

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт математики, физики и информационных технологий
Кафедра «Прикладная математика и информатика»

09.03.03 ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА

ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Программный комплекс для изучения баллистических
возможностей выстрелов с разделением заряда на две части»

Студент	П.В. Смирнова	_____
Руководитель	А.И. Сафронов	_____
Консультант по аннотации	Н.В. Яценко	_____

Допустить к защите
Заведующий кафедрой к.тех.н., доцент, А.В. Очеповский _____

« _____ » _____ 20__ г.

Тольятти 2017

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу автоматизации процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части, для наглядного отображения результатов исследования.

Структура работы представлена введением, тремя главами, заключением и списком литературы.

Во введении определены актуальность темы, цели и задачи, поставленные в работе, а также объект и предмет исследования.

В первой главе выполнен анализ процесса изучения баллистических возможностей в системе с разделением заряда на две части путем представления контекстной диаграммы с декомпозицией ключевых бизнес-процессов. Рассмотрена физико-математическая модель. Проведенный анализ позволил сформулировать основные требования к разрабатываемому программному комплексу.

Во второй главе осуществлено проектирование программного комплекса для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части с использованием объектно-ориентированного подхода.

В третьей главе обоснован выбор средств реализации программного комплекса, описан реализованный программный продукт и приведено обоснование целесообразности применения программного комплекса для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

В заключении представлены результаты и выводы о выполненной работе.

Результатом ВКР будет программный комплекс для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части для более корректных и эффективных расчетов.

В работе представлено 12 таблиц, 27 рисунков, список использованной литературы содержит 27 источников. Общий объем выпускной квалификационной работы составляет 68 страниц.

ABSTRACT

The title of the graduation work is «Automation Of The Process Of Studying The Ballistic Capabilities Of Shots With Charge, Which Divides Into Two Parts».

The aim of the work is to develop a software complex for studying the ballistic capabilities of shots with charge, which divides into two parts.

The object of the graduation work is high-energy processes in the internal ballistics.

The subject of the graduation work is automation of the process of studying the ballistic capabilities of shots with division of the charge into two parts.

In the first chapter, the analysis of the learning process is carried out, a contextual diagram is constructed with further decomposition of the basic processes of studying ballistic possibilities. For a more detailed presentation of the learning process, a flow diagram was constructed. A comparison was made of similar software products, on the basis of which requirements for the developed software system were formulated.

In the second chapter, the software complex was designed. The main functions that the projected software complex should perform are identified. The requirements for the program complex are set.

The third chapter describes the software implementation of the software package. The main processes are described using methodology and using flowcharts. The programming language is selected.

The result of the graduation work is a software package for a deep and comprehensive study of intraballistic processes.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1 ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗУЧЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЫСТРЕЛОВ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ЗАРЯДА НА ДВЕ ЧАСТИ	7
1.1 Физическая постановка задачи	7
1.2 Математическая постановка задачи.....	8
1.4 Концептуальное моделирование процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.....	15
1.5 Постановка задачи на разработку проекта создания программного комплекса.....	19
1.6 Разработка модели бизнес-процесса «КАК ДОЛЖНО БЫТЬ»	20
1.7 Анализ существующих разработок на предмет соответствия сформулированным требованиям	26
1.8 Моделирование программного комплекса.....	29
Глава 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЫСТРЕЛОВ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ЗАРЯДА НА ДВЕ ЧАСТИ.....	34
2.1 Выбор архитектуры программного комплекса.....	34
2.2 Моделирование программного комплекса.....	38
2.2.1 Функциональное моделирование программного комплекса	38
2.2.2 Логическое моделирование данных программного комплекса	39
2.3 Проектирование интерфейса программного комплекса	45
2.4 Проектирование базы данных программного комплекса.....	48
2.4.1 Логическое моделирование базы данных	48
2.4.2 Обоснование выбора системы управления базами данных программного комплекса	50
2.4.3 Физическое моделирование базы данных программного комплекса ..	51
Глава 3 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЫСТРЕЛОВ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ЗАРЯДА НА ДВЕ ЧАСТИ	53
3.1 Выбор технологии разработки программного обеспечения	53
3.2 Описание основного принципа работы программного комплекса.....	55

3.3 Описание реализации	58
3.3.1 Описание входной информации	58
3.3.2 Описание выходной информации	60
3.4 Тестирование программного продукта	61
3.5 Оценка экономической эффективности разработки программного комплекса	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	66
ПРИЛОЖЕНИЕ А Фрагмент программного кода модуля вычисления параметров	70

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время высокоэнергетические процессы и установки, которые используют энергию взрывчатых веществ, достаточно широко применяются в промышленности. В том числе, они нашли применение в различных отраслях горнодобывающей, металлообрабатывающей, оборонной, авиационной и строительной промышленности.

Экспериментальные исследования вышеупомянутых процессов и установок важны и их, конечно, следует проводить, например, исследование выстрела из артиллерийского орудия. Однако они не дают требуемого объема информации. При экспериментальном исследовании обычно проводятся замеры параметров (например, давления) в точке или в нескольких точках, а необходимо проводить замеры во множестве точек, распределенных по всей исследуемой области. Кроме того, любой физический эксперимент требует значительных ресурсных, финансовых и временных затрат. Поэтому, в данном случае для глубокого и всестороннего исследования, например, внутрибаллистических процессов естественно привлечение методов математического моделирования и, в первую очередь, методов постановки вычислительного эксперимента – как наиболее точных и надежных расчетных методов. Сопоставляя расчетную и экспериментальную информацию можно с минимальными затратами решить поставленную задачу.

Внутрибаллистические задачи, в основном, связаны с улучшением наполнения индикаторной диаграммы давления на метаемом элементе при выстреле, в результате чего повышается скорость метаемых элементов. Пути повышения дульной скорости снарядов, базирующиеся на неклассических схемах, основаны как на вводе энергии в заснарядное пространство, так и на перераспределении энергии порохового заряда. Экспериментальная отработка таких схем требует больших временных и материальных ресурсов.

Математическое моделирование этих процессов помогает вскрывать основные закономерности функционирования как новых, так и классических схем метания, формулировать требования к конструкции и рабочим телам для

получения необходимого эффекта и, таким образом, ограничивать область рассматриваемых решений.

В связи с этим актуальным и необходимым становится разработка адекватных моделей систем реализующих высокоэнергетические процессы с целью повышения выходных характеристик и их компьютерное моделирование.

Цель исследования: разработать программный комплекс для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

Объект исследования: высокоэнергетические процессы во внутренней баллистике.

Предмет исследования: автоматизация процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

Исходя из цели исследования, необходимо решить следующие **задачи:**

- произвести поиск и анализ учебной и учебно-методической литературы по проблеме построения программных комплексов;
- исследовать баллистическую систему с разделением заряда на две части;
- проанализировать процесс изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части;
- выполнить концептуальное моделирование предметной области;
- написать техническое задание;
- проанализировать существующие аналоги программного продукта;
- разработать модель бизнес-процесса;
- обосновать средства реализации программного комплекса;
- определить архитектуру программного комплекса;
- спроектировать интерфейс программного комплекса;
- разработать функциональную и организационную структуру программного комплекса;
- реализовать программный комплекс для изучения баллистических возможностей;

- протестировать работоспособность программного комплекса.

Для решения поставленных задач были использованы следующие **методы исследования**: изучение физико-математической модели, CASE-технологии, UML, DFD, IDEF0, IDEF1X, ER-моделирование.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и приложения.

Во введении обосновывается актуальность темы, определяются объект, предмет и цель бакалаврской работы, а также перечисляются задачи, которые надо решить для ее достижения.

В первой главе проведен анализ процесса изучения, построена контекстная диаграмма с дальнейшей декомпозицией основных процессов изучения баллистических возможностей с разделением заряда на две части. Для более подробного представления процесса изучения была построена диаграмма потоков данных. Было произведено сравнение подобных программных продуктов, на основе которого были сформулированы требования к разрабатываемому программному комплексу.

Во второй главе выделены основные функции, которые должен выполнять проектируемый программный комплекс. Поставлены требования к программному комплексу, а также произведен сравнительный анализ систем управления базами данных.

В третьей главе были рассмотрены основные средства реализации программного комплекса. Описаны основные принципы работы с программным комплексом.

В заключении представлены итоги и выводы о проделанной работе.

Итогом выпускной квалификационной работы является программный комплекс для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части, позволяющий повысить качество и оперативность процесса изучения баллистических возможностей, оптимизировать затраты.

В приложение помещена часть программного кода основного модуля вычислений программного продукта.

Глава 1 ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗУЧЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЫСТРЕЛОВ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ЗАРЯДА НА ДВЕ ЧАСТИ

1.1 Физическая постановка задачи

Эстафетный принцип метания заключается в ускорении метаемого элемента (МЭ) за счет последовательного воздействия пороховых газов на поршень и МЭ. Пороховые газы, ускоряющие МЭ, образуются от сгорания отдельных частей заряда. Схемы метания, использующие данный принцип, будем называть эстафетными.

С целью повышения начальной скорости МЭ предлагается разгонять камеру подгона или контейнер и воспламенить его пороховой заряд с некоторой задержкой после воспламенения основного заряда.

Установка работает следующим образом. В начальный момент времени от капсюля-воспламенителя воспламеняется основной заряд. При достижении давления форсирования поршень, дополнительный или контейнерный заряд и МЭ приходят в движение. Дополнительный заряд воспламеняется горячими продуктами горения основного заряда через определенное время задержки зажигания. Для более равномерного и стабильного воспламенения заряда контейнера используется воспламенительное устройство, выполненное в виде перфорированной трубки, жестко прикрепленной к поршню и имеющей общую ось с отверстием в поршне. Время задержки зажигания заряда контейнера регулируется диаметром отверстия в поршне, количеством и диаметрами отверстий в перфорированной трубке.

До момента воспламенения дополнительного заряда энергия порохового газа основного заряда преобразуется главным образом в кинетическую энергию контейнера, что, в конечном счете, увеличивает переносную скорость метающего газа. После воспламенения подвижного заряда и придания МЭ ускорения под действием силы давления порохового газа, большего, чем

ускорение поршня, движущегося под действием разности давлений газов основного и дополнительного зарядов, МЭ отделяется от контейнера и начинает самостоятельное движение по каналу ствола. Поршень будет продолжать свое движение по каналу с замедлением, испытывая возрастающее сопротивление движению из-за увеличивающегося давления газов, образующихся при горении заряда контейнера.

Благодаря такой схеме зажигания повышается коэффициент полезного действия основного заряда, так как им ускоряется большая масса. Кроме того, заряд контейнера и МЭ разогнаны к моменту зажигания до высокой скорости, и энергия дополнительного заряда после зажигания передается в основном МЭ, так как работа пороховых газов дополнительного заряда, затрачиваемая на перемещение поршня, мала из-за большого сопротивления уже разогнанной массы газов, прилегающих к поршню со стороны основного заряда.

Из сравнения с классическим способом разгона можно ожидать повышения скорости МЭ за счет перераспределения энергии пороховых зарядов.

1.2 Математическая постановка задачи

Опишем математически процесс работы систем эстафетной схемы выстрела на основе модели газопороховой смеси в соответствии с физической постановкой задачи, данной в пункте 1.1. Для удобства проведения расчетов используются индивидуальные для каждой из областей системы координат (рис. 1.1).

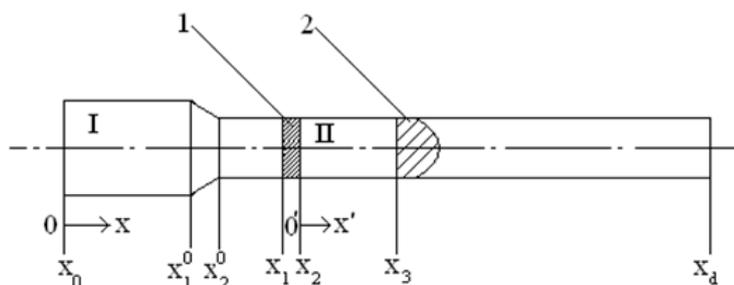


Рисунок 1.1. Расчетная схема ВЭС. 1 – поршень контейнера; 2 – метаемый элемент.

Получаемые решения стыкуются на подвижной границе между областями.

Выразим кинематические переменные в неинерциальной системе координат через переменные инерциальной системы координат. Обозначая параметры со штрихом, имеем: $x' = x - \int_0^t v d\tau - x_0$, $u' = u - v$, $t' = t$.

Получим систему уравнений (1.1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho S}{\partial t} + \frac{\partial \rho u S}{\partial x} &= 0, \\ \frac{\partial \rho u S}{\partial t} + \frac{\partial \rho u^2 S}{\partial x} + S \frac{\partial \rho}{\partial x} &= -\rho S \frac{\partial v}{\partial x}, \\ \frac{\partial \rho \varepsilon S}{\partial t} + \frac{\partial \rho \varepsilon u S}{\partial x} + p v \frac{\partial S}{\partial x} + p \frac{\partial S u}{\partial x} &= S \Pi \rho \frac{\partial \psi}{\partial t} + u \frac{\partial \psi}{\partial x}, \\ \frac{\partial \psi}{\partial t} + u \frac{\partial \psi}{\partial x} &= \frac{\chi^2 + 4\chi\lambda\psi}{I_k} p, \\ \psi &= \chi z + 1 + \lambda z, \\ \varepsilon &= \frac{p}{k-1} \frac{1}{\rho} - \frac{1-\psi}{\delta} - \alpha \psi. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Эта система уравнений используется для расчета в обеих областях. Опишем начальные и граничные условия.

1. При $t=0$, $0 \leq x \leq x_1$; $u_I = 0$, $\rho_I = \Delta_I$, $p_I = p_{\Phi I}$, $\Psi_I = \frac{\frac{1}{\Delta_I} - \frac{1}{\delta_I}}{\frac{f_I + \alpha_I - 1}{p_I} - \frac{1}{\delta_I}}$.
2. При $t=0$, $x_2 \leq x \leq x_3$; $u_{II} = 0$, $\rho_{II} = \Delta_{II}$, $p_{II} = p_{\alpha}$, $\Psi_{II} = 0$.
3. При $t=t_3$, $x_2 \leq x \leq x_3$; $u_{II} = 0$, $\rho_{II} = \Delta_{II}$, $p_{II} = p_{\beta}$, $\Psi_{II} = \frac{\frac{1}{\Delta_{II}} - \frac{1}{\delta_{II}}}{\frac{f_{II} + \alpha_{II} - 1}{p_{II}} - \frac{1}{\delta_{II}}}$.
4. При $x=0$, $t \geq 0$; $u=0$.
5. При $x=x_1$, $t \geq 0$; $\frac{du_1}{dt} = \frac{S}{Q} p_1 - \frac{f_{CB}}{S}$, если $\frac{p_1 - p_2}{Q_{\Gamma}} \geq \frac{p_3}{q}$,
 $\frac{S(p_1 - p_2)}{Q_{\Gamma}}$, если $\frac{p_1 - p_2}{Q_{\Gamma}} < \frac{p_3}{q}$.
6. При $x=x_2$, $t \geq 0$; $u_2=0$.

$$7. \text{ При } x=x_3, t \geq 0; \frac{du_3}{dt} = \begin{cases} 0, & \text{если } \frac{p_1-p_2}{Q_\Gamma} \geq \frac{p_3}{q}, \\ \frac{S(p_3-f\frac{CB}{S})}{q} - \frac{dv}{dt}, & \text{если } \frac{p_1-p_2}{Q_\Gamma} < \frac{p_3}{q}, \end{cases}$$

где u – скорость смеси, v – скорость неинерциальной системы координат связанной с поршнем, ρ – плотность, p – давление, S – площадь канала системы, ε – внутренняя энергия, Ψ – весовая доля сгоревшего пороха, z – относительная часть сгоревшего свода пороха, I_k – конечный импульс давления; α – коволюм, χ, λ – характеристики формы зерна заряда, k – показатель адиабаты, $\Pi=f/(k-1)$ – потенциал пороха, f – сила пороха, δ – плотность пороха, f_{CB} – сопротивление воздушного столба по формуле прямого скачка.

Для решения система уравнений приводится к безразмерному виду. В качестве масштабных величин выбраны: $L_{KM} = x_1, t_0 = L_{KM}/c_0,$

$$P_0 = \frac{f_I \Delta_I}{1-\alpha_I \Delta}, c_0^2 = \frac{p_0}{\Delta}, \Delta = \frac{\omega_I}{w_I}, \text{ если } \frac{\omega_I}{w_I} \geq \frac{\omega_{II}}{w_{II}},$$

$$P_0 = \frac{f_{II} \Delta_{II}}{1-\alpha_{II} \Delta} c_0^2 = \frac{p_0}{\Delta}, \Delta = \frac{\omega_{II}}{w_{II}}, \text{ если } \frac{\omega_I}{w_I} < \frac{\omega_{II}}{w_{II}}.$$

Здесь x_1 – начальная координата положения поршня; ω_I, ω_{II} – массы составов в областях; w_I, w_{II} – объёмы областей; L_{KM} – масштаб длины; t_0 – масштаб времени; p_0 – масштаб давления; c_0 – масштаб скорости.

Тогда относительные переменные примут вид: $\tau = \frac{t}{t_0}, u = \frac{u}{c_0}, x = \frac{x}{L_{KM}}, p = \frac{p}{p_0}, \rho = \frac{\rho}{\Delta}, \varepsilon = \frac{\varepsilon}{c_0^2}$. Далее знак «черта» у переменных убирается. На безразмерный характер уравнений в дальнейшем будет указывать τ .

Для простоты введем следующие замены: $\rho S = \rho, \rho u S = M, \rho \varepsilon S = \varepsilon$.

