени, линейной функцией  $f(x) = ax + b$  и экспоненциальной функцией вида  $f(x) = a_0 + \exp(-x/t)$ . Построены графики полученных функций в вышеназванных математических пакетах.

**Результаты исследования.** Проведенные нами исследования показали, что табличные данные зависимости падения начальной скорости снаряда  $\Delta V_0$  от износа канала ствола  $\Delta d$

противотанковой пушки Т(МТ)-12 можно аппроксимировать экспоненциальной функцией (3.1) (рис. 3), применение которой более целесообразно при математическом описании естественных процессов, в том числе и процесса физического износа

$$\Delta V_0 = 4,22(\exp(-\Delta d/4,58)-1), \quad \Delta d \in [0; 3,4], \quad (3.1)$$

где  $\Delta V_0$  – падение начальной скорости снаряда (при температуре заряда  $+15^\circ\text{C}$ ), %;  $\Delta d$  – диаметральный износ канала ствола, мм.

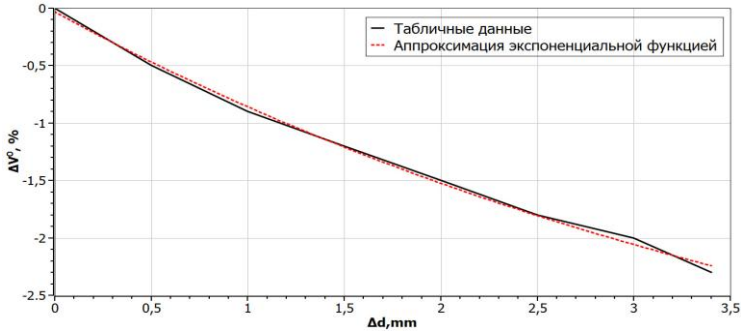


Рис. 3. Зависимость падения начальной скорости  $\Delta V_0$  снаряда от износа  $\Delta d$  канала ствола пушки Т(МТ-12)

Разлагая выражение (3.1) в ряд Маклорена ( $\Delta d \sim x$ )

$$f(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \frac{f'''(0)}{3!}x^3 + \dots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n$$

и пользуясь прикладным программным пакетом *Wolfram Mathematica*, получено, что

$$\Delta V_0 = -0,92\Delta d + 0,1\Delta d^2 - 0,007\Delta d^3 + 0,0004\Delta d^4$$

или

$$\Delta V_0 = 4,22 \left( \sum_{n=0}^4 \frac{(1/4,58)^n (-\Delta d)^n}{n!} - 1 \right).$$

В литературных источниках некоторые исследователи предлагают использовать электронные таблицы стрельбы, а поправки  $\Delta X_w$ ,  $\Delta X_H$ ,  $\Delta X_T$ ,  $\Delta X_{V0}$ ,  $\Delta X_{T3}$ ,  $\Delta X_m$  на отклонения условий стрельбы от табличных – рассчитывать по формуле линейной интерполяции. Однако, не сообщается, каким способом и в какой системе созданы эти электронные таблицы.

Нами предлагается более удобный способ вычислений, основанный на преобразовании таблиц стрельбы в аналитический вид методами теории аппроксимаций.

Проведенные нами исследования показали, что зависимость поправки направления на боковой ветер  $\Delta Z_w$  от дальности до цели  $L$  (рис. 4) для разных снарядов пушки Т(МТ-12) можно представить в следующем аналитическом виде

$$\Delta Z_w = \begin{cases} 3 \cdot 10^{-5} L V_w, & \text{для БМ1, БМ2, БМ24,} \\ (0,045L^2 + 63L)10^{-6} V_w, & \text{для БК16(М),} \\ (0,06L^2 + 146L)10^{-6} V_w, & \text{для БК3,} \\ (0,01L^2 + 135L)10^{-6} V_w, & \text{для ОФ15, ОФ35,} \end{cases} \quad (3.2)$$

где  $\Delta Z_w$  – поправка направления на боковой ветер, тыс.;  $L$  – дальность до цели, м;  $V_w$  – скорость бокового ветра, м/с.

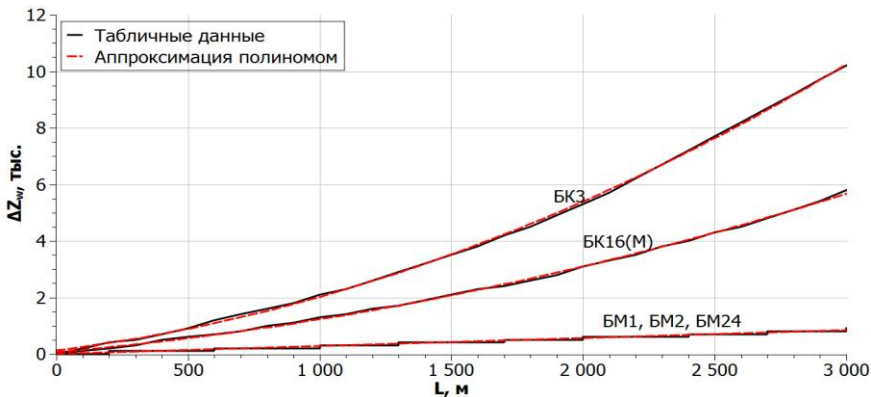


Рис. 4. Зависимость поправки направления на боковой ветер  $\Delta Z_w$  от дальности до цели  $L$  для различных снарядов пушки Т(МТ-12) при скорости бокового ветра, равной 10 м/с

На основе приведенной выше методики автоматизированы также вычисления следующих функций: поправки дальности на продольный ветер  $\Delta X_w$ , на изменение наземного давления воздуха  $\Delta X_H$ , температуры воздуха  $\Delta X_T$ , температуры заряда  $\Delta X_{T_3}$ , начальной скорости снаряда  $\Delta X_{V_0}$  и массы снаряда  $\Delta X_m$ . Аналогичным образом автоматизировано вычисление поправок для орудий Д-20, Д-30 и Д-44.