Переходя в исходной системе уравнений начальных и граничных условиях к относительным переменным, с учетом замен, получим(1.2):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial M u}{\partial x} + S \frac{\partial \rho}{\partial x} = -\rho \frac{\partial v}{\partial \tau},$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon u}{\partial x} + p \frac{\partial S u}{\partial x} &= \rho \Pi \frac{\partial \psi}{\partial \tau} + u \frac{\partial \psi}{\partial x} - p v \frac{dS}{dx}, \\ \frac{\partial \psi}{\partial \tau} + u \frac{\partial \psi}{\partial x} &= \overline{\chi^2 + 4\chi\lambda\psi A}, \\ \psi &= \chi z + \lambda z, \\ \varepsilon &= \frac{p\rho}{\theta} \frac{S}{\rho} - \frac{1-\psi}{\delta} - \alpha\psi, \end{aligned} \tag{1.2}$$

где $\theta = k-1$, $A = \frac{\Delta L_{KM} c_0}{I_k}$.

Начальные и граничные условия:

1. При $\tau=0$, $0 \leq x \leq x_1$; $u_I = 0$, $\rho_I = \Delta_I S$, $p_I = p_\Phi$, $\Psi_I = \frac{\frac{1}{\Delta_I} \frac{1}{\delta_I}}{\frac{f_I}{p_I} + \alpha_I - \frac{1}{\delta_I}}$.
2. При $\tau=0$, $x_2 \leq x \leq x_3$; $u_{II} = 0$, $\rho_{II} = \Delta_{II} S$, $p_{II} = p_\alpha$, $\Psi_{II} = 0$.
3. При $\tau = \tau_3$, $x_2 \leq x \leq x_3$; $u_{II} = 0$, $\rho_{II} = \Delta_{II} S$, $\Psi_{II} = \frac{\frac{1}{\Delta_{II}} \frac{1}{\delta_{II}}}{\frac{f_{II}}{p_{II}} + \alpha_{II} - \frac{1}{\delta_{II}}}$.
4. При $x=0$, $\tau \geq 0$; $u=0$.
5. При $x=x_1$, $\tau \geq 0$; $\frac{du_1}{d\tau} = \begin{cases} \frac{B}{Q} S p_1 - \frac{f_{CB}}{S_{KM}}, & \text{если } \frac{p_1 - p_2}{Q_\Gamma} \geq \frac{p_3}{q}, \\ \frac{B}{Q_\Gamma} (S(p_1 - p_2)), & \text{если } \frac{p_1 - p_2}{Q_\Gamma} < \frac{p_3}{q}. \end{cases}$
6. При $x=x_2$, $\tau \geq 0$; $u_2=0$.
7. При $x=x_3$, $\tau \geq 0$; $\frac{du_3}{d\tau} = \begin{cases} 0, & \text{если } \frac{p_1 - p_2}{Q_\Gamma} \geq \frac{p_3}{q}, \\ \frac{B}{q} p_3 - f \frac{CB}{S_{KM}} - \frac{dv}{d\tau}, & \text{если } \frac{p_1 - p_2}{Q_\Gamma} < \frac{p_3}{q}, \end{cases}$

где p_a, p_B, p_Φ – давление атмосферное, воспламенителя, форсирования; Q_Γ, Q – масса поршня, масса всей сборки. Величины $\frac{B}{Q}, \frac{B}{Q_\Gamma}, \frac{B}{q}$ – безразмерные.

Для численного решения поставленной задачи выбран модифицированный метод СЭЛ (совместный Эйлера-Лагранжевый метод). Введем определения:

$$\begin{aligned}
f(x_{k+1/2}, \tau_n) &= f_{k+1/2}^n, \\
g(x_k, \tau_{n+1/2}) &= g_k^{n+1/2}, \\
q(x_{k+\frac{1}{2}}, \tau_{n+\frac{1}{2}}) &= q_{k+1/2}^{n+1/2}, \\
(fu)_{k+1/2}^{n+1/2} &= \begin{cases} f_{k+1/2}^n(u)_{k+1}^{n+1/2}, & \text{если } u_{k+1}^{n+1/2} \geq 0 \\ f_{k+3/2}^n(u)_{k+1}^{n+1/2}, & \text{если } u_{k+1}^{n+1/2} < 0, \end{cases} \\
[\nabla fu]_{k+1/2}^{n+1/2} &= \frac{(fu)_{k+1}^{n+1/2} - (fu)_k^{n+1/2}}{h}, \tag{1.3}
\end{aligned}$$

С учетом введенных в 1.3 определений конечно-разностные уравнения, соответствующие уравнениям системы, принимают вид 1.4:

$$\begin{aligned}
M_{k^{n+1/2}} &= M_{k^{n-1/2}} - \tau \nabla M u_{k^{n-1/2}} + \rho_{k^{n-1/2}} * \frac{\Delta V}{\Delta \tau} \Big|_K^{N+\frac{1}{2}} - \frac{S_{K+\frac{1}{2}} + S_{K-1/2}}{2} \frac{\Delta P}{\Delta X} \Big|_K^N, \\
u_{k^{n+1/2}} &= \frac{2M_K^{n+1/2}}{\rho_{K+1/2}^n + \rho_{K-1/2}^n}, \\
\rho_{k-1/2}^{n+1} &= \rho_{k-1/2}^n - \tau \{[\nabla p u]_{k-1/2}^{n+1/2}\}, \\
\psi_{k-1/2}^{n+1} &= \psi_{k-1/2}^n - \tau u_{k^{n+1/2}} * \frac{\Delta \psi}{\Delta x} \Big|_K^n - \kappa + 2\kappa \lambda z_{k-1/2}^n P_{k-1/2}^n A, \\
z_{k-1/2}^n &= \frac{\kappa^2 + 4\kappa \lambda \psi_{k-1/2}^n - \kappa}{2\kappa \lambda}, \\
\varepsilon_{k-1/2}^{n+1} &= \varepsilon_{k-1/2}^n - \tau \left(\nabla \varepsilon u_{k-1/2}^{n-1/2} + P_{k-1/2}^{n-1/2} \nabla S u_{k-1/2}^{n+1/2} + \right. \\
&\quad \left. + P_{k-1/2}^n V_k^{n-1/2} \frac{\Delta S}{\Delta X} - \rho_{k-1/2}^n \frac{\Delta \Psi}{\Delta X} \Big|_{k-1/2}^n \right), \\
\rho_{k-1/2}^{n+1} &= \frac{\varepsilon_{k-1/2}^{n+1}}{\rho_{k-1/2}^{n+1} \frac{S_{k-1/2}}{\rho_{k-1/2}^{n+1}} - \frac{1 - \Psi_{k-1/2}^{n+1}}{\delta} - \alpha \Psi_{k-1/2}^{n+1}}, \tag{1.4}
\end{aligned}$$

Счет на границах областей представлен на формулах 1.5:

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \rho \frac{du}{dx} = 0,$$

$$\frac{dx}{d\tau} = u, M = \rho u, \psi = xz \cdot 1 + \lambda z ,$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} + \varepsilon + \rho S \frac{du}{dx} = \rho \frac{d\psi}{d\tau},$$

$$\frac{d\psi}{d\tau} = AP \cdot \kappa + 2\kappa\lambda z ,$$

$$p = \frac{\varepsilon\theta}{\rho \left(\frac{S}{\rho} - \frac{1-\psi}{\delta} - \alpha\psi \right)} . \quad (1.5)$$

Счет в разностном виде представлен на формулах 1.6:

$$x_{\Gamma}^{n+1/2} = x_{\Gamma}^{n-1/2} + \tau * (u_{\Gamma}^{n+1/2} - u_{\Gamma}^{n-1/2})/2,$$

$$x_{\Gamma}^{n+1} = x_{\Gamma}^n + \tau * u_{\Gamma}^{n+1/2},$$

$$\rho_{\Gamma}^{n+1} = \rho_{\Gamma}^n - \tau * \rho_{\Gamma}^n * \frac{u_{\Gamma}^{n+1/2} - u_K^{n-1/2}}{x_{\Gamma}^{n+1/2} - x_K^{n+1/2}},$$

$$M_{\Gamma}^{n+\frac{1}{2}} = u_{\Gamma}^{n+\frac{1}{2}} * \rho_{\Gamma}^{n+1},$$

$$z_{\Gamma}^n = \frac{\kappa^2 + 4\kappa\lambda\psi_{\Gamma}^n - \kappa}{2\kappa\lambda},$$

$$\varepsilon_{\Gamma}^{n+1} = \varepsilon_{\Gamma}^n - \tau * \left(\varepsilon_{\Gamma}^n + S * P_{\Gamma}^n \frac{u_{\Gamma}^{n+1/2} - u_K^{n+1/2}}{x_{\Gamma}^{n+1/2} - x_K^{n+1/2}} - \rho_{\Gamma}^n * \kappa + 2\kappa\lambda z_{\Gamma}^n \right) ,$$

$$\psi_{\Gamma}^{n+1} = \psi_{\Gamma}^n + \tau * \left(\kappa + 2\kappa\lambda z_{\Gamma}^n * P_{\Gamma}^n * A \right),$$

$$P_{\Gamma}^{n+1} = \frac{\varepsilon_{\Gamma}^{n+1} * \vartheta}{\rho_{\Gamma}^{n+1} \left(\frac{S_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}^{n+1}} - \frac{1 - \psi_{\Gamma}^{n+1}}{\delta} - \alpha * \psi_{\Gamma}^{n+1} \right)} .$$

(1.6)

Уравнения движения выписываются для каждой границы отдельно с учетом соответствующих граничных условий (1.7) в разностном виде. На правой границе 1-й области ($x = x_l$),

$$u_1^{n+1/2} = u_1^{n-1/2} + \tau * \begin{cases} \frac{B}{Q} S \rho_1^n - \frac{f_{CB}}{S_K}, & \text{если } \frac{p_1^n - p_2^n}{Q_\Gamma} \geq \frac{p_3^n}{q}, \\ \frac{B}{Q_\Gamma} S p_1^n - p_2^n, & \text{если } \frac{p_1^n - p_2^n}{Q_\Gamma} < \frac{p_3^n}{q}; \end{cases} \quad (1.7)$$

На левой границе II-й области ($x = x_2$) $u_2^{n+1/2} = 0$. На правой границе II-й области ($x = x_3$)(1.8):

$$u_3^{n+\frac{1}{2}} = u_3^{n-\frac{1}{2}} + \tau * \begin{cases} 0, & \text{если } \frac{p_1^n - p_2^n}{Q_\Gamma} \geq \frac{p_3^n}{q}, \\ \frac{B}{q} S p_3^n - \frac{f_{CB}}{S_K} - \frac{dV^n}{d\tau}, & \text{если } \frac{p_1^n - p_2^n}{Q_\Gamma} < \frac{p_3^n}{q}; \end{cases}$$

$$f_{CB}^n = p_{BH} + \frac{\rho_{BH}(k_B + 1)}{2} * (u_\Gamma^n)^2. \quad (1.8)$$

Параметры газопороховой смеси в точках $x_{k+1}^{n+1/2}$ и $x_{k+3/2}^{n+1}$ находятся линейной интерполяцией между точками $x_k^{n+1/2}$ и $x_\Gamma^{n+1/2}$, $x_{k+1/2}^{n+1}$ и x_Γ^{n+1} , соответственно (1.9).

$$u_{K+1}^{n+1/2} = u_K^{n+1/2} + \frac{x_{K+1}^{n+1/2} - x_K^{n+1/2}}{x_\Gamma^{n+1/2} - x_K^{n+1/2}} u_\Gamma^{n+1/2} - u_K^{n+1/2},$$

$$P_{K+3/2}^{n+1} = P_{K+1/2}^{n+1} + \frac{x_{K+1}^{n+1/2} - x_K^{n+1/2}}{x_\Gamma^{n+1/2} - x_K^{n+1/2}} P_\Gamma^{n+1/2} - P_{K+1/2}^{n+1} \quad (1.9)$$

и т.д.

Рассмотрим порядок вычислений:

1. Вычисляются параметры газопороховой смеси во внутренних точках на $n+1/2$ слое по времени $u_2^{n+1/2} = 0, u_2^{n+1/2} = 0$.
2. Вычисляются значения $u_2^{n+1/2} = 0, u_2^{n+1/2} = 0$ на правой границе I-ой области и проводится интерполяция в приграничных точках.
3. Находятся параметры газопороховой смеси во внутренних точках I-ой области на $n+1$ слое по времени $\rho_{k-1/2}^{n+1}, z_{k-1/2}^{n+1}, \Psi_{k-1/2}^{n+1}, P_{k-1/2}^{n+1}, \varepsilon_{k-1/2}^{n+1}$.

4. Вычисляются значения этих параметров на правой границе и проводится интерполяция в приграничные точки. Специальных вычислений на левых границах I-ой и II-ой областей не требуется $u_0^{n+1/2} = M_0^{n+1/2} = 0$.

5. Начиная с момента времени $\tau = \tau_3$ проводятся вычисления параметров газопороховой смеси во II-ой области в порядке, аналогичном для первой области.

Для того чтобы показать корректность используемой схемы сравним подходы к решению прямой задачи внутренней баллистики подобных систем.

1.4 Концептуальное моделирование процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части

Процесс изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части – это исследование, которое проводится для повышения скорости полета пули за счет увеличения полной массы метательного заряда без превышения максимального давления пороховых газов.

В данном процессе участвует один субъект, следовательно, процессы можно рассмотреть с одной точки зрения.

Он производит ввод необходимых параметров для расчетов, после работы программы получает результат и проводит анализ полученных данных. Основной упор идет на описанную точку зрения.

Анализ бизнес-процессов изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части будет выполнен с использованием методологии структурного анализа и программных средств, которые применяются при построении различных схем и диаграмм, а также для того, чтобы наглядно представить бизнес-процессы. С помощью IDEF0-диаграммы можно получить наиболее наглядное представление о бизнес-процессе.

IDEF0 — методология графического моделирования бизнес-процессов. Она предусматривает построение диаграмм как иерархической системы:

сначала создается контекстная диаграмма, в которой описывается система в целом, потом строится диаграмма декомпозиции [14].

На рисунке 1.2 представлена контекстная диаграмма осуществления процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части, которая была выполнена в методологии структурного анализа и проектирования SADT.

На контекстной диаграмме «КАК ЕСТЬ» («AS-IS») представлен основной бизнес-процесс «Осуществить изучение баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части».

Цель моделирования представляет собой анализ осуществления процесса изучения баллистических возможностей с разделением заряда на две части.

Точка зрения: человек, проводящий исследование.

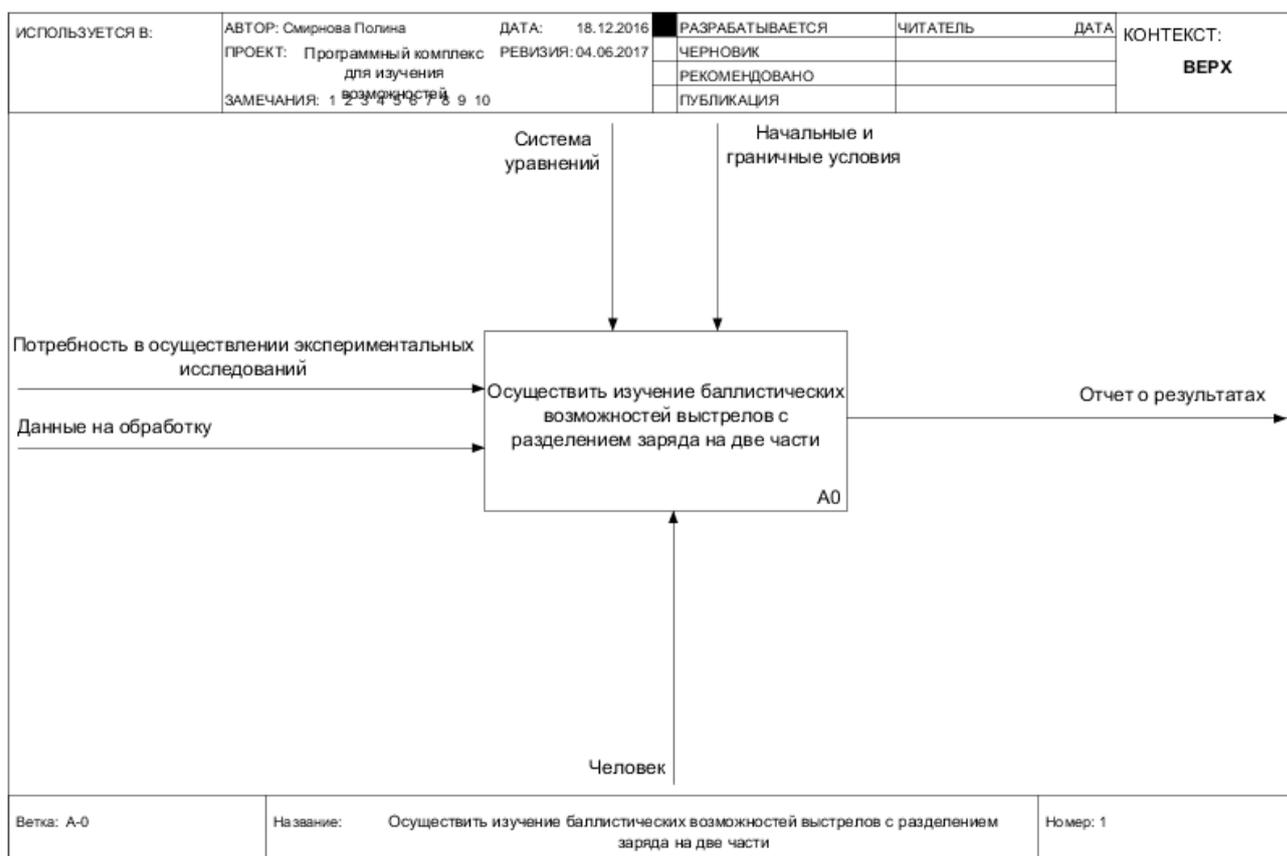


Рисунок 1.2 - Контекстная диаграмма «Изучение баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части»

На вход процесса А-0 поступают потребность в осуществлении экспериментальных исследований и данные на обработку; на выходе из процесса формируется отчет о результатах. В роли механизма выступает тот, кто будет осуществлять процесс, т.е. человек. В качестве управления используются система уравнений и начальные и граничные условия.