Игнорируя горные поправки, можно записать суммарную поправку направления:

$$\Delta Z_{\Sigma} = 0,1\Delta Z_w W_z + \Delta Z, \quad (3.3)$$

где  $\Delta Z_w$  – поправка направления на боковой ветер, тыс.;  $W_z$  – боковая составляющая баллистического ветра (приводится в таблицах стрельбы), м/с;  $\Delta Z$  – поправка на дериацию, тыс.

Суммарная поправка дальности записывается в виде следующего выражения:

$$\Delta X_{\Sigma} = 0,1(\Delta X_w W_x + (\Delta X_H + 0,1\Delta X_{HH} \Delta H) + \Delta X_T \Delta T + \Delta X_{T_3} \Delta T_3) + \Delta X_{V_0} \Delta V_0 + \Delta X_m \Delta m, \quad (3.4)$$

где  $\Delta X_w$ ,  $\Delta X_H$ ,  $\Delta X_T$ ,  $\Delta X_{V_0}$ ,  $\Delta X_{T_3}$ ,  $\Delta X_m$  – поправки на отклонения условий стрельбы от табличных, м;  $W_x$  – продольная составляющая баллистического ветра, м/с;  $\Delta H$  и  $\Delta T$  – отклонение наземного давления и температуры воздуха на высоте огневой позиции относительно табличных над уровнем моря;  $\Delta X_{HH}$  – поправка на нелинейность изменения дальности при изменении давления;  $\Delta V_0$ ,  $\Delta T_3$ ,  $\Delta m$  – отклонения начальной скорости, температуры заряда и массы снаряда относительно табличных. Нормальными (табличными) условиями являются:  $H = 750$  мм рт. ст.;  $T = +15^{\circ}\text{C}$ ;  $V_0 = 0$  м/с,  $T_3 = +15^{\circ}\text{C}$ .

Данные две суммарные поправки  $\Delta Z_{\Sigma}$  и  $\Delta X_{\Sigma}$  вводятся в ПО АТ.

В главе проанализирован рынок современных систем имитационного моделирования. Выявлено, что ПО AnyLogic является одним из лучших на рынке решений для имитационного моделирования трудноформализуемых задач, в том числе и автоматизации исследования сложных динамических процессов.

В главе разработана также стохастическая математическая модель, в которой рассматривается система из двух подвижных целей (танков) задачи 2а курса КПА-2012, как СМО.

Поскольку процесс перехода цели из одного состояния  $S_i$  (цель невредима) в другое  $S_j$  (цель уничтожена) является случайным с дискретным состоянием и непрерывным временем, то он является *непрерывной цепью Маркова*. Такая цепь характеризуется вероятностью перехода  $P_{ij}$  и плотностью вероятности перехода  $\lambda_{ij}$ , представляющей собой интенсивность потока событий, переводящую систему из одного состояния в другое, причем поток событий (в нашем случае – поток выстрелов по цели) рассматриваем как простейший, распределенный по закону Пуассона. Простейший поток событий удовлетворяет следующим условиям:

- 1) *стационарности* – т.е. интенсивность потока выстрелов остается постоянной;
- 2) *ординарности* – т.е. два и более выстрела в цель за малый промежуток времени маловероятны (условие ординарности сохраняется, если одну цель одновременно в момент времени  $t_n$  поражает одна противотанковая система);
- 3) *отсутствия последействия* – т.е. предыдущий выстрел не должен сказываться на результате последующего или вероятности последствия предыдущего.

Обозначим через  $S_0$  – состояние системы, когда цели невредимы;  $S_1$  – состояние, когда уничтожена одна из них;  $S_2$  – состояние, когда уничтожены две цели. Вероятности состояний, как функции времени  $t$ , обозначив соответственно через  $P_0(t)$ ,  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$ , можно построить соответствующий ориентированный граф системы (рис. 5).

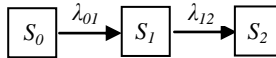


Рис. 5. Граф состояний системы из двух целей

Используя дифференциальные уравнения Колмогорова, для любого времени  $t$  можно записать СДУ вероятностей состояний системы, состоящей из двух целей:

$$\begin{cases} \dot{P}_0(t) = -\lambda_{01}P_0(t), \\ \dot{P}_1(t) = \lambda_{01}P_0(t) - \lambda_{12}P_1(t), \\ \dot{P}_2(t) = \lambda_{12}P_1(t), \end{cases} \quad (3.5)$$

где  $\lambda_{ij}$ ,  $i = \overline{0,1}$ ;  $j = \overline{1,2}$  – интенсивности потоков атак.

Интегрированием СДУ (3.5) с начальными условиями  $P_0(0)=1$ ,  $P_1(0)=P_2(0)=0$ , найдено ее аналитическое решение – искомые функции  $P_0(t)=\exp(-\lambda t)$ ,  $P_1(t)=\lambda t \exp(-\lambda t)$ ,  $P_2(t)=1-\exp(-\lambda t)-\lambda t \exp(-\lambda t)$ . Из графика функции  $P_0(t)$  выявлено (рис. 6), что вероятность состояния, при котором обе цели невредимы, плавно снижается и менее чем за 5 минут опускается до нуля.