Для более детального описания процесса смоделируем диаграмму декомпозиций, представленную на рисунке 1.3.

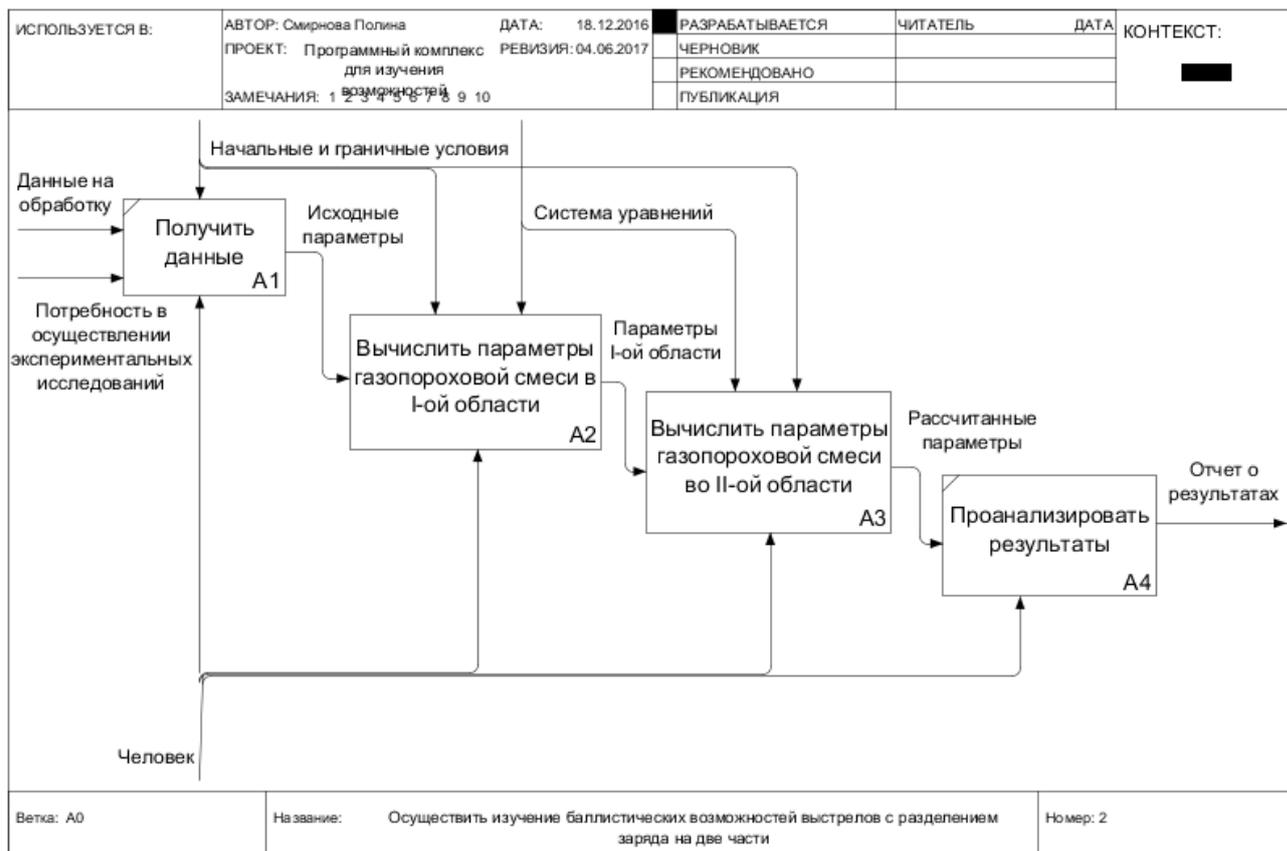


Рисунок 1.3 - Декомпозиция процесса «Изучение баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части»

Процесс: А1 – получить данные.

Входные данные: потребность в осуществлении экспериментальных исследований, данные на обработку. Выходные данные: исходные параметры.

Алгоритм выполнения: учитывая потребность в осуществлении экспериментальных исследований, а также начальные и граничные условия, происходит получение данных для проведения вычислений.

Процесс: А2 – Вычислить параметры в I-ой области.

Входные данные: исходные параметры. Выходные данные: параметры I-ой области.

Алгоритм выполнения: после получения исходных данных проводится вычисление параметров в I-ой области, при помощи которых будет выполнено вычисление параметров во II-ой области.

Процесс: А3 – Вычислить параметры в II -ой области.

Входные данные: параметры, рассчитанные в I-ой области. Выходные данные: рассчитанные параметры.

Алгоритм выполнения: после получения параметров I-ой области проводится вычисление параметров в II-ой области.

Процесс: А4 – Проанализировать результаты.

Входные данные: рассчитанные параметры. Выходные данные: отчет о результатах.

Алгоритм выполнения: после получения рассчитанных параметров проводится анализ результатов и формируется отчет.

В ходе проведенного анализа с использованием структурного моделирования было выявлено, что процесс «Изучение баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части» обладает следующими недостатками:

- 1) отсутствие автоматизированного процесса обработки исходных данных для проведения расчетов, процесс обработки данных занимает много времени и усилий;
- 2) отсутствие автоматизированного процесса вычисления параметров, процесс вычисления параметров занимает много времени и усилий;
- 3) отсутствие автоматизированного процесса формирования отчетов и вывода полученных параметров на графики.

Процесс исследования занимает большое количество времени и ресурсов. А результаты сложно проанализировать без их визуального отображения.

Для демонстрации того, как будет применяться автоматизированное решение для обозначенных проблем была предложена функциональная модель «КАК ДОЛЖНО БЫТЬ» («ТО ВЕ») – автоматизация процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

1.5 Постановка задачи на разработку проекта создания программного комплекса

Для глубокого и всестороннего исследования естественно привлечение методов моделирования и методов постановки вычислительного эксперимента – как наиболее точных и надежных расчетных методов. Пути повышения дульной скорости снарядов, базирующиеся на неклассических схемах, основаны как на вводе энергии в заснарядное пространство, так и на перераспределении энергии порохового заряда. Экспериментальная отработка таких схем требует больших временных и материальных ресурсов. Также для того чтобы проанализировать результаты исследований приходится прибегать к сторонним средствам визуализации.

Для ускорения процесса вычисления параметров и отображения результатов исследования на графиках, необходимо выполнить автоматизация процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

Автоматизация процесса поможет обнаружить основные закономерности функционирования как новых, так и классических схем метания, формулировать требования к конструкции и рабочим телам для получения необходимого эффекта и, таким образом, ограничивать область рассматриваемых решений.

Назначением программного комплекса является:

- ускорение и автоматизация процесса обработки данных;
- исключение неточностей в вычислениях;
- сокращение времени получения результатов;
- вывод результатов на график.

В проектируемом программном комплексе решаемые задачи будут реализованы соответствующим программным обеспечением, которое будет иметь возможность выполнения ряда операций: ввод необходимых данных, вычисление параметров, вывод результатов, отображение результатов на графике.

В программном комплексе будут использованы экранные формы со всеми необходимыми полями для ввода и вывода информации, а также управляющими элементами.

Источниками информации для решения поставленных задач являются геометрические параметры установок и используемых энергетических составов, термодинамические параметры энергетических составов, ограничения по процессам в баллистических системах.

Для отображения на графике будут использоваться полученные результаты вычислений.

Таким образом, программный комплекс необходим для осуществления автоматизированного процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

1.6 Разработка модели бизнес-процесса «КАК ДОЛЖНО БЫТЬ»

Модель «Как должно быть» («ТО-ВЕ») определяет будущее состояние бизнес-процесса. Цель ее построения состоит в разъяснении того, каким образом бизнес-процесс будет работать в какой-то момент в будущем, после внесения изменений.

Рассмотрим, как будет выглядеть процесс изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части, с использованием программного комплекса.

На рисунке 1.4 представлена контекстная диаграмма автоматизации изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части, выполненная в рамках методологии структурного анализа и проектирования системы SADT TO-VE, используя IDEF – технологию [7].

Цель моделирования: автоматизации изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

Точка зрения: человек, проводящий исследование.

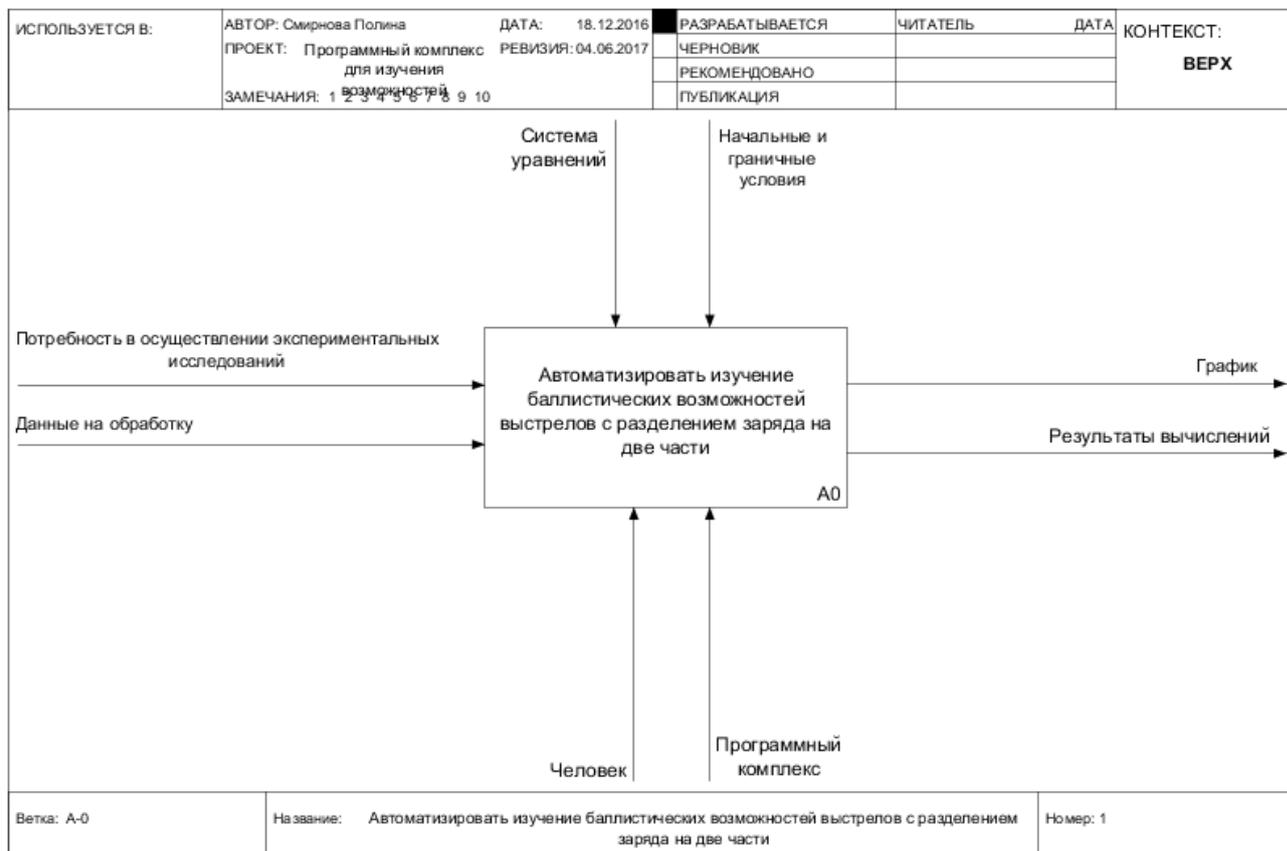


Рисунок 1.4 - Контекстная диаграмма (ТО-ВЕ) «Изучение баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части»

На вход процесса А-0, представленного на рисунке 1.4, поступают потребность в осуществлении экспериментальных исследований и данные на обработку, на выходе выводятся результаты вычислений и полученные параметры отображаются на графике. В роли механизмов выступают человек и программный комплекс. В качестве управления используются система уравнений и начальные и граничные условия.

Процесс «Автоматизации процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части» выделяет выполнение следующих процессов: «Ввести данные», «Вычислить параметры в

I-ой области», «Вычислить параметры во II-ой области» и «Отобразить на графике».

Основные бизнес-процессы с использованием программного комплекса представлены на рисунке 1.5.

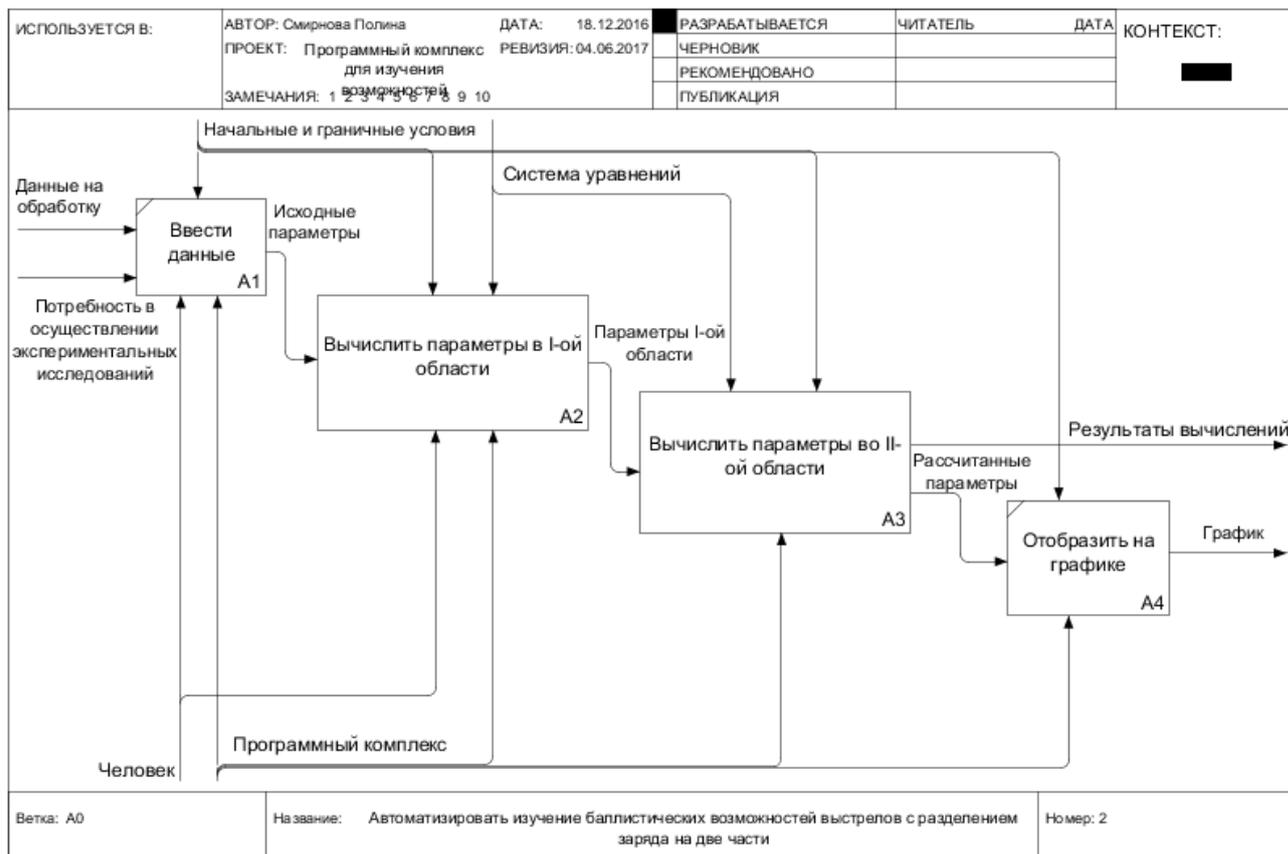


Рисунок 1.5 – Декомпозиция концептуальной модели «КАК ДОЛЖНО БЫТЬ»

Декомпозиция контекстной диаграммы, представленная на рисунке 1.5, включает в себя следующие процессы:

Процесс: A1 – Получить данные.

Входные данные: потребность в осуществлении экспериментальных исследований, данные на обработку. Выходные данные: исходные параметры.

Алгоритм выполнения: учитывая потребность в осуществлении экспериментальных исследований, а также начальные и граничные условия, происходит ввод данных в экранную форму программного комплекса для проведения вычислений.

Процесс: А2 – Вычислить параметры в I-ой области.

Входные данные: исходные параметры. Выходные данные: параметры I-ой области.

Алгоритм выполнения: после ввода исходных данных, пользователь запускает процедуру вычисления параметров в I-ой области, при помощи которых будет выполнено вычисление параметров во II-ой области.

Процесс: А3 – Вычислить параметры во II -ой области.

Входные данные: параметры I-ой области. Выходные данные: рассчитанные параметры.

Алгоритм выполнения: после получения параметров I-ой области, пользователь запускает процедуру вычисления параметров во II-ой области.

Процесс: А4 – Отобразить на графике.

Входные данные: рассчитанные параметры. Выходные данные: график.

Алгоритм выполнения: рассчитанные параметры выводятся на экран в виде графика.

На основе проведенного структурного анализа автоматизированного процесса изучения были определены основные функции, которые необходимо автоматизировать. Для более подробного описания процесса автоматизации с позиции использования возможных и необходимых хранилищ, и движения потоков данных необходимо применить методологию графического структурного анализа DFD (Data Flow Diagrams), - методологию, описывающую внешние по отношению к системе источники и адресаты данных, логические функции, потоки данных и хранилища данных, к которым осуществляется доступ [7].

На рисунке 1.6 представлена диаграмма потоков данных деятельности человека, проводящего исследование.

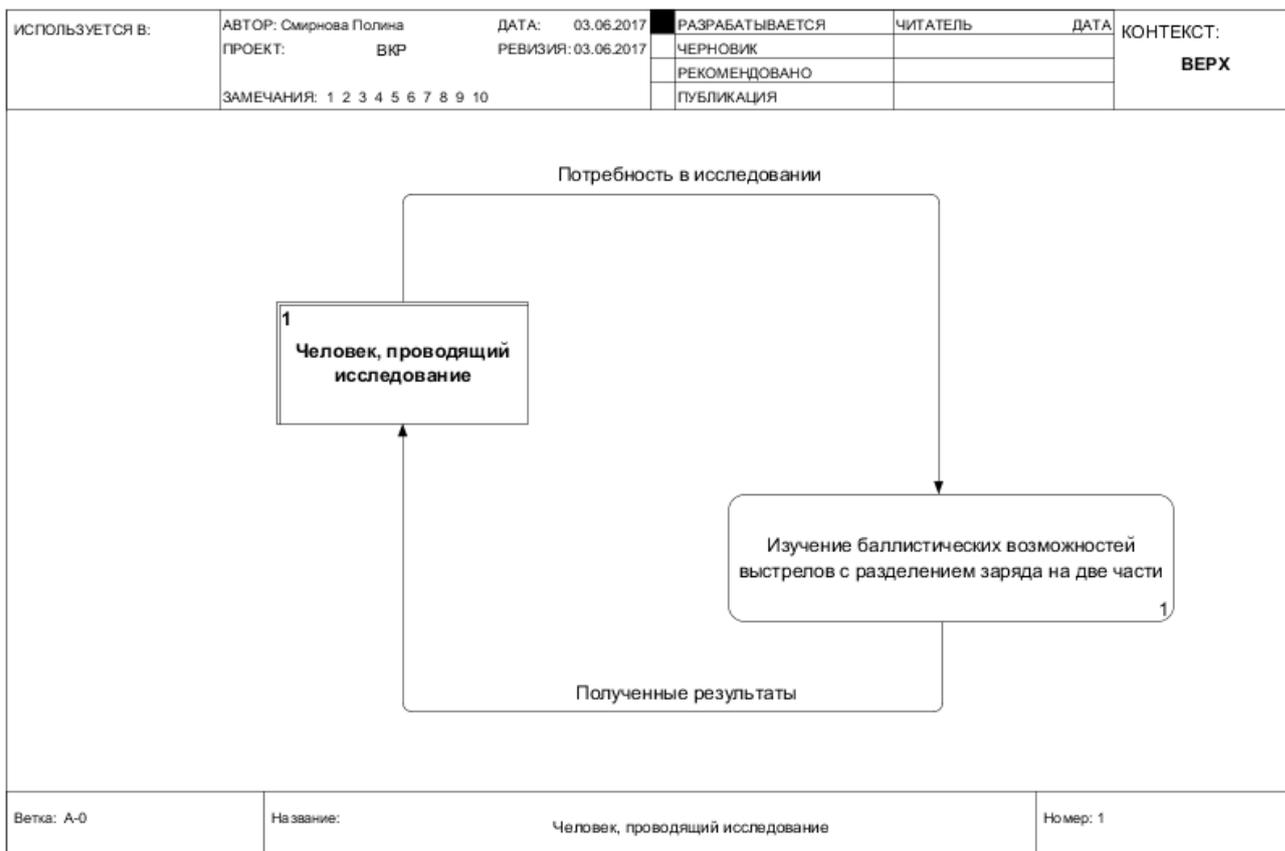


Рисунок 1.6 – Диаграмма потоков данных деятельности «человека, проводящего исследование»

На рисунке 1.7 продемонстрирована декомпозиция диаграммы потоков данных в организации изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

В продемонстрированной модели была выделена сущность «Человек, проводящий исследование» и предполагаемые хранилища данных.

Алгоритм: от внешней сущности «Человек, проводящий исследование» передается поток данных «Потребность в исследовании», которые преобразуются путем использования процесса «Ввести данные», преобразуются во входные параметры, помещаемые в «Хранилище входных данных».

Из хранилища данные передаются на процесс «Вычислить параметры в I-ой области», позволяющий преобразовать поток входных данных для последующего использования процессом «Вычислить параметры во II-ой

области», после чего данные перемещаются в хранилище выходных данных для последующей обработки данных процессом «Построить график». После чего хранятся в архиве проектов.

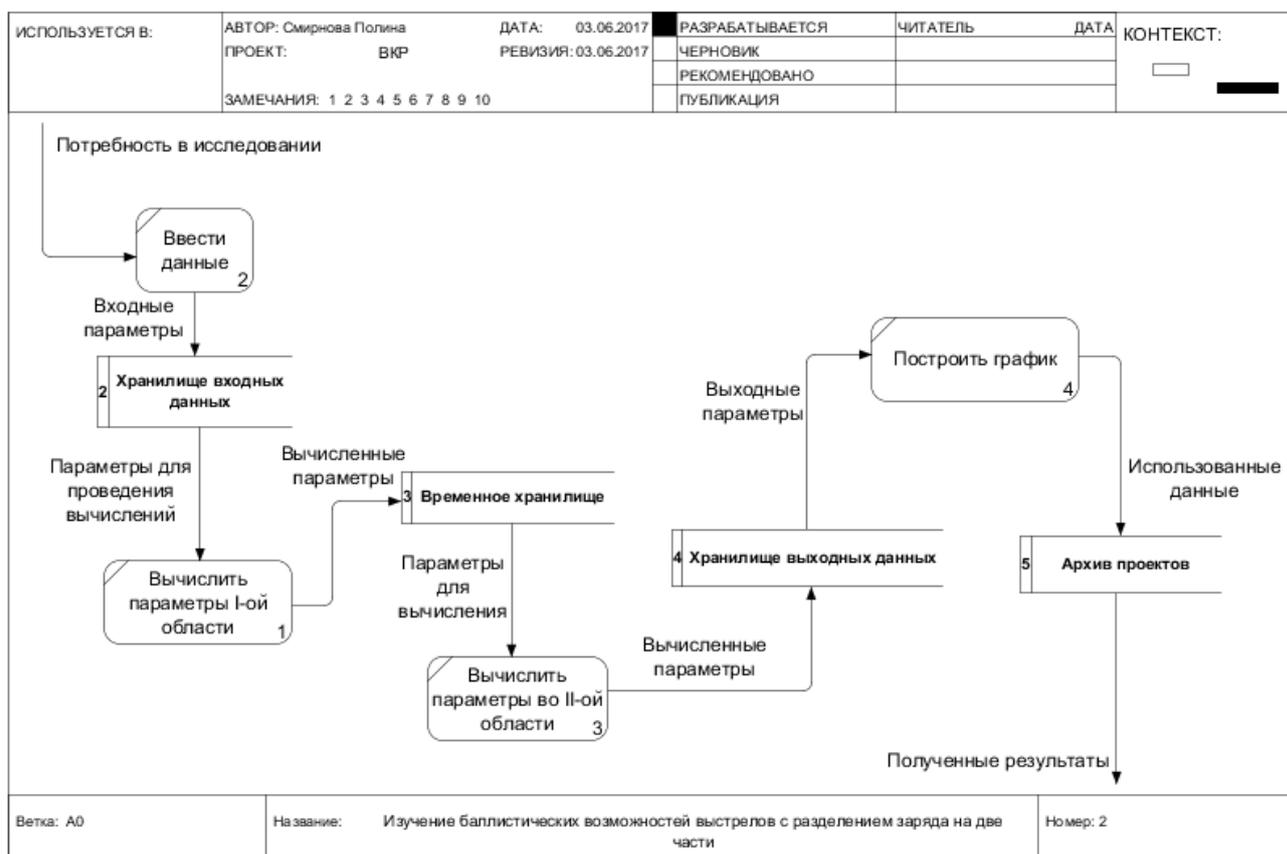


Рисунок 1.7 – Декомпозиция диаграммы потоков данных «Изучение баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части»

Таким образом, использование диаграммы потоков данных помогло более подробно описать осуществление изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части с демонстрацией основных процессов и возможных хранилищ данных.

Перейдем к анализу уже существующих программных продуктов по изучению баллистических возможностей и установим необходимость разработки программного комплекса.

1.7 Анализ существующих разработок на предмет соответствия сформулированным требованиям

Анализ наиболее известных программных продуктов, имеющих то или иное отношение к изучению баллистических возможностей, необходим для того, чтобы более точно определить дальнейшие направления проектирования, а также не повторить чужих ошибок при разработке и определить существует ли готовое решение. По итогам проведенного анализа необходимо определить целесообразность проектирования и разработки нового программного продукта в рассматриваемой предметной области.

В результате поиска, проведенного в сети Интернет, были найдены наиболее популярные программные продукты, имеющие отношение к изучению баллистических возможностей: «Стрелок», «Balfactor», «Bahing».

Стрелок, главный экран которого представлен на рисунке 1.8. — это программа, написанная на основе книги Артура Пейса «Современная практическая баллистика». Влажность воздуха и давления не присутствуют явно в формулах, а вместо них используется поправочные коэффициенты.

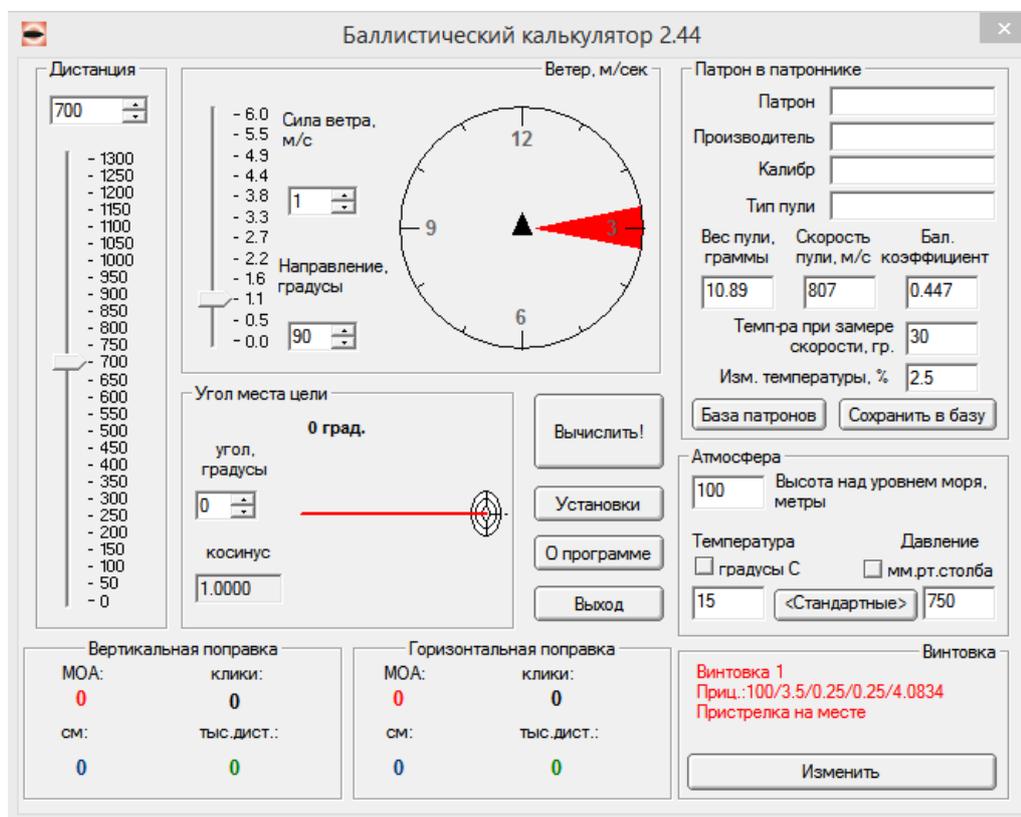


Рисунок 1.8 – Главное окно программы «Стрелок»

Преимущества данного программного продукта:

- производит проверку данных на корректность;
- элементы интерфейса имеют четкую структуру.

Единственный недостаток состоит в том, что программа не выводит результаты работы программы на график.

Balfactor, главное окно которого представлено на рисунке 1.9 — это программный продукт для нахождения баллистического коэффициента.

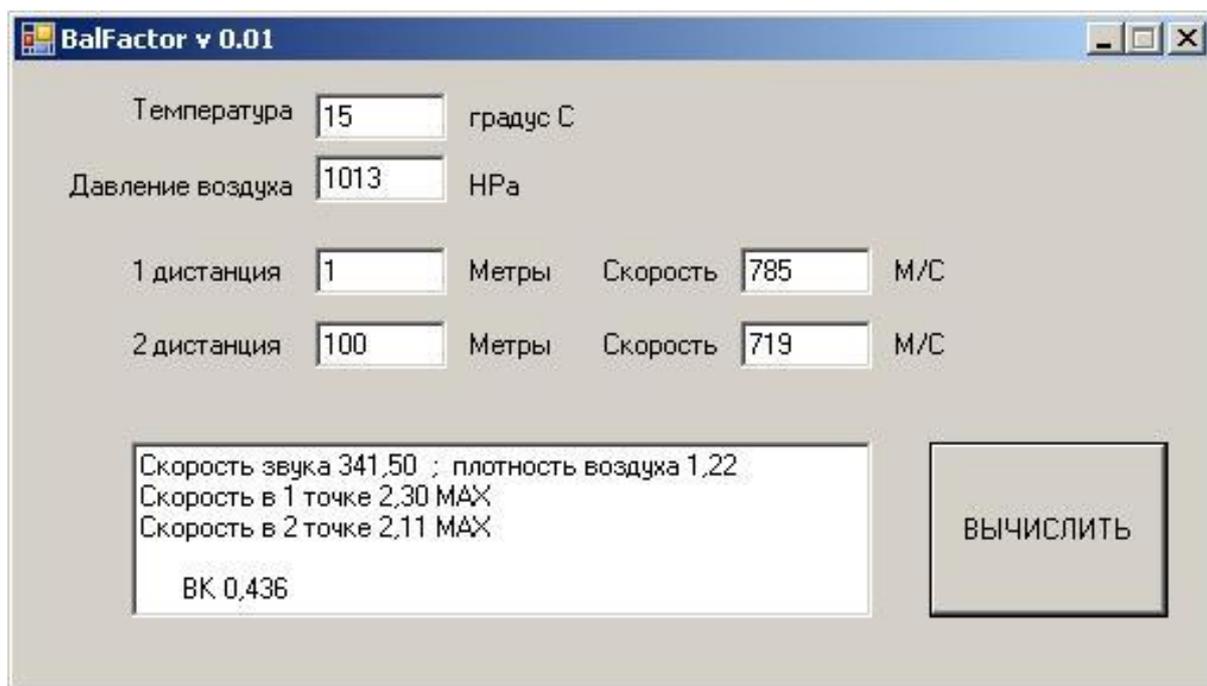


Рисунок 1.9 – Главное окно Balfactor

Его преимущества:

- контроль за неправильно введенными значениями, приводящими к зависанию;
- возможность вводить данные в любых единицах измерения;
- возможность задать стандартные значения температуры и давления.

Недостатки Balfactor:

- только одна функциональная возможность – расчет баллистического коэффициента;
- отсутствие возможности выводить результат на график;

- отсутствие справки.

Bahing, главное окно которого представлено на рисунке 1.10, является программой для моделирования правильной пристрелки винтовки.

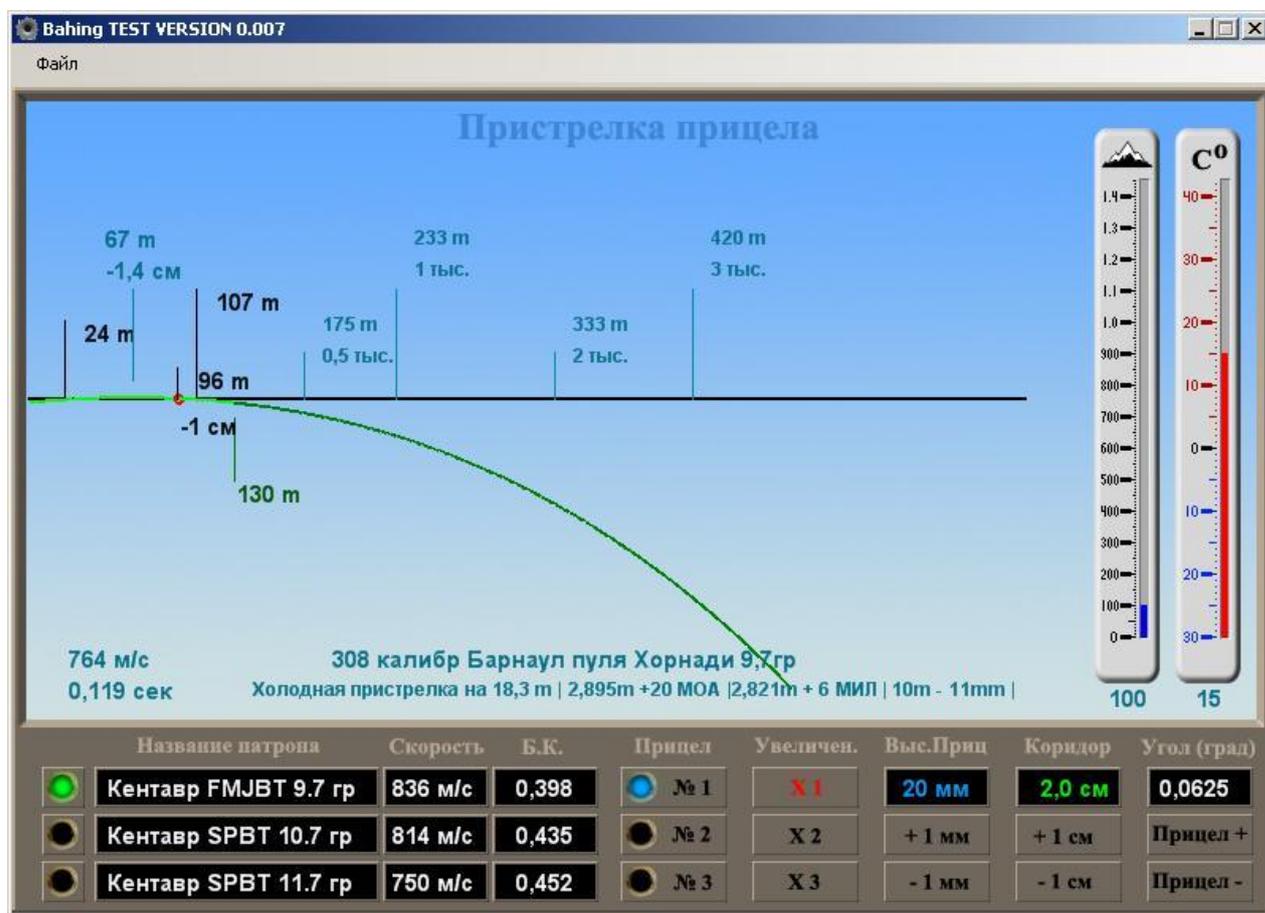


Рисунок 1.10 – Главное окно Bahing

Преимущества программного продукта:

- наглядно видно дистанции пристрелки;
- есть база данных патронов;
- возможность сделать таблицу под разные патроны, не меняя пристрелку.