Исследование на экстремум графика функции  $P_1(t)$  (рис. 6) выявило не зависящую от интенсивности потока выстрелов максимальную вероятность (равную 0,37) уничтожения одной из целей в течение первой же минуты стрельбы. Изучение семейства кривых (при различных значениях  $\lambda$ ) графика функции  $P_2(t)$  выявило, что в течение трех минут обе цели будут уничтожены с вероятностью, близкой 1. Лишь при интенсивности потока стрельбы  $\lambda = 1$  *выстрел/мин* цели будут уничтожены в течение шести минут со времени начала стрельбы.

Исследования в среде AnyLogic показали, что при  $\lambda=1$  *выстрел/мин* через  $t \approx 7$  мин в системе устанавливается (рис. 6) *предельный стационарный режим* [6], при котором вероятности  $P_i(t)$  будут стремиться к предельным вероятностям состояний

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) = P_i, \quad i = \overline{1,n}, \quad (3.6)$$

а именно  $P_0 = P_1 \approx 0$ ,  $P_2 = 1$ .

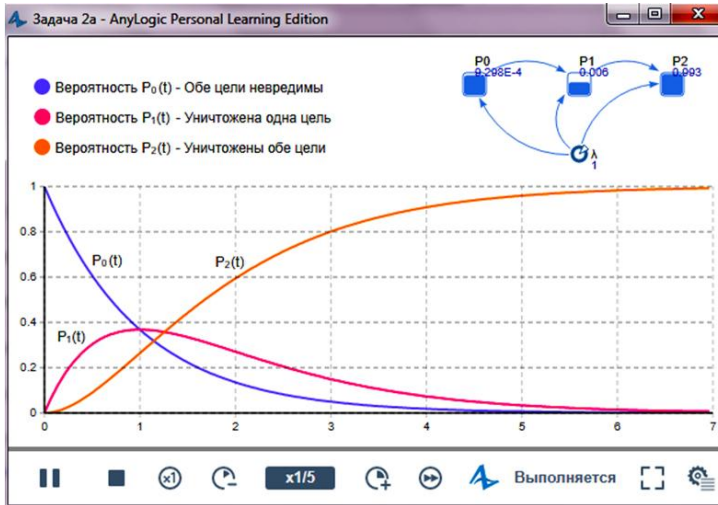


Рис. 6. Симуляция марковского процесса задачи "2а" в среде имитационного моделирования AnyLogic

Можно также автоматизировать процесс моделирования огневого поражения современного танка в AnyLogic. Известно, что вероятность поражения танка  $P$  в общем случае определяется произведением вероятностей различных факторов: точного прицельного выстрела ( $P_1$ ), срыва атаки комплексом оптико-электронного подавления (КОЭП) танка ( $P_2$ ), комплексом активной защиты (КАЗ) ( $P_3$ ), системой динамической защиты (ДЗ) ( $P_4$ ) и вероятностью попадания в броню ( $P_5$ ). Принимая процессы, происходящие в модели случайными и зависящими от времени, а поток выстрелов по танку – простейшим, можно соответствующие состояния  $S_1...S_5$  модели и их связи описать с помощью графа, представленного на рис. 7 [7].

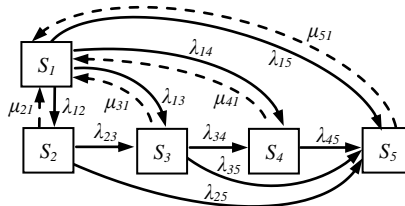


Рис. 7. Граф модели огневого поражения современного танка

Здесь простейшие потоки с интенсивностью  $\mu$ , исходящие из систем защиты и жизнеобеспечения, стараются нейтрализовать угрозу и вернуть систему в исходное состояние.

СДУ вероятностей состояний в матрично-векторной форме примет следующий вид

$$\begin{pmatrix} \dot{P}_1(t) \\ \dot{P}_2(t) \\ \dot{P}_3(t) \\ \dot{P}_4(t) \\ \dot{P}_5(t) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} (-\lambda_{12} - \lambda_{13} - \lambda_{14} - \lambda_{15}) & \mu_{21} & \mu_{31} & \mu_{41} & \mu_{51} \\ \lambda_{12} & (-\mu_{21} - \lambda_{23} - \lambda_{25}) & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_{13} & \lambda_{23} & (-\mu_{31} - \lambda_{34} - \lambda_{35}) & 0 & 0 \\ \lambda_{14} & 0 & \lambda_{34} & (-\mu_{41} - \lambda_{45}) & 0 \\ \lambda_{15} & \lambda_{25} & \lambda_{35} & \lambda_{45} & (-\mu_{51}) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \\ P_4(t) \\ P_5(t) \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Для практических расчетов подставляются численные значения потоков  $\lambda_{ij}$  и  $\mu_{ij}$ , и СДУ решается одним из численных методов. Можно менять параметры  $\lambda$  и  $\mu$  во время выполнения AnyLogic и наблюдать результаты в реальном масштабе времени. При решении СДУ применен метод численного интегрирования Рунге-Кутты с шагом интегрирования, равным  $10^{-3}$ .

Автоматизированные вычисления в среде AnyLogic показали, что при интенсивности стрельбы  $\lambda=1$  выстрел/мин из бронебойного подкалиберного снаряда (БПС) ( $\lambda_{45}=0,5 \lambda$ ,  $\lambda_{23}=\lambda_{34}=\lambda$ ) предельный стационарный режим в системе устанавливается спустя около 3 мин после первого выстрела (рис. 8). При этом вероятность  $P_5$  попадания в броню равна 0,45, а суммарная вероятность  $P_2+P_3+P_4$  нейтрализации БПС-а комплексами защиты танка равна 0,35. В случае выстрела по танку кумулятивным снарядом ( $\lambda_{23}=0,3 \lambda$ ,  $\lambda_{34}=0,4 \lambda$ ,  $\lambda_{45}=0,1 \lambda$ ,  $\lambda_{25}=\lambda_{35}=0$ ) вероятность  $P_5$  попадания в броню составляет почти вдвое меньше – 0,23.