Недостатки:

- для запуска программы должен быть установлен Microsoft .NET Framework 3.5;
- отсутствие справки.

Составим таблицу 1.1 для сравнения программных продуктов по баллистике по определенным критериям, которые будут учитываться при проектировании программного комплекса для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

Таблица 1.1 – Функциональные требования

Требование/Аналог	Стрелок	Balfactor	Bahing
Вводить необходимые параметры	+	+	-
Строить графики	-	-	+
Выводить результаты на экран	+	+	+
Выводить результаты на печать	-	-	+
Вычислять параметры системы с разделением заряда	-	-	-
Итого	2	2	3

Рассмотрены программные продукты, имеющие то или иное отношение к изучению баллистических возможностей. Однако ни один из них не имеет возможности рассматривать баллистическую систему с разделением заряда на две части. В ходе анализа были выявлено достоинство, которые можно использовать в программном комплексе: возможность построения графиков на основе полученных результатов;

Это необходимо учесть при разработке программного комплекса для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

1.8 Моделирование программного комплекса

Программный комплекс должен предоставить возможность вводить исходные параметры, запускать процедуру проведения расчетов, предоставить результаты в табличном виде и в виде графика и выводить их на печать.

На основании выше изложенного выделим прецеденты, представленные в таблице 1.2, которые должны быть реализованы в программном комплексе.

Таблица 1.2 - Описание прецедентов

Прецедент	Краткое описание
Ввод исходных данных	Ввод исходных параметров для проведения расчетов
Запуск процедуры проведения расчетов	Выполнение учащимся работ, выданных преподавателем
Выбрать вид просмотра результатов	Получение результатов после окончания работы расчетного алгоритма
Вывод на печать	Вывод на печать результатов в выбранном виде

Диаграмма вариантов использования для прецедентов, описанных в таблице 1.2, представлена на рисунке 1.11.

На диаграмме вариантов использования сформулированы общие требования к функционалу разрабатываемого программного комплекса.



Рисунок 1.11 – Диаграмма вариантов использования

Далее в таблицах 1.3–1.6 представлены спецификации основных прецедентов.

Таблица 1.3 - Описание прецедента

Ввод исходных данных
ID: 1
Краткое описание: Ввод исходных параметров для проведения расчетов
Главные актеры: Пользователь
Второстепенные актеры: Нет
Предусловие: Пользователь является инициатором начала прецедента
Основной поток: 1. Ввести данные
Постусловие: Введенные данные
Альтернативные потоки: Нет

Таблица 1.4 - Описание прецедента

Запуск процедуры проведения расчетов
ID: 2
Краткое описание: Запуск расчетной программы на выполнение
Главные актеры: Пользователь
Второстепенные актеры: Нет
Предусловие: Пользователь является инициатором начала прецедента
Основной поток: 2. Запустить процедуру проведения расчетов
Постусловие: Программа произвела расчеты
Альтернативные потоки: Нет

Таблица 1.5 - Описание прецедента

Просмотр результатов расчетов
ID: 3
Краткое описание: Проведения анализа полученных результатов
Главные актеры: Пользователь

Продолжение таблицы 1.5

Второстепенные актеры: Нет
Предусловие: Пользователь является инициатором начала прецедента
Основной поток: 3. Просмотреть результаты расчетов
Постусловие: Пользователю доступна выходная информация
Альтернативные потоки: Нет

Таблица 1.6 - Описание прецедента

Вывод результатов на печать
ID: 4
Краткое описание: Вывод на печать полученных результатов
Главные актеры: Пользователь
Второстепенные актеры: Нет
Предусловие: Пользователь является инициатором начала прецедента
Основной поток: 4. Вывести результаты на печать
Постусловие: Получены выходные данные
Альтернативные потоки: Нет

Таким образом, были описаны основные технологические этапы, которые необходимо реализовать для автоматизации существующего процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

Вывод по первой главе

В ходе выполнения анализа концептуальной модели бизнес-процесса осуществления изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части были выделены основные недостатки существующего процесса, такие как, отсутствие автоматизированного процесса обработки данных, процесса вычисления параметров и наглядного представления полученных результатов.

Экспериментальная отработка схем с разделением заряда на две части требует больших временных и материальных ресурсов. Для того чтобы проанализировать результаты исследований приходится прибегать к сторонним средствам визуализации.

Для ускорения процесса вычисления параметров и отображения результатов исследования на графиках, необходимо выполнить автоматизация процесса изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

Автоматизация процесса поможет обнаружить основные закономерности функционирования как новых, так и классических схем метания, формулировать требования к конструкции и рабочим телам для получения необходимого эффекта и, таким образом, ограничивать область рассматриваемых решений.

На основании чего сделан вывод о необходимости разработки программного комплекса для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части. Необходимо выбрать технологию проектирования, разработать модель данных и определить средства программирования.

Глава 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЫСТРЕЛОВ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ЗАРЯДА НА ДВЕ ЧАСТИ

2.1 Выбор архитектуры программного комплекса

Была поставлена задача автоматизации деятельности человека, который проводит исследование баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части, которая может быть решена путем разработки программного комплекса.

Определим основные требования, предъявляемые к будущему программному комплексу. Выделяются два основных типа требований:

- Функциональные требования – это принцип, по которому должен функционировать программный комплекс (назначение программного комплекса в целом). Представлены в таблице 2.1.

- Нефункциональные требования – особое свойство или ограничение, накладываемое на программный продукт. Представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Функциональные требования

№ п/п	Требование	Статус	Полезность	Риск
1	Вводить входные параметры	Одобренные	Критичное	Средний
2	Очищать таблицу данных	Одобренные	Важное	Средний
3	Выводить результаты на печать	Предложенные	Важное	Средний
4	Просматривать результаты в виде таблицы	Предложенные	Критичное	Средний
5	Запускать процедуру вычисления параметров	Одобренные	Критичное	Критичное
6	Вычислять параметры по областям	Одобренные	Критичное	Критичное

Продолжение таблицы 2.1

№ п/п	Требование	Статус	Полезность	Риск
7	Просматривать результаты на графиках	Предложенные	Важное	Низкое
8	Сохранить данные проекта	Предложенные	Важное	Низкое

Таблица 2.2 – Нефункциональные требования к программному комплексу

№ п/п	Требование	Статус	Полезность	Риск
Требования к удобству использования				
10	Кегль основного шрифта не ниже 12 пунктов	Одобрённые	Критичное	Низкий
11	Дизайн интерфейса в едином стиле и цветовой гамме	Одобрённые	Критичное	Низкий
12	Элементы интерфейса должны иметь четкую структуру	Одобрённые	Критичное	Низкий
13	Базовое разрешение экрана 1024 x 768 с возможностью масштабирования	Предложенные	Критичное	Низкий
Требования к надежности				
14	Создание резервной копии хранилища данных	Предложенные	Критичное	Средний
Требования к производительности				
15	Время отклика не должно превышать 5 секунд	Предложенные	Критичное	Средний

Целью автоматизированного варианта является задача упрощения изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части:

- загрузки рассчитанных данных из базы данных, вместо того, чтобы вводить заново;
- запуска процедуры проведения расчетов;
- вывода полученных результатов на экран;
- наглядного представления рассчитанных данных на графике;
- обработки входных данных.

Требования к функциональности:

- обеспечение выбора необходимого способа представления выходной информации;
- построение графиков;
- вывод результатов на печать;
- выгрузка параметров в базу данных.

Шаблоны входных параметров должны располагаться в локальном хранилище программы.

Требования защиты целостности и секретности:

- данные разрабатываемого программного комплекса должны располагаться на локальном сервере;

Периодичность решения задачи – повседневное использование.

Проектирование архитектуры программного продукта – это процесс создания четко структурированного решения, которое отвечает всем техническим требованиям и обеспечивает оптимальные атрибуты качества, такие как производительность, безопасность и управляемость.

В разрабатываемом программном комплексе для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части будет использоваться двухзвенная архитектура клиент-сервер. Так как необходимо использование сервера базы данных и клиентского программного обеспечения.

Архитектура разрабатываемого программного комплекса для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части представлена на рисунке 2.1.

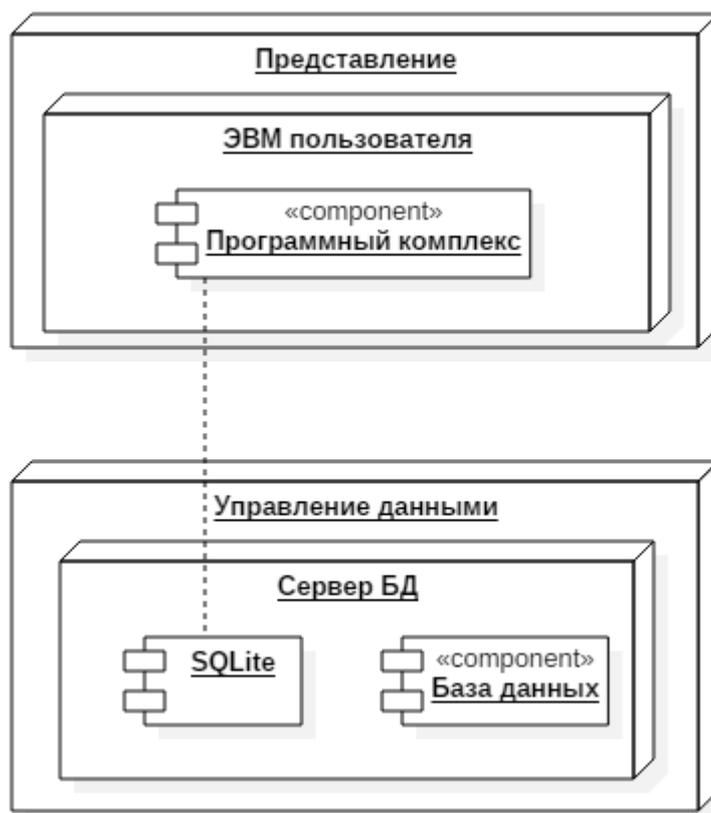


Рисунок 2.1. Двухзвенная архитектура программного комплекса

В роли сервера базы данных (БД) выступает сервер БД SQLite, взаимодействие осуществляется путем взаимодействия приложения с сервером базы данных.

В результате создания хранилища данных должно быть улучшены значения следующих показателей: время ввода исходной информации, анализ проведенных вычислений.

После определения требований и выбора архитектуры для реализации необходимо осуществить моделирование программного комплекса для определения ключевых функций, которые будут реализованы.

2.2 Моделирование программного комплекса

2.2.1 Функциональное моделирование программного комплекса

Проектируемый программный комплекс, разрабатываемый для осуществления изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части, должен отвечать функциональным требованиям, которые выдвигает заказчик.

На рисунке 2.2 представлена функциональная модель проектируемого программного комплекса, на которой отображены его основные функции.



Рисунок 2.2 – Функциональная модель проектируемого программного комплекса

Основные функции проектируемого программного комплекса должны осуществляться в следующем:

- ввод начальных параметров;
- запуск вычислительной программы;
- анализ результатов;
- вывод параметров на график.

Сначала пользователь вводит необходимые параметры. Далее запускает процедуру вычисления данных. Программный комплекс выводит результаты расчетов на экран. Пользователь имеет возможность просмотреть полученные данные на графике.

2.2.2 Логическое моделирование данных программного комплекса

Проверка функционирования логической схемы осуществляется при помощи логического моделирования. Основной целью является проведение проверки функций проектируемой логической схемы без реализации ее на данном этапе. Преимущество этой модели состоит в том, что происходит проверка логических функций программного комплекса, а также его временных соотношений. Для осуществления логического моделирования необходимо построить диаграмму последовательности.

На рисунке 2.3 изображена диаграмма последовательности изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части с использованием программного комплекса, на которой показано взаимодействие объектов и обмен между ними сигналами и сообщениями.

На данной диаграмме отображено взаимодействие объектов, которое происходит по следующему сценарию:

1. Пользователь вводит входные параметры в программный комплекс.
2. Программный комплекс обрабатывает входные параметры и отображает их в таблице.
3. Пользователь запускает процедуру вычисления параметров.
4. Программный комплекс производит вычисления и предоставляет результат пользователю.
5. Пользователь просматривает результаты и запрашивает отчет.
6. Программный комплекс формирует отчет и передает пользователю.

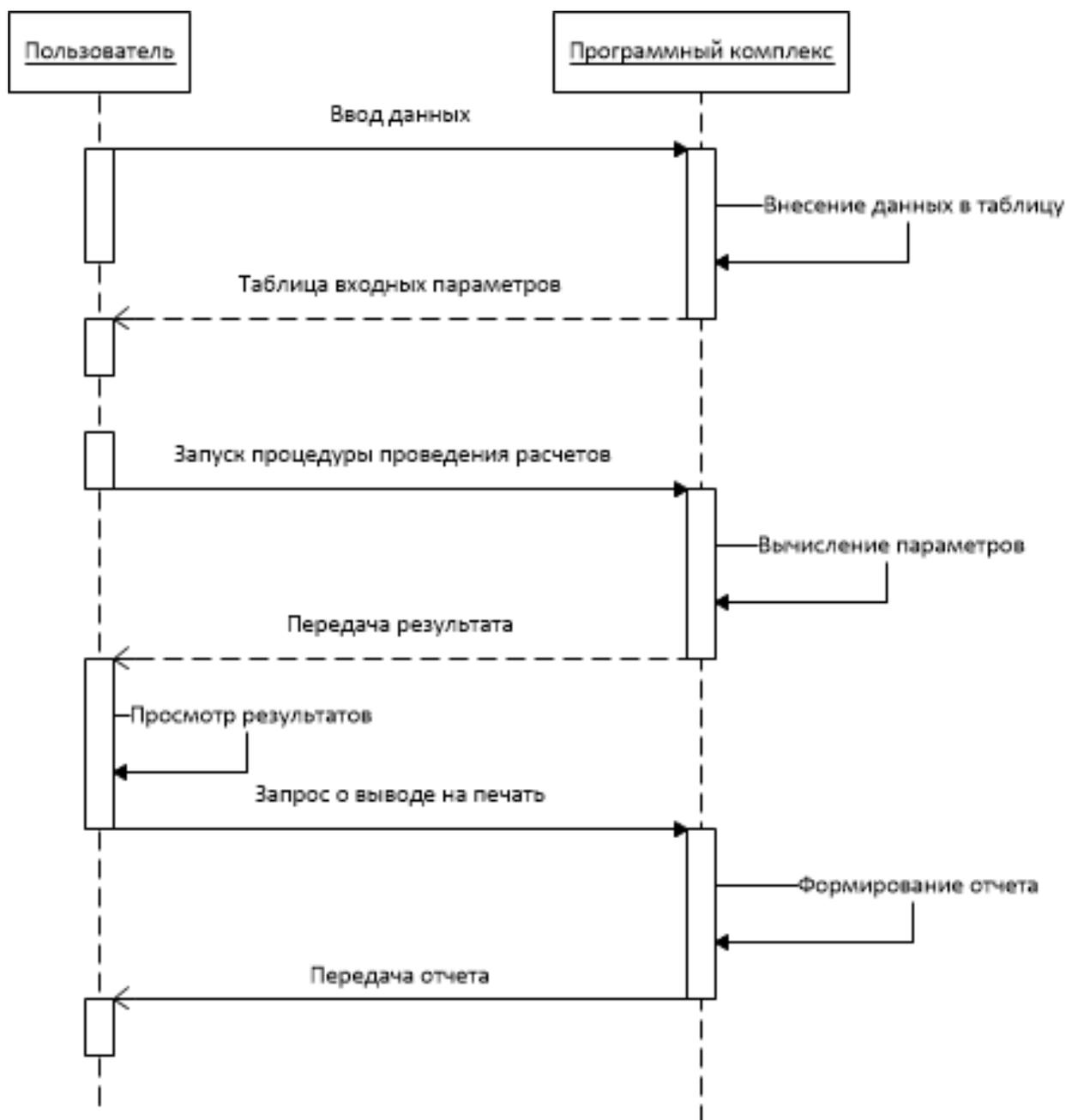


Рисунок 2.3 - Диаграмма последовательности

Таким образом, была осуществлена проверка логики функционирования программного комплекса. Описана последовательность организации изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

На рисунке 2.4 изображена диаграмма деятельности. Данная диаграмма является алгоритмом изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

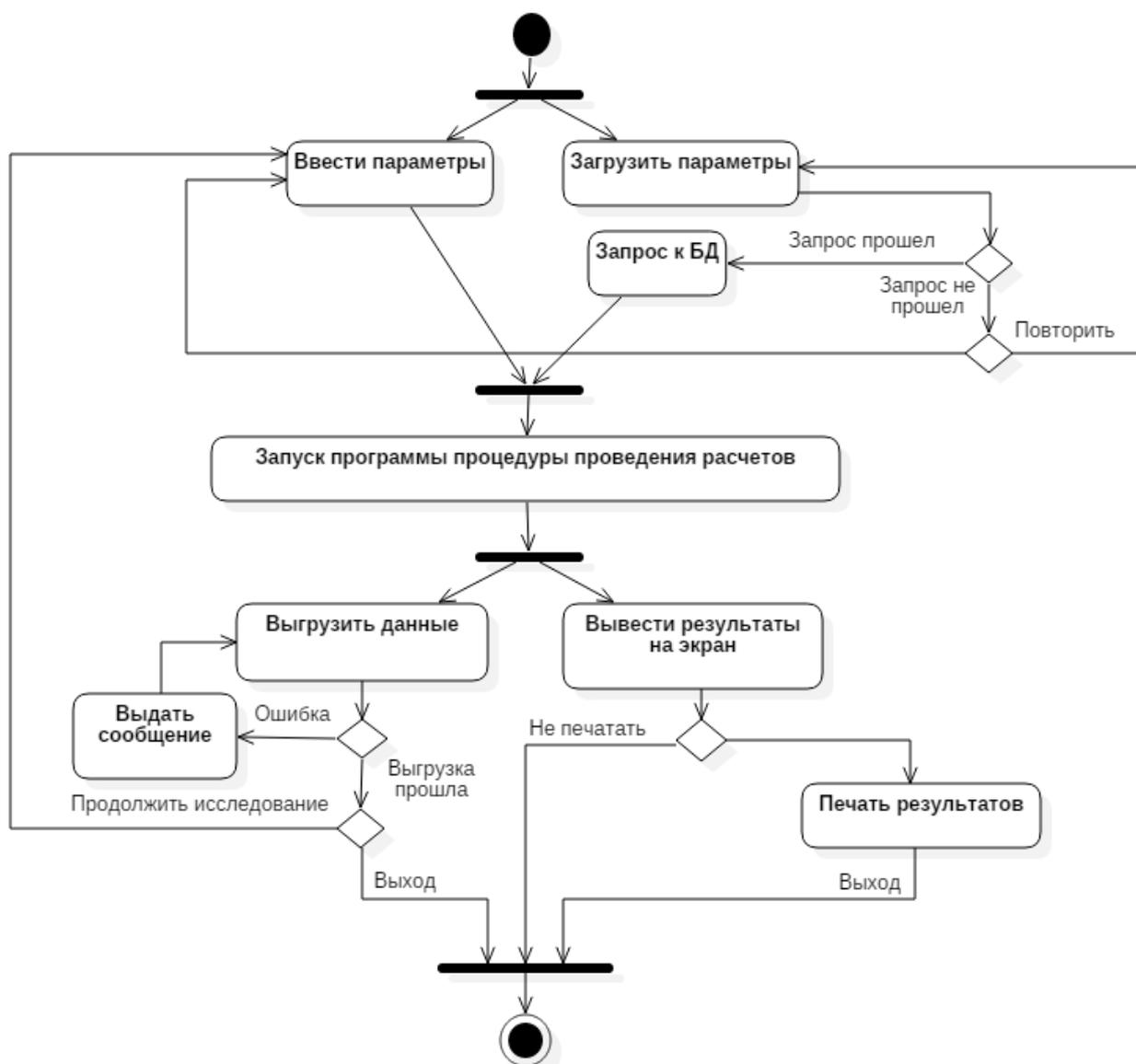


Рисунок 2.4 – Алгоритм осуществления изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части

На диаграмме отображены ключевые моменты работы программного комплекса, такие как: Ввод или запрос данных из БД для последующего использования, запуск процедуры вычисления; вывод на экран результатов с последующей печатью и продолжением работы с программным комплексом или выходом из него; а также выгрузка данных с проверкой выполненной транзакции.

Следующим не менее важным этапом логического моделирования является составление диаграммы классов программного комплекса. Диаграмма

классов служит для отображения отношения между классами, тем самым представляя логический аспект проекта. Диаграмма классов определяет различного рода статические связи и определяет типы объектов системы, которые существуют между ними.

На рисунке 2.5 продемонстрирована диаграмма классов, на которой представлено (5) классов с атрибутами и методами.

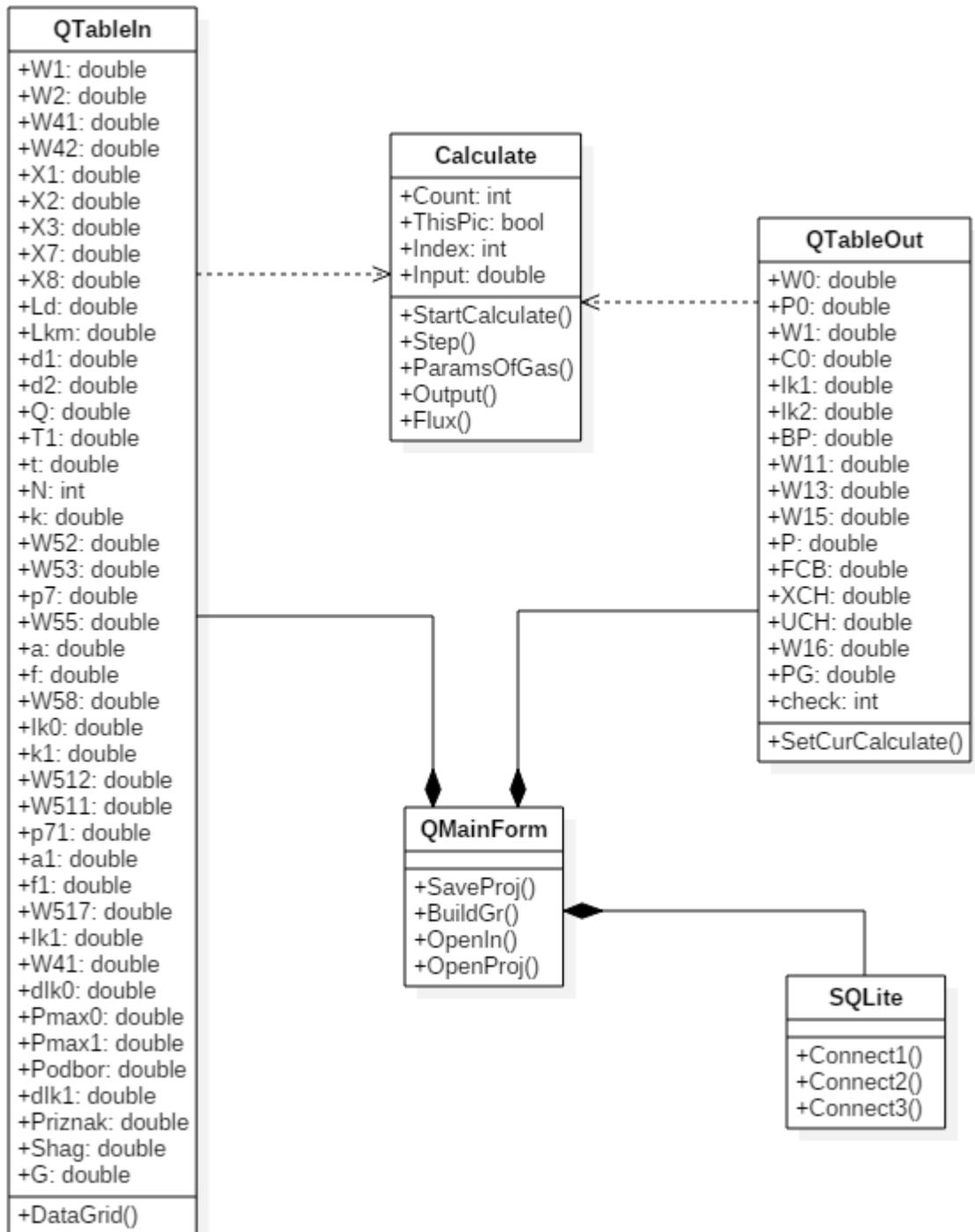


Рисунок 2.5 - Диаграмма классов программного комплекса

Класс Calculate – производит вычисления, состоит из атрибутов и методов. Атрибут Int Count – число вычислений сделанных в данном сеансе, начальное значение Count = 0. Атрибут thisPic – булева переменная, если истина то сохраняем текст, иначе сохраняем изображение. Атрибут Int index – индекс последней запущенной расчетной программы. Атрибут Input – массив хранящий экземпляры класса QTableWidgetItem.

Метод startCalculate() - проводится заполнение входной информации, вывод исходной информации для визуального контроля ее корректности, подготовка необходимых исходных данных и, если проводится расчет с записью данных. Также организован счет шага решения задачи с обращением к необходимым для этого методам. Метод «Step» предназначен для расчета параметров течения среды во внутренних ячейках расчетной области, расчета движения поршня и расчета параметров течения среды в ячейках, прилегающей к правой подвижной границе расчетной области. Метод «Output» предназначен для вывода получаемой в ходе расчетов информации. Метод «ParamsOfGas» предназначен для расчета параметров газа, в параметрах на скачке сечения справа и слева от скачка. Метод «Flux» предназначен для расчета параметров на границах расчетных областей.

Класс QTableWidgetItem – предназначен для работы с выходными данными, состоит из атрибутов и методов. Атрибут VP – время, затраченное на вычисления. Атрибут check – отображает состояние вычислений (вычисляет, закончил, ошибка). Метод «setCurCalculate» предназначен для вывода выходных данных в таблицы.

Класс QMainWindow – предназначен для взаимодействия с пользователем, состоит из метода «saveProj», предназначенного для сохранения текущего проекта. Сохраняются данные всех вкладок. Метод «BuildGr» предназначен для построения графиков на основе данных текущего экземпляра класса QTableWidgetItem. Метод «openIn» предназначен для загрузки данных из файла в таблицы. Метод «openProj» предназначен для загрузки проекта из файла.

Класс QTableWidgetItem – предназначен для работы с входными данными. Атрибутами являются необходимые для расчетов параметры. Методы данного класса: метод «DataGrid» предназначен для сохранения данных, отображаемых на экранной форме.

Класс SQLite отвечает за соединения с базой данных.

Таким образом, была описана основная логика функционирования программного комплекса, были выделены основные классы, которые станут основополагающими в его реализации.

Следующим этапом логического моделирования является составление концептуальной схемы (диаграммы компонентов) предметной области, представленной на рисунке 2.6.

Основными элементами диаграммы компонентов являются интерфейсы, компоненты и зависимости между ними.

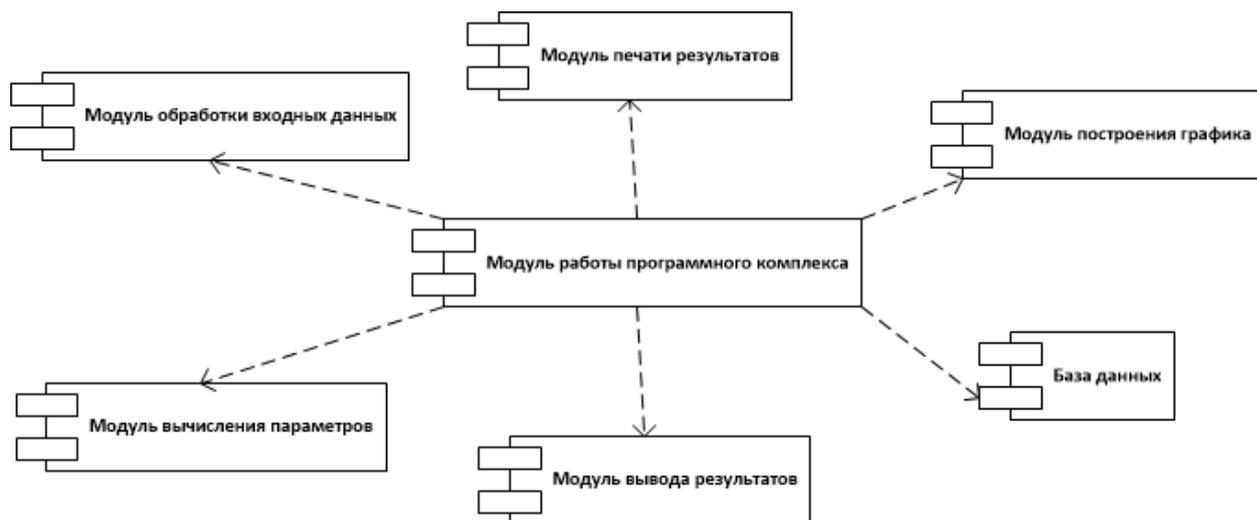


Рисунок 2.6 – Диаграмма компонентов

Была разработана диаграмма компонентов, отображающая совокупность программного уровня, а также аппаратного уровня и их взаимосвязи друг с другом.

Для дальнейшей разработки необходимо осуществить проектирование интерфейса программного комплекса.

2.3 Проектирование интерфейса программного комплекса

Графический интерфейс пользователя – является обязательным компонентом современных программных продуктов, которые ориентированы на работу с пользователем. Под графическим интерфейсом пользователя подразумевается тип экранного представления, при котором пользователь может выбирать команды, запускать задачи, указывая на кнопки управления и пункты в списках меню, которые отображены в окне программы.

В экранной форме программного комплекса предполагается наличие главного меню и элемента, в котором находятся 4 вкладки, и кнопки управления.

Рассмотрим вкладки, которые необходимы для реализации программного комплекса:

- Входные данные. Вкладка, представленная на рисунке 2.7, предназначена для ввода входных параметров системы.

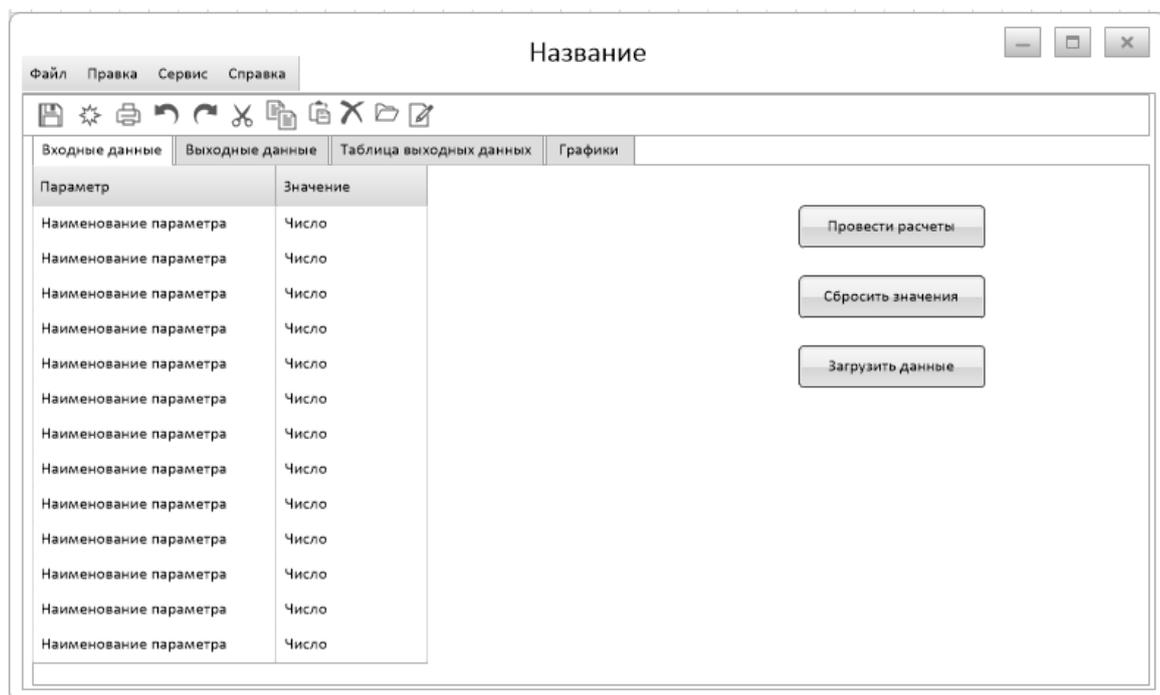


Рисунок 2.7 – Экранная форма - вкладка «Входные данные».

- Вкладка «Таблица выходных данных», представленная на рисунке 2.8, должна выводить выходные данные текущего экземпляра класса вычислений в виде таблицы.