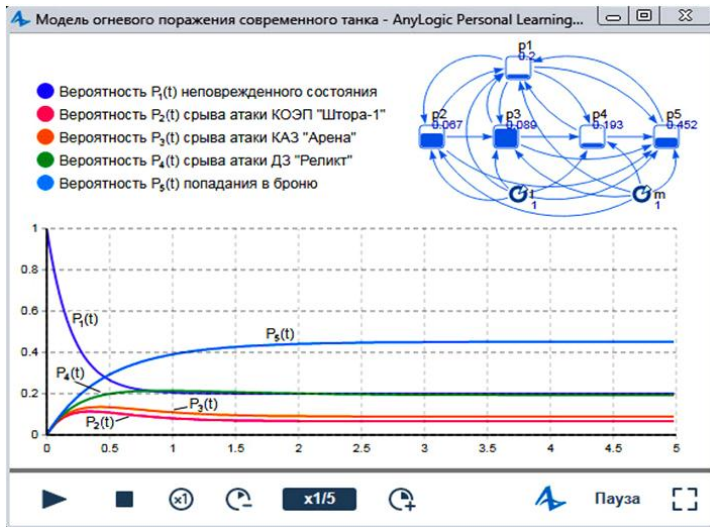


Рис. 8. Симуляция в AnyLogic марковского процесса огневого поражения современного танка БПС-ом

Энтропия  $H_1(X) = 0,6$  дес. ед. стрельбы по танку БПС-ом, вычисленная по формуле Шеннона

$$H(X) = -\sum_{i=1}^5 P_i \cdot \lg P_i \quad (3.8)$$

меньше, чем энтропия  $H_2(X) = 0,69$  дес. ед. стрельбы кумулятивным снарядом. Следовательно, исход стрельбы по танку БПС-ом обладает большей определенностью.

ПО АТ "Панорама" (рис. 9) разработано в среде Microsoft Visual Basic 6.0 с применением компонентов DirectX 8.1 – Direct Sound, а также API-функций интерфейса прикладного программирования Win32API. В качестве системы управления базами данных (СУБД) применен Microsoft Access. Проект ПО "Панорама", состоящий из пользовательских форм, двух модулей, одного модуля класса, а также сторонних библиотек компонентов ActiveX – .dll и .ocx файлов, скомпилирован в инсталляционный пакет в среде разработки Smart Install Maker.

Создание справочной системы пользователя автоматизировано в среде WinCHM Pro.

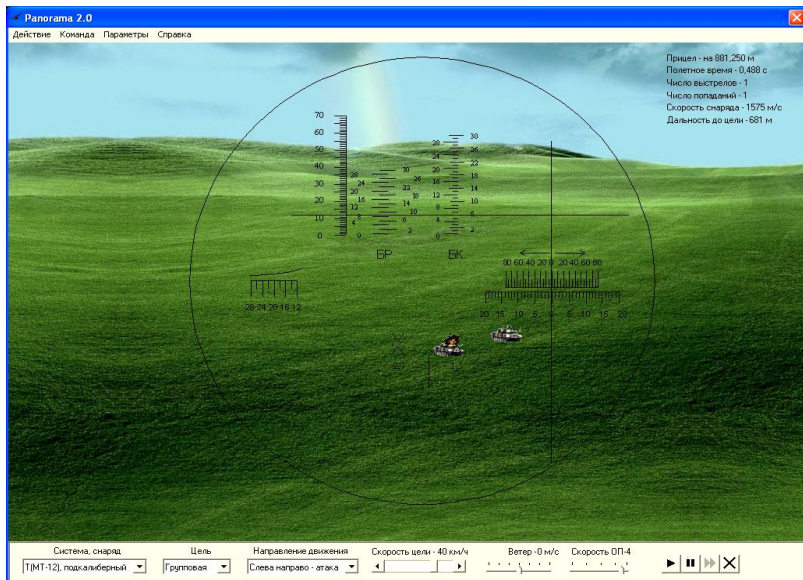


Рис. 9. ПО АТ "Панорама". Вид на тактическое поле с групповой целью

ПО АТ "Панорама" имеет следующие возможности [2]:

- выбор системы для стрельбы: орудий Т(МТ-12), Д-44, Д-30, Д-20;
- выбор снарядов: БПС, кумулятивный;
- выбор количества целей: одиночная (одна цель) или групповая (две цели);
- выбор направления движения и скорости цели, направления и скорости ветра;
- установка величины атмосферного давления, температур окружающей среды и заряда;
- имитация звуков: движения цели, выстрела, разрыва снаряда;
- прекращение движения цели при его поражении и имитация возгорания;
- возможность повторного выстрела спустя не менее 10 с в связи с перезаряданием орудия и последующий доклад о готовности повторного выстрела;
- показ скорости и полетного времени снаряда, числа выстрелов и попаданий;
- занижение оценки на 1 балл в случае уничтожения групповой цели на рубеже, превышающем 3/4 пройденного расстояния;
- возможность измерения дальности дальномерной шкалой оптического прицела ОП-4; установки нужных значений на дистанционных шкалах БР и БК и корректурной шкале;
- возможность паузы, возобновления движения цели, сброса в исходное положение;
- показ дальности до цели в ходе ее движения (имитация лазерного дальномера);
- возможность записи в СУБД даты проведения занятия, полученной оценки за выполнение огневой задачи, индивидуальных данных тренируемого военнослужащего, а также сводной информации с возможностью поиска, редактирования и удаления данных.

**В четвертой главе "РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТРЕНАЖЕРА"** обоснован экономический эффект от применения АТ, рассмотрена обработка результатов экспериментов по выявлению эффективности тренажерного обучения с применением методов теории вероятностей и математической статистики.



Обзор исследований, описанных в литературных источниках, показал недостаточное обоснование положительного влияния АТ на уровень обученности: данные о закономерностях распределения оценок (как случайных величин) выполнения огневых задач по итогам обучений и тренировок ограничены. Для восполнения этого пробела в ходе более 200 занятий выполнена серия экспериментов по классической схеме с задействованием контрольной (группа «А») и опытной (группа «Б») групп [9].

**Результаты исследования.** КПА-2012 требует проводить учебное оценивание огневого поражения целей по пятибалльной системе. Поскольку получение объективных и статистически значимых результатов и построение статистических гистограмм на основе четырех разрядов (реально для оценок используются четыре цифры) невозможно, то было принято решение перевести оценивание, с учетом времени выполнения огневой задачи, в десятибалльную систему. Выявлено, что прирост среднего балла группы «Б» над тем же показателем группы «А» составил около 24%. На основании полигонов частот автоматизировано вычисление и построение соответствующих гистограмм в *MS Excel* и *SPSS Statistics* (рис. 10), из которых предварительно можно заключить, что распределение оценок контрольной группы «А» близко к распределению Гаусса.

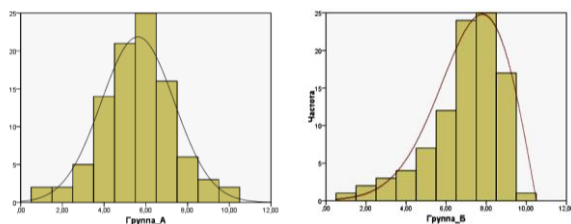


Рис.10. Гистограммы частот с результатами оценивания в *SPSS Statistics*

Исходя из вида гистограммы, выдвигается гипотеза о том, что оценки опытной группы «Б» распределены по закону, имеющему следующий вид

$$f(x) = - \frac{x - x_{\max}}{(x_{\max} - M)^2} \cdot \exp\left(-\frac{(x - x_{\max})^2}{2(x_{\max} - M)^2}\right), \quad 0 \leq x \leq x_{\max}, \quad (4.1)$$

где  $x_{\max} = 10$  – максимальное значение случайной величины (оценки);  $M = 8$  – мода случайной величины. Однако при  $M = 8$  график плотности вероятности не полностью охватывает крайние левые значения  $x$ , поэтому, принимая  $M = 7,3$ , получим выражение

$$f(x) = - \frac{x - 10}{7,3} \cdot \exp\left(-\frac{(x - 10)^2}{14,6}\right). \quad (4.2)$$

График функции (4.2) имеет схожесть с зеркальным отображением распределения Релея (см. рис. 10). В отличие от функции плотности распределения Релея, где применяется среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ , в (4.1) применяется мода  $M$ .

Мерой неопределенности случайной величины  $X$ , принимающей непрерывный ряд значений и заданной плотностью вероятности  $f(x)$ , является дифференциальная энтропия  $H$ :

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log_a f(x) dx. \quad (4.3)$$

Подставляя функцию плотности вероятности  $f(x)$  из (4.2) в (4.3), логарифмируя по основанию 10 и интегрируя в пределах от 0 до  $X_{max}$  найдем значение  $H(X) = -0,837$  дес. ед.

В ходе исследований найдены также неизвестные параметры распределения (4.2): математическое ожидание  $MX$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  и дисперсия  $\sigma^2$ .

Для проверки того, что полученные данные не противоречат гипотезе о виде (4.2) закона распределения оценок опытной группы, применен критерий  $\chi^2$  (критерий Пирсона), вычисление которого подтвердило нулевую гипотезу о распределении полученных группой «Б» оценок по закону (4.2) при уровне значимости  $\alpha = 0,1$  (табл. 1).

Таблица 1

Параметр	Значение										Сумма
$l$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$m_i$	1	2	3	4	7	12	24	25	17	1	96
$P_i$	0	0,01	0,02	0,05	0,1	0,15	0,21	0,22	0,17	0,07	0,99
$nP_i$	0,27	0,82	2,11	4,80	9,12	14,78	19,78	21,22	16,70	6,34	95,9
$\chi_q^2$	1,97	1,70	0,37	0,13	0,49	0,52	0,90	0,67	0,01	4,49	11,3

Известно, что вероятность  $P_i$  попадания случайной величины  $X$  в  $i$ -й интервал (в данном случае представляющая собой вероятность получения оценки по 10-бальной шкале) вычисляется по выражению

$$P_i = \int_i^{i+1} f(x) dx \quad (i=0, 1, \dots, 10). \quad (4.4)$$

В табл. 1 для сравнения приведены реальные  $m_i$  и вычисленные согласно формуле (4.4) (ожидаемые) значения  $nP_i$  количества каждой оценки группы «Б».

Предложенную методику автоматизации вычислений оценок обучаемых нетрудно совершенствовать, создав соответствующее ПО.

В четвертой главе приведено также обоснование экономической эффективности внедрения АТ.

В специализированной литературе формула окупаемости всех затрат на производство продукции имеет следующий вид:

$$T = \frac{SQ\alpha + K}{E}, \quad (4.5)$$

где  $T$  – срок окупаемости в годах;  $S$  – полная сумма затрат на научно-исследовательскую работу;  $Q$  – время от начала работы до внедрения результатов в производство;  $\alpha$  – коэффициент нарастания затрат;  $K$  – общая сумма иных затрат;  $E$  – общая сумма экономии за год.