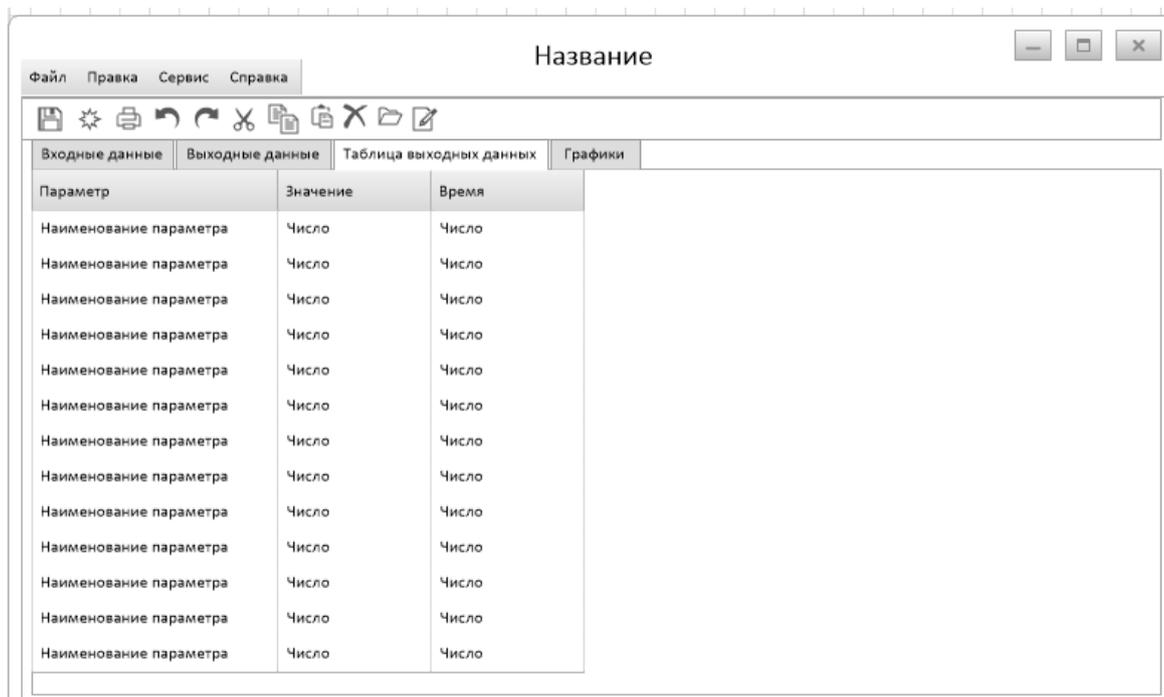


Рисунок 2.8 – Экранная форма - вкладка «Таблица выходных данных»

- Вкладка «Выходные данные» (текст), представленная на рисунке 2.9, должна выводить выходные данные текущего экземпляра класса вычислений в виде текста.

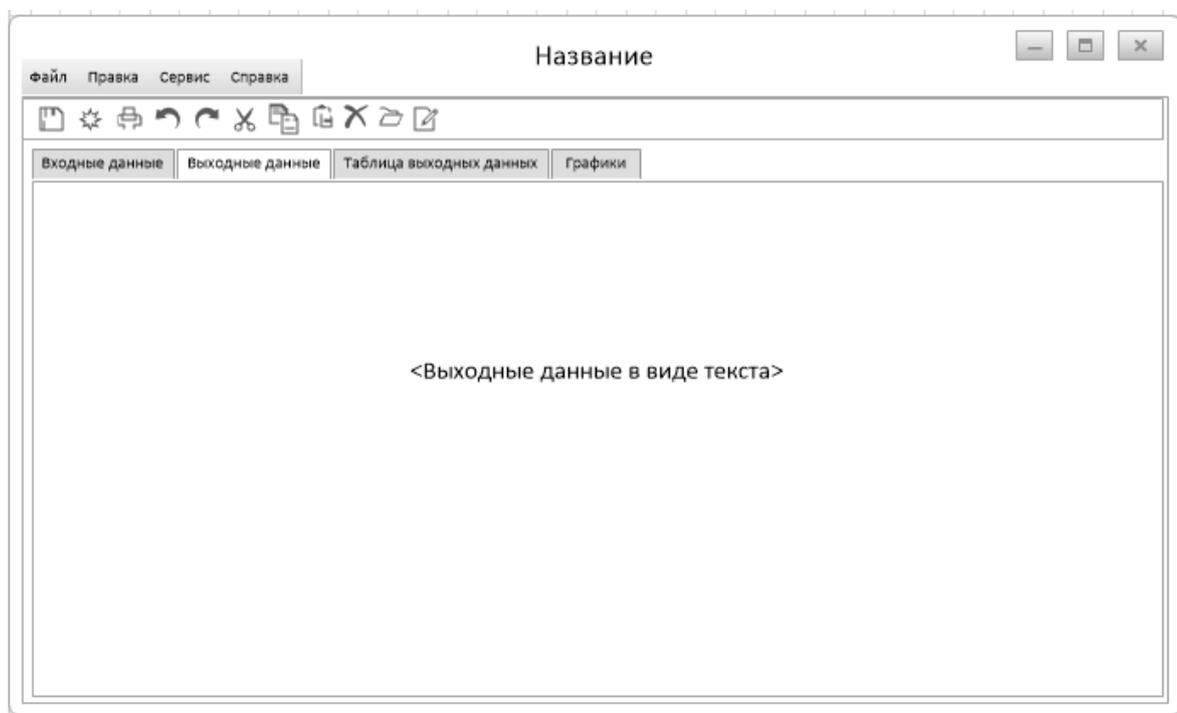


Рисунок 2.9 – Экранная форма - вкладка «Выходные данные»

- Вкладка «Графики», представленная на рисунке 2.10, должна выводить графики исходя из выходных данных текущего экземпляра класса вычислений.

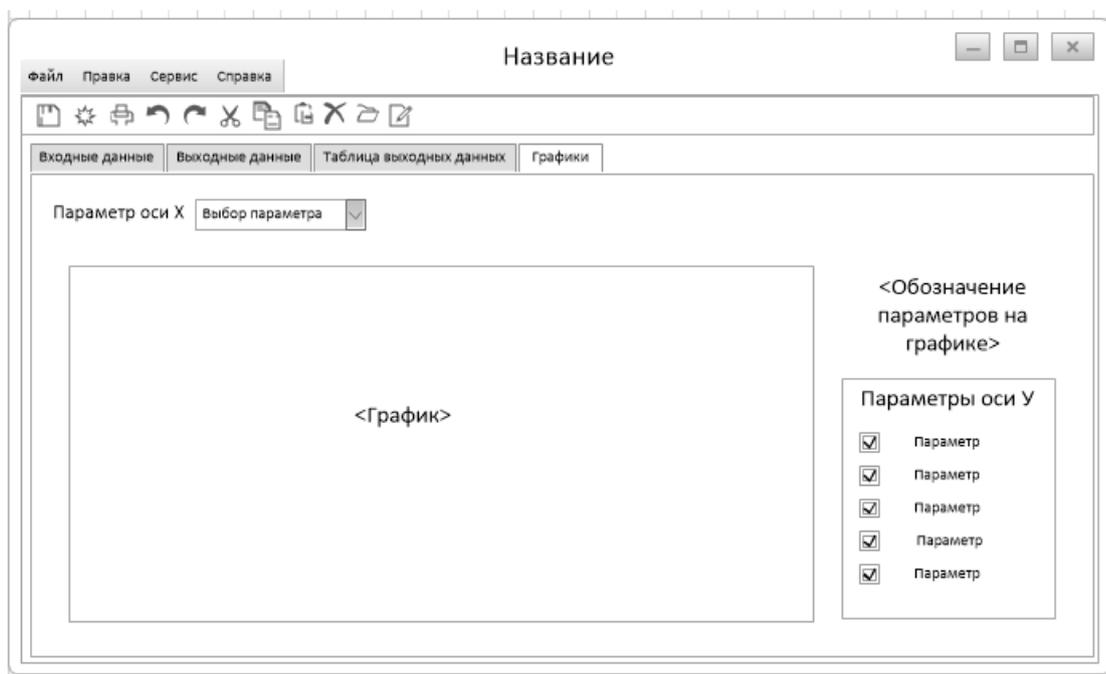


Рисунок 2.10 – Экранная форма - вкладка «Графики»

Кнопки управления:

- Кнопка «Провести расчеты» - инициализирует входные данные и запускает расчетную программу.
- Кнопка «Сбросить значения» - удаляет значения параметров.
- Кнопка «Загрузить данные» - загружает данные из БД.

Главное меню программы должно содержать все функции программы, которые не были вынесены в основную рабочую область. Главное меню должно состоять из следующих разделов:

- файл;
- правка;
- сервис;
- справка.

Раздел «Файл» будет служить для вызова системных функций:

- сохранение данных;

- вывод на печать;
- выход (закрытие приложения).

Раздел «Правка» будет служить для вызова стандартных системных функций форматирования:

- копировать;
- вырезать;
- вставка;
- отмена;
- и др.

Раздел «Сервис» будет служить для вызова дополнительных функций программы, например, для установки максимального времени расчета для потока (в случае заикливания при возможном некорректном вводе входного параметра или при слишком слабых характеристиках компьютера).

Раздел «Справка» будет служить для получения помощи в работе с программой и просмотра сведений о программе и авторе.

Справка должна включать следующие основные разделы:

- информация о программе;
- краткое описание физико-математической модели;
 - a. входные данные;
 - b. выходные данные;

Таким образом, был спроектирован пользовательский интерфейс программного комплекса для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части. После этого следует спроектировать базу данных программного комплекса.

2.4 Проектирование базы данных программного комплекса

2.4.1 Логическое моделирование базы данных

Логическая модель служит для отображения логических связей между элементами данных вне зависимости от их среды хранения и содержания.

Логическая модель описывает понятия предметной области, их взаимосвязь, а также ограничения на данные, налагаемые предметной областью. Логическая модель данных является начальным прототипом будущей базы данных [16].

На рисунке 2.11 представлена логическая модель данных, в которой отображены сущности с атрибутами, ключами сущностей и связями между ними.

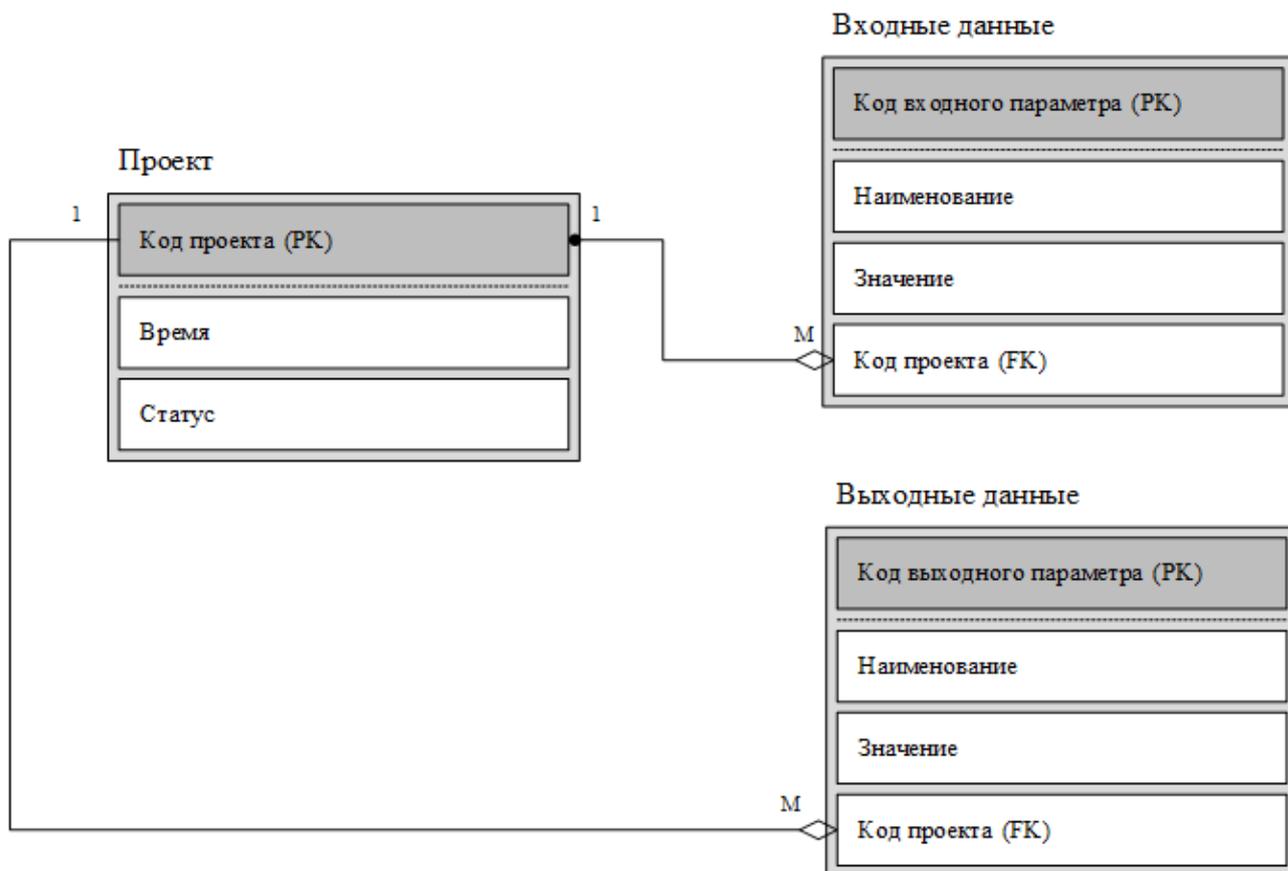


Рисунок 2.11 – Логическая модель данных

Сущность «Проект» с атрибутами: «Время», «Статус». Атрибут «Код проекта» выступает в роли первичного ключа.

Сущность «Входные данные» с атрибутами: «Код параметра», «Наименование», «Значение». Атрибут «Код параметра» выступает в роли первичного ключа, а атрибут «Код проекта» выступает в роли внешнего ключа.

Сущность «Выходные данные» с атрибутами: «Код параметра_1», «Наименование», «Значение». Атрибут «Код параметра_1» выступает в роли первичного ключа, а атрибут «Код проекта» выступает в роли внешнего ключа.

Таким образом, были описаны реальные объекты предметной области, которые отражают выделенные сущности и их взаимосвязи между объектами.

2.4.2 Обоснование выбора системы управления базами данных программного комплекса

При разработке программного комплекса одним из основных этапов является выбор системы управления базой данных (СУБД). Для более удобного выбора СУБД была построена сравнительная таблица 2.3, в которой представлены критерии оценки проведенного анализа требуемых возможностей каждой СУБД для реализации программного комплекса.

Таблица 2.3 – Сравнительный анализ СУБД

Критерии оценки	SQLite	PostgreSQL	MySQL
Базовые возможности языка SQL	+	+	+
Поддержка транзакций	+	+	+
Контроль целостности базы данных	+	+	+
Низкие требования к ЭВМ	+	+	+
Поддержка символов кириллицы в полях базы данных	+	+	+
Простота использования в Qt	+	-	-
Богатый функционал	+	+	+
В библиотеке Qt имеются драйверы для работы	+	+	+
Итого	8	7	7

Для разработки программного комплекса для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части была выбрана

СУБД SQLite, так как она удовлетворяет всем поставленным требованиям и имеет ряд преимуществ в сравнении с представленными аналогами.

2.4.3 Физическое моделирование базы данных программного комплекса

Следующим шагом разработки программного комплекса является физическое проектирование базы данных.

На данном этапе рассматривается организация файлов, индексов и основные отношения для обеспечения полноценного доступа к данным.

В физической модели сущности являются таблицами, а экземплярами сущности являются строки в таблице. Атрибуты выступают в роли колонок таблицы. В физической модели данных объекты содержат тип данных, который зависит от выбранной СУБД.

На рисунке 2.12 продемонстрирована физическая модель данных программного комплекса.

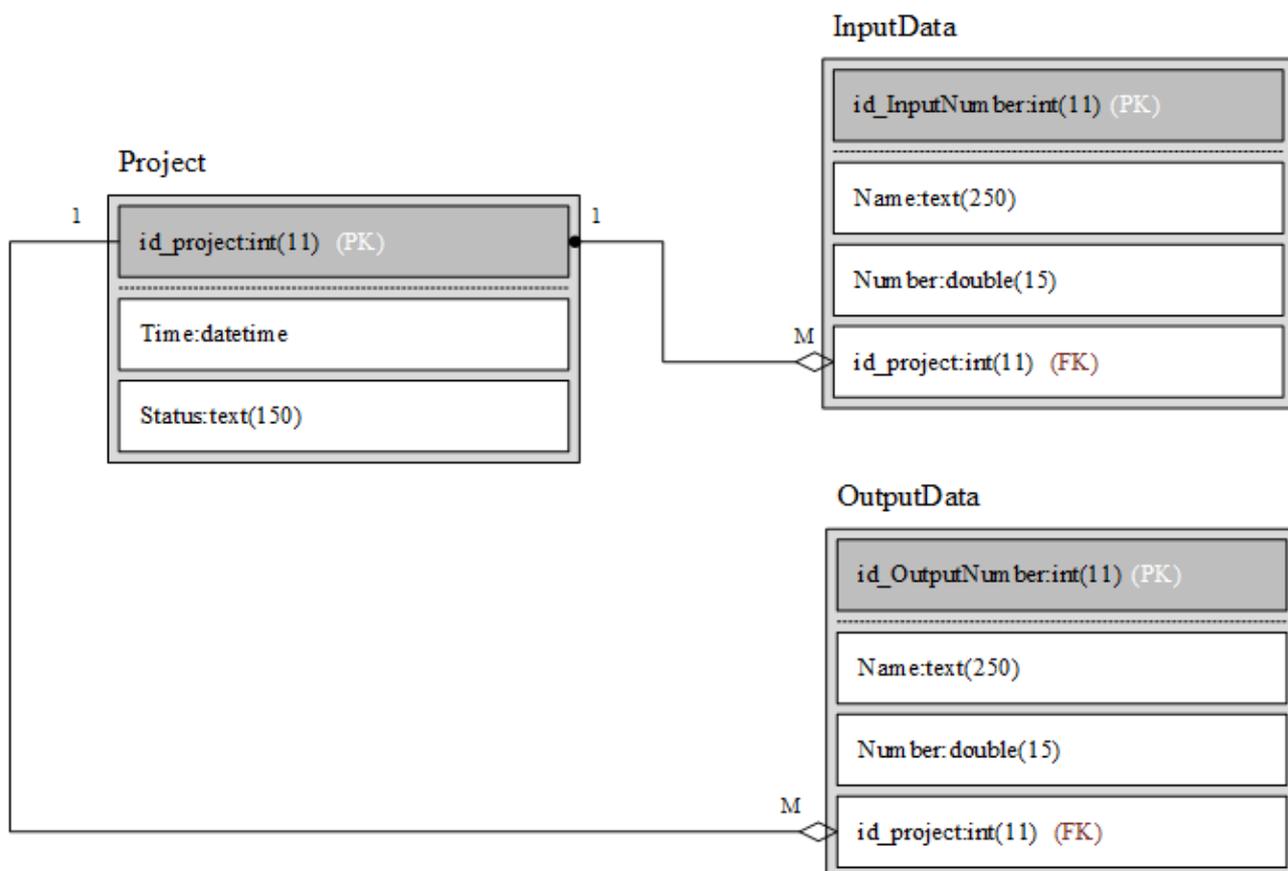


Рисунок 2.12 – Физическая модель данных

Физическая модель данных представляет собой подробную информацию, которая необходима для реализации базы данных в выбранной СУБД. Создание этой модели является последним этапом реализации проектируемой базы данных.