Нами обосновано определение суммарной годовой экономии средств  $E$ , представляющей собой суммарную цену затраченных на тренажерную стрельбу боеприпасов, по формуле

$$E = \frac{4kT_3 P_6}{t_3}, \quad (4.6)$$

где  $k$  – коэффициент загрузки тренажера (обычно –  $0,8 \div 0,85$ );  $T_3$  – общая продолжительность занятий на тренажере в год, ч.;  $t_3$  – длительность одной тренировки, ч;  $P_6$  – цена одного боеприпаса, у.е.

В числителе формулы (4.6) цифра "4" введена, учитывая расход четырех снарядов на каждой виртуальной тренажерной тренировке. Вычисления показывают, что экономия составляет свыше 1000 шт. боеприпасов в год, что является исходными данными для расчета окупаемости тренажера по формуле (4.5).

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Выполненный в диссертационной работе анализ роли ствольной артиллерии в огневом поражении противника в контексте новых асимметричных войн – войн 6-го поколения позволил выработать вопросы интегрирования ствольной артиллерии в разведывательно-ударный комплекс (РУК), в основе которого лежит автоматизированная система управления (АСУ) силами и средствами огневого поражения противника [11].

2. Полученный по предложенной методике результат расчетов относительной погрешности измерений пройденного на плоскости разработанным новым датчиком на основе компьютерной мыши расстояния доказывает, что данный датчик для прецизионных промышленных применений непригоден. Обосновано его применение в других областях, где в высокой точности нет необходимости, а важно лишь регистрировать факт перемещения и его направление [2].

3. Решена важная научно-техническая задача: научно обоснованная разработка автоматизированного компьютерного тренажера "Панорама" для стрельбы прямой наводкой позволила выполнить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по системному анализу, проектированию, изготовлению опытного образца, испытанию, внедрению и исследованию эффективности его применения [1-11].

4. Разработанные и опробованные методические и технические решения могут быть использованы в проектировании схожих военно-технических систем [7, 8, 10].

5. Выявлено, что оценки обучаемых, проходящих обучение с применением традиционной учебно-материальной базы, распределены по закону, близкому к закону Гаусса. После обучения и тренировок на тренажере "Панорама" оценки обучаемых из той же самой выборки распределены по закону, схожему с зеркальным отображением закона Релея [7].

6. Созданный и защищенный двумя патентами компьютерный тренажер "Панорама" повышает эффективность процесса обучения личного состава (общий рост средней оценки тренируемых составил около 24%), а также благодаря адекватности сенсорно-моторного поля формирует у личного состава навыки и рефлекс, необходимые для работы с реальным вооружением, что дает основание заключить, что кроме учебной, тренажер "Панорама" имеет также рефлекторную значимость [1, 7].

7. Предложенная на основе методов математической статистики методика автоматизации вычислений оценок обучаемых позволяет создать соответствующее программное обеспечение [7].

8. Изготовленный тренажер по итогам практического применения дает реальный экономический эффект за счет экономии боеприпасов (более чем 1000 снарядов в год) и снижения затрат на обучение и тренировку.

### Рекомендуется

1. Внести изменения в курс подготовки артиллерии, перейдя к 10-балльной системе оценивания с обязательным учетом времени выполнения огневой задачи.

2. Для достижения максимальной адекватности тренажера дальнейшие работы необходимо направить на усовершенствование ПО с применением 3D-графики.

### Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах

1. Гаспарян Р.С., Хачатрян Г.Г. Патент № 2520А РА. Стрелковый тренажер. Авторское свидетельство на изобретение. Зарегистрировано 25.05.2011 г.

2. Гаспарян Р.С., Ханоян В.Е, **Хачатрян Г.Г.** Артиллерийский тренажер для стрельбы прямой наводкой // "Айкакан Банак". – 2012. – № 3(73). – С. 103-108.
3. **Хачатрян Г.Г.** Применение компьютерной оптической мыши в качестве датчика перемещения на плоскости // Вестник ГИУА. Серия "Информационные технологии, электроника, радиотехника". – 2013. – Вып. 16, №. 2. – С. 42-49.
4. **Хачатрян Г.Г.** Патент № 346U РА. Датчик линейного перемещения. Полезная модель. Зарегистрировано 29.01.2014 г.
5. **Хачатрян Г.Г.** Математическое моделирование и программное обеспечение функционирования тренажера ствольной артиллерии // Вестник ГИУА. Серия "Информационные технологии, электроника, радиотехника". – 2014. – Вып. 17, № 2. – С. 22-29.
6. **Хачатрян Г.Г.,** Гаспарян Р. С. Исследование вероятностных процессов задачи 2а // Вестник НПУА: Сборник научных статей. – Ч.1. Ереван 2016. – С. 215-221.
7. **Хачатрян Г.Г.** Математическое моделирование стохастических процессов стрельбы из противотанковых систем // Вестник ИАА. – 2018. – Т.15, № 1. – С. 165-170.
8. **Хачатрян Г.Г.** К вопросу компьютерного тренажерного обучения // Вестник НПУА: Сборник научных статей. – Ч.1. Ереван 2020. – С. 127-136.
9. **Хачатрян Г.Г.,** Симонян С. О. Исследование эффективности обучения и тренировки на компьютерном тренажере // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН. Т. LXXIII, № 2. – 2020. – С. 196-204.
10. **Хачатрян Г.Г.,** Симонян С.О., Верлинский С.В. Применение SolidWorks и Ansys в исследовании напряженно-деформированного состояния конструкций // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН. Т. LXXIV, № 2. – 2021. – С. 210-220.
11. **Хачатрян Г.Г.** Некоторые вопросы применения АСУ в артиллерии и перспективы ее развития // Вестник НПУА. Серия "Информационные технологии, электроника, радиотехника". – 2021. – № 1. – С. 7-15.

**ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ ՀՐԱՉՑԱ ԳՈՒՐԳԵՆԻ  
ՈՒՂԻՂ ՆՇԱՆԱՌՈՒԹՅԱՄԲ ՀՐԱՉԳՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉՈՒՄԻ  
ԱՎՏՈՄՍՏԱՑՎԱԾ ՎԱՐԺԱՍԱՐՔԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

**Աշխատանքի գիտական նորույթը**

- Advanced Grapher և SciDAVis կիրառական ծրագրերի մաթեմատիկական փաթեթների օգտագործմամբ ավտոմատացվել է T-12 (MT-12), D-20, D-30, D-44 փողային հրետանու համակարգերի համար հրաձգության հավելումների անալիտիկ հարաբերակցությունների ստացումը:
- SolidWorks, Ansys, Proteus ԱՆՀ-րի և MathLab, MathCAD, Wolfram Mathematica կիրառական ծրագրերի կիրառմամբ անցկացվել են տեսական և գործնական հետազոտություններ, որոնք հիմք են հանդիսացել ՀՀ № 2520U գյուտի և ՀՀ № 346U օգտակար մոդելի հեղինակային վկայականներով պաշտպանված տեխնիկական լուծումների և կառուցվածքային մշակումների համար:
- Առաջարկվել է ՀՊԴ-2012 2ա խնդրի (շարժվող նշանակետերի խոցում ուղիղ նշանառությամբ հրաձգության դեպքում) մաթեմատիկական ստոխաստիկ մոդելը և գտնվել է նրա անալիտիկ լուծումը:
- Առաջարկվել է ժամանակակից տանկի կրակային խոցման մաթեմատիկական ստոխաստիկ մոդել և AnyLogic նմանակային մոդելավորման ծրագրային ապահովման նորագույն տարբերակի կիրառմամբ ավտոմատացվել է նրա թվային լուծումը: Մոդել-

լավորվել է ժամանակի ընթացքում կրակային խոցման գործընթացի համակարգային դինամիկան և կատարվել է ստացված արդյունքների վերլուծություն:

5. Համակարգչային վարժասարքի գործառնության առաջարկված հայեցակարգային մոդելի և համապատասխան դետերմինացված մաթեմատիկական մոդելի մշակման հիման վրա մշակվել է "Պանորամա" համակարգչային վարժասարքը, որի միջոցով ավտոմատացվել են ուղիղ նշանառությամբ հրաձգության հավելումների հաշվարկները:

6. Վարժասարքային ուսուցման արդյունավետության որոշման գիտափորձերի արդյունքների վիճակագրական մշակման ընթացքում պարզվել է, որ ուսուցանվողների գնահատականների բաշխման օրենքը, որը լավագույնս նկարագրում է փորձարարական տվյալների համապատասխանությունը հիպոթետիկ բաշխմանը, նման է Ռեյլեյի բաշխման հայելային արտապատկերմանը:

7. Պարզվել է նաև, որ "Պանորամա" համակարգչային վարժասարքը բարձրացնում է անձնակազմի ուսուցման և մարզման գործընթացների արդյունավետությունը (մարզվողների միջին գնահատման ընդհանուր աճը կազմել է շուրջ 24%):

### **Աշխատանքի հիմնական եզրահանգումներն ու արդյունքները**

1. Ստենախոսական աշխատանքում կատարված նոր անհամաչափ (ասիմետրիկ) պատերազմների՝ 6-րդ սերնդի պատերազմների համատեքստում հակառակորդի կրակային խոցման մեջ փողային հրետանու դերի վերլուծությունը թույլ տվեց մշակել փողային հրետանու ինտեգրման հարցերը միասնական հետախուզական-հարվածային համալիրի մեջ, որի հիմքում ընկած է հակառակորդի կրակային խոցման ուժերի և միջոցների ավտոմատացված կառավարման համակարգը:

2. Համակարգչային մկնիկի հիման վրա մշակված նոր տվյալի միջոցով հարթության վրա անցած ճանապարհի առաջարկվող մեթոդիկայով չափումների հարաբերական սխալանքի հաշվարկների արդյունքն ապացուցում է, որ տվյալ տվյալ ճշգրիտ արդյունաբերական կիրառումների համար պիտանի չէ: Հիմնավորված է դրա կիրառումը այլ ոլորտներում, որտեղ բարձր ճշգրտության կարիք չկա, այլ կարևոր է միայն արձանագրել տեղաշարժի փաստը և դրա ուղղությունը:

3. Լուծվել է գիտատեխնիկական կարևոր խնդիր՝ գիտականորեն հիմնավորված ուղիղ նշանառությամբ հրաձգության "Պանորամա" ավտոմատացված համակարգչային վարժասարքի մշակումը թույլ է տվել կատարել համակարգային վերլուծության, նախագծման, փորձանմուշի պատրաստման, փորձարկման, ներդրման և դրա կիրառման արդյունավետության հետազոտման գիտահետազոտական ու փորձարարական-ստրուկտուրական աշխատանքներ:

4. Ավտոմատացված համակարգերի լայն օգտագործմամբ մշակված և փորձարկված մեթոդական և տեխնիկական լուծումները կարող են կիրառվել նման ռազմատեխնիկական համակարգերի նախագծման մեջ:

5. Պարզվել է, որ ուսուցանվողների գնահատականները, որոնք ուսուցում են անցնում ավանդական ուսումնանյութական բազայի միջոցով, բաշխվել են Գաուսի օրենքին մոտ օրենքով: Ցույց է տրվել, որ "Պանորամա" վարժասարքով ուսուցանվելուց և մարզվելուց հետո նույն ընտրանքից ուսուցանվողների գնահատականները բաշխված են Ռեյլեյի օրենքի հայելային արտապատկերմանը նման օրենքով:

6. Ստեղծված և հեղինակային երկու արտոնագրերով պաշտպանված "Պանորամա" ավտոմատացված համակարգչային վարժասարքը բարձրացնում է անձնակազմի ուսուցանման գործընթացի արդյունավետությունը (մարզվողների միջին գնահատա-

կանի ընդհանուր աճը կազմել է մոտ 24%), ինչպես նաև զգայարանային-շարժողական դաշտի համարժեքության շնորհիվ անձնակազմի մոտ ձևավորում է իրական սպառազինության հետ աշխատելու համար անհրաժեշտ հմտություններ և ռեֆլեքսներ, ինչը հիմք է տալիս եզրակացնելու, որ բացի ուսումնական նշանակությունից, "Պանորամա" վարժասարքն ունի նաև ռեֆլեկտորային նշանակություն:

7. Մաթեմատիկական վիճակագրության մեթոդների հիման վրա ուսուցման գնահատականների հաշվարկների ավտոմատացման առաջարկված մեթոդիկան թույլ է տալիս ստեղծել համապատասխան ծրագրային ապահովում:

8. Պատրաստված վարժասարքը գործնական կիրառման արդյունքում տալիս է իրական տնտեսական էֆեկտ՝ զինամթերքի խնայողության (տարեկան ավելի քան 1000 արկ) և ուսուցման ու մարզման ծախսերի նվազեցման հաշվին:

### **Առաջարկվում է**

1. Համապատասխան փոփոխություններ կատարել հրետանու պատրաստության դասընթացում՝ անցնելով գնահատման 10 բալանոց համակարգի և հաշվի առնելով կրակային խնդրի կատարման ժամանակը:

2. Վարժասարքի առավելագույն համարժեքության համար հետագա աշխատանքներն ուղղել ծրագրային ապահովման կատարելագործման վրա՝ կիրառելով 3D գրաֆիկա:

## **HRACHYA GURGEN KHACHATRYAN DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED COMPUTER SIMULATOR FOR DIRECT-FIRE SHOOTING**

### **The scientific novelty of the work**

1. Using Advanced Grapher and SciDAVis mathematical packages of applied software, obtaining analytical ratios of firing corrections for T-12 (MT-12), D-20, D-30, D-44 barrel artillery systems has been automated.

2. With the use of CAD/CAE SolidWorks, Ansys, Proteus and applied software packages MathLab, MathCAD, Wolfram Mathematica theoretical and practical studies were carried out that served as a basis for technical solutions and design developments protected by patent for the invention № 2520A and a utility model № 346U.

3. A stochastic mathematical model of task 2a of the Artillery Training Course ATC-2012 (hitting the moving targets with direct fire) is proposed and its analytical solution is found.

4. A stochastic mathematical model of the fire hitting of a modern tank is proposed and using the latest version of the AnyLogic imitation modelling software, its numerical solution is automated. The system dynamics of the fire hitting process over time was simulated, and the results were analyzed.

5. On the basis of the proposed conceptual model of functioning of the computer simulator and based on the development of an appropriate deterministic mathematical model, the computer simulator "Panorama" is developed with the help of which calculations of corrections for direct fire are automated.

6. In the course of statistical processing of the results of experiments to determine the effectiveness of simulator training, it is revealed that the law of distribution of the students' scores, which best describes the correspondence of experimental data to a hypothetical distribution, is similar to the mirror image of the Rayleigh distribution.

7. It is also revealed that the computer simulator "Panorama" increases the effectiveness of the training process of personnel (the overall increase in the average assessment of trainees was about 24%).

### **The main results and conclusions**

1. The analysis of the role of barrel artillery in the fire defeat of the enemy in the context of new asymmetric - 6th generation warfare carried out in the dissertation work, allowed to elaborate issues of integration barrel artillery into the reconnaissance and strike complex (RSC), which is based on an automated control system of the forces and means of fire defeat of the enemy [11].

2. The result obtained by the proposed method of calculating the relative measurement error of the distance, traveled on the surface by the developed new sensor based on a computer mouse proves that this sensor is unsuitable for precision industrial applications. Its application is justified in other areas where high accuracy is not necessary, but it is only important to register the fact of movement and its direction [2].

3. An important scientific and technical task has been solved: the scientifically based development of an automated computer simulator "Panorama" for direct-fire shooting allowed to perform research and development work on the system analysis, design, production of a prototype, testing, implementation and research of the effectiveness of its application [1-11].

4. The developed and tested methodological and technical solutions with a wide application of automation systems can be used in the design of similar military-technical systems [7, 8, 10].

5. It is revealed that the assessments of trainees who are trained using the traditional educational and material base are distributed according to a law close to the Gauss law. After studying and training on the "Panorama" simulator, the scores of trainees from the same sample are distributed according to a law similar to the mirror reflection of Rayleigh's law [7].

6. The "Panorama" computer simulator, created and protected by two patents increases the efficiency of the personnel training process (the overall increase in the average score of the trainees was about 24%), and also, due to the adequacy of the sensory-motor field, it forms the skills and reflexes necessary for working with real equipment, which allows to conclude that in addition to the training, the "Panorama" simulator also has a reflex significance [1, 7].

7. The method of automating the calculations of students' grades proposed on the basis of mathematical statistics methods allows creating the appropriate software [7].

8. The manufactured simulator, based on the results of practical application, gives a real economic effect by saving ammunition (more than 1000 shells per year) and reducing the cost of studying and training.

#### **It is recommended**

1. To make changes in the artillery training course by switching to a 10-point assessment system with mandatory consideration of the time of completion of the firing task.

2. To achieve the maximum adequacy of the simulator, further work should be directed to improving the software with the use of 3D graphics.