Вывод по второй главе

В данной главе было выполнено функциональное моделирование программного комплекса. В ходе проектирования функциональной модели были выделены основные функции, которые должен выполнять проектируемый программный комплекс. Была построена логическая модель данных. Также было осуществлено обоснование выбора системы управления базами данных и физическое моделирование базы данных.

Были построены диаграмма вариантов использования, диаграмма последовательности для наглядного представления о проектируемом программном комплексе.

Глава 3 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЫСТРЕЛОВ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ЗАРЯДА НА ДВЕ ЧАСТИ

3.1 Выбор технологии разработки программного обеспечения

Для реализации программного комплекса для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части был использован язык программирования высокого уровня C++.

Достоинства выбранного языка программирования:

- Поддерживаются множество стилей и технологий программирования, в том числе традиционное директивное программирование, объектно-ориентированное программирование, обобщенное программирование, а также использование шаблонов и макросов.

- Неявно генерируемый компилятором код для реализации языковых возможностей (например, при преобразовании переменной к другому типу), определен в стандарте. Также строго определены места программы, в которых этот код выполняется. Это дает возможность замерять или рассчитывать время реакции программы на внешнее событие [27].

- Автоматический вызов деструкторов объектов при их уничтожении, в порядке, обратном вызову конструкторов упрощает и делает более надежным освобождение ресурсов.

- Пользовательские функции-операторы позволяют кратко и емко записывать выражения над пользовательскими типами в естественной алгебраической форме[25].

- Язык поддерживает понятия физической и логической константности. Объявление константности дает программисту, читающему текст программы дополнительное представление о правильном использовании классов и функций, а также может являться подсказкой для оптимизации.

- Язык дает программисту максимальный контроль над всеми аспектами структуры и порядка исполнения программы[27].

Поскольку язык C++ удовлетворяет всем функциональным условиям, то именно он был выбран в качестве языка программирования для реализации программного комплекса.

В процессе разработки программного обеспечения используются интегрированные среды разработки с целью повышения удобства написания программного кода.

Среди наиболее известных средств разработки, для разработки на языке C++, можно выделить следующие:

1. NetBeans.
2. Microsoft Visual Studio.
3. Qt Creator.

NetBeans - это платформа для разработки программного обеспечения, написанная на Java. Платформа NetBeans позволяет разрабатывать приложения из набора модульных программных компонентов, называемых модулями.

Microsoft Visual Studio - это интегрированная среда разработки. Используется для разработки компьютерных программ для Microsoft Windows, а также веб-сайтов, веб-приложений, веб-сервисов и мобильных приложений.

Qt Creator является кроссплатформенной интегрированной средой разработки, которую можно использовать для изменения существующих приложений или для создания новых.

Проведем сравнительный анализ выделенных интегрированных сред разработки на языке программирования высокого уровня C++, для выбора наиболее подходящей. Результаты сравнения представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сравнительный анализ средств разработки ПО

Критерий сравнения	Microsoft Visual Studio	NetBeans	Qt Creator
Свободно распространяемое	-	+	+
Поддержка ОС Windows	+	+	+
Возможность навигации по коду	+	+	+

Продолжение таблицы 3.1

Критерий сравнения	Microsoft Visual Studio	NetBeans	Qt Creator
Кроссплатформенность	+	+	+
Автодополнение	+	-	+
Визуальные средства разработки интерфейса	+	+	+
Итого:	5	5	6

После проведенного анализа, было принято решение использовать интегрированную среду разработки – Qt Creator. Qt является полностью объектно-ориентированным, легко расширяемым и поддерживающим технику компонентного программирования. Перейдем к описанию работы программного комплекса.

3.2 Описание основного принципа работы программного комплекса

Рассмотрим пример работы программного комплекса на основе расчета баллистики системы калибра 152мм.

При запуске программного комплекса открывается вкладка для ввода необходимых для вычисления параметров, которая показана на рисунке 3.1.

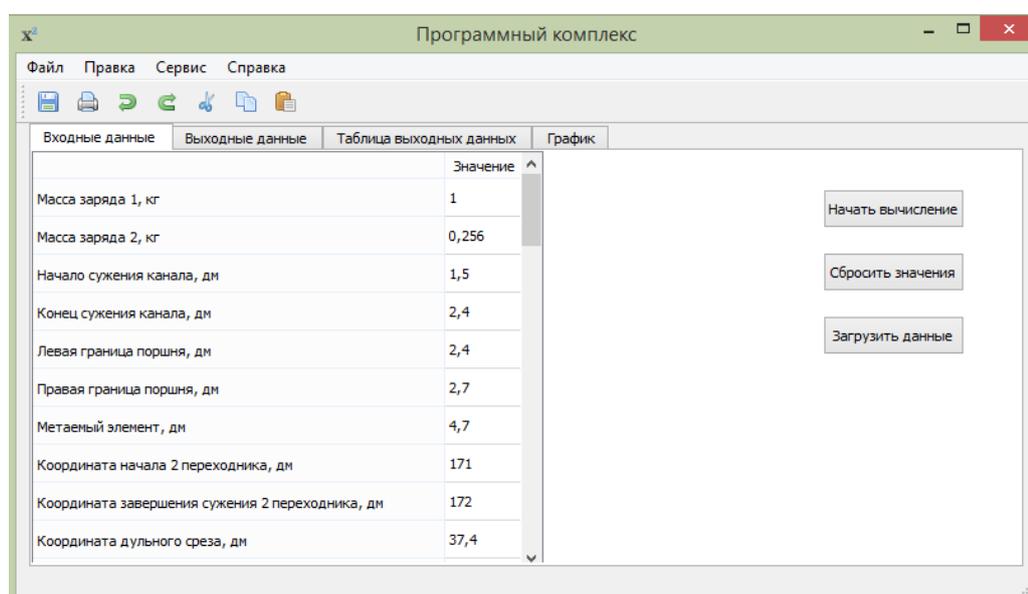


Рисунок 3.1. —Вкладка «Входные данные» программного комплекса

Происходит выбор действия: заполнение входных данных, загрузка последних использовавшихся входных данных, сброс значений таблицы. А также здесь находится кнопка, при нажатии на которую происходит вычисление параметров.

Просмотр полученных данных. На рисунке 3.2 представлена вкладка для вывода рассчитанных параметров в текстовом виде.

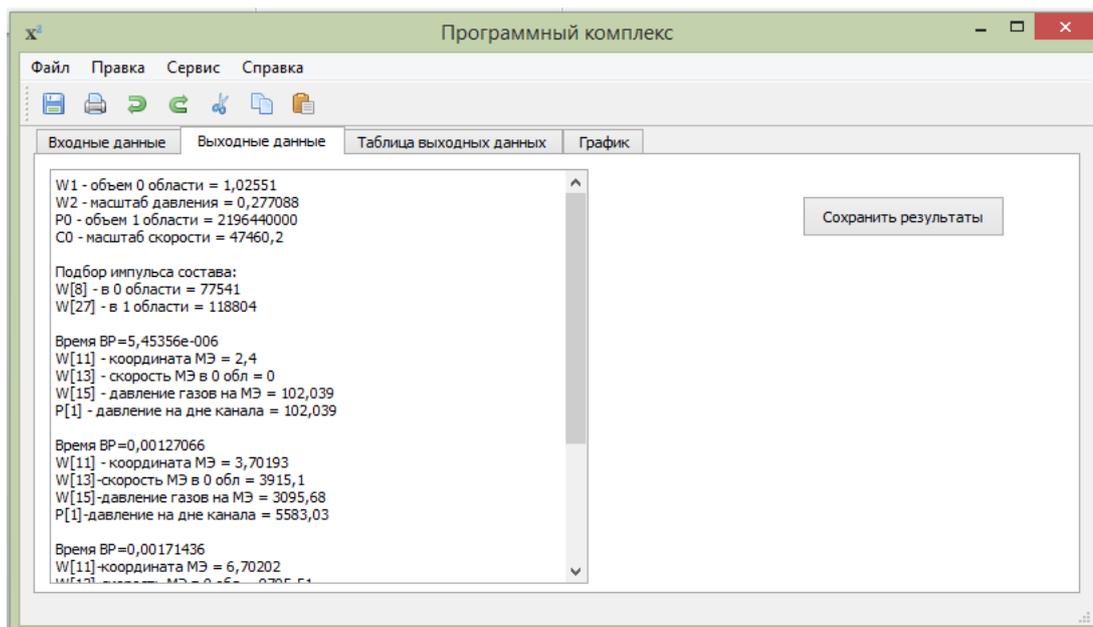


Рисунок 3.2. — Вкладка «Выходные данные»

Просмотр полученных данных в виде таблицы. На рисунке 3.3 представлена вкладка для вывода рассчитанных параметров в виде таблицы.

	Импульс0	Импульс1	Время (сек)	Коорд. МЭ в 0 обл.	Скорость МЭ	Давление газов	Давление на канале	Коорд.МЭ в 1 обл.
1	77541	118804	0,00000545356	2,4	0	102,039	102,039	
2			0,00205681	10,7002	13510,3	4529,6	7482,38	
3			0,00240191	16,0022	16983,3	3287,13	4458,67	18,3022
4			0,00266429	20,7001	18622,5	1915,67	3320,85	23,0001
5	77541	116804	0,00000545356	2,4	0	102,039	102,039	
6			0,00205681	10,7002	13510,3	4529,6	7482,38	
7			0,00240191	16,0022	16983,3	3287,13	4458,67	18,3022
8			0,00266429	20,7001	18622,2	1915,71	3320,84	23,0001
9	77541	1000	0,00000545356	2,4	0	102,039	102,039	
10			0,00205681	3,70193	3915,1	3095,68	5583,03	

Рисунок 3.3. — Вкладка «Таблица выходных данных»

Построение графиков осуществляется после вычисления параметров на вкладке «Графики», которая представлена на рисунке 3.4

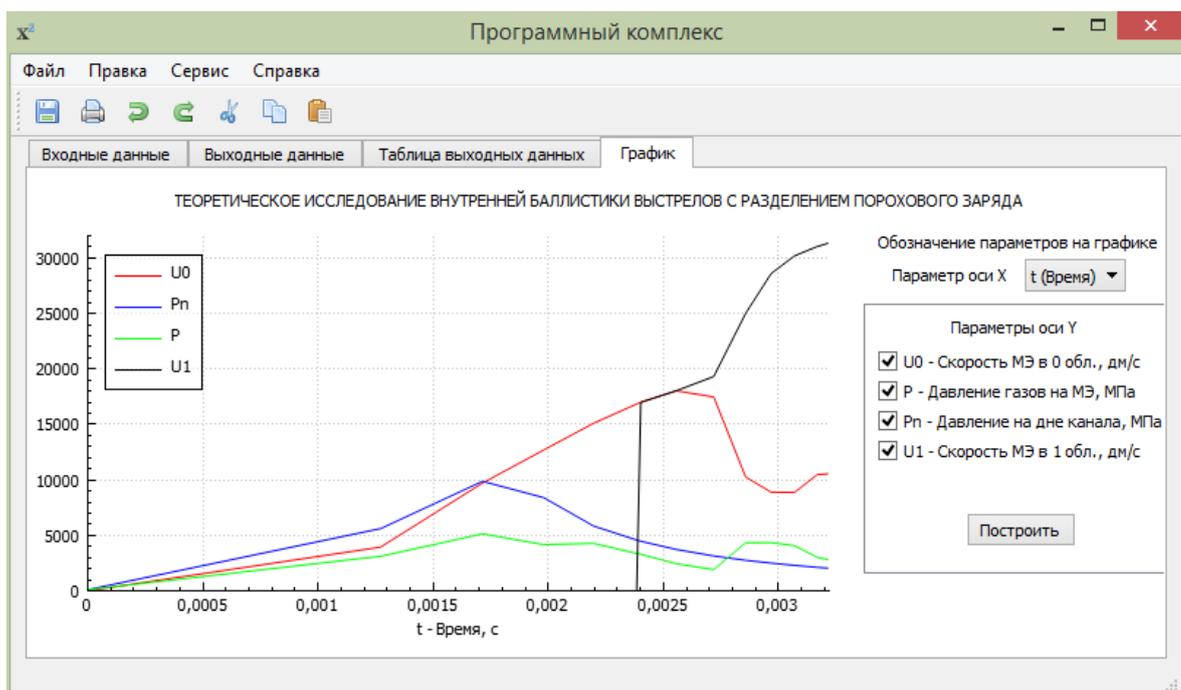


Рисунок 3.4. — Вкладка «Таблица выходных данных»

Сохранение данных происходит по усмотрению пользователя. Вывод на печать осуществляется через вкладку меню «Файл», которая показана на рисунке 3.5.

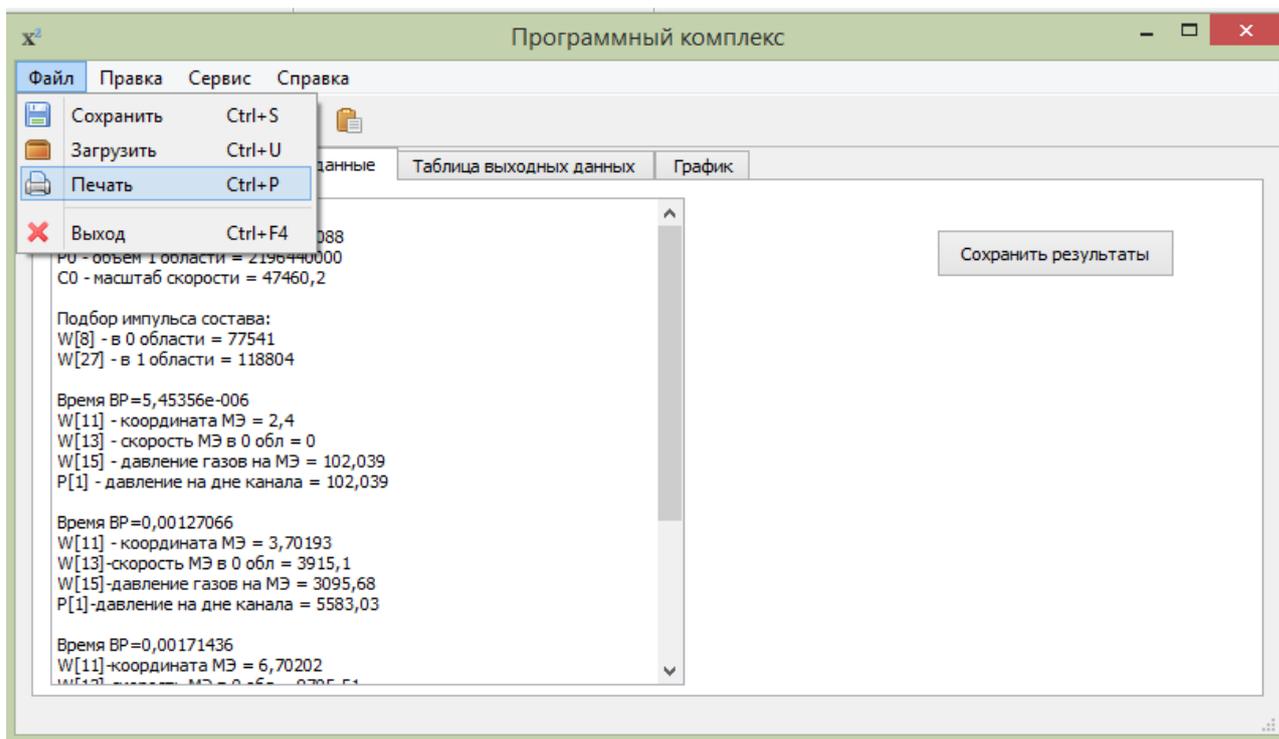


Рисунок 3.5. — Вкладка элемента меню «Файл»

Алгоритм вычислений параметров задачи складывается из следующей последовательности действий:

1. устанавливается временной шаг;
2. вычисляются параметры в нулевой области;
3. проводится расчет движения поршня;
4. вычисляются параметры течения среды в области, прилегающей к подвижной правой границе нулевой расчетной области;
5. вычисляются параметры течения среды во внутренних ячейках первой расчетной области;
6. проводится расчет движения снаряда;
7. вычисляются параметры течения среды в области, прилегающей к подвижной границе первой расчетной области;
8. проводится вывод результатов расчета на этом временном слое.

Получается решение на каждом временном слое через интервал времени τ . Циклическое повторение счета шага по времени в соответствии с вышеописанной последовательностью действий дает информацию о нестационарном развитии процесса во времени. Фрагмент кода модуля вычислений параметров представлен в Приложении А.

Таким образом, выполнение необходимых вычислений и вывод полученных результатов показало, что программный комплекс работоспособен и удовлетворяет всем заданным требованиям.

3.3 Описание реализации

3.3.1 Описание входной информации

Для корректной работы программы необходимо ввести следующие параметры:

1. ω_I, ω_{II} – массы зарядов, кг;
2. w_I, w_{II} – объемы областей, дм^3 ;
3. $L_{\text{км}}$ – масштаб длины, дм;
4. t_0 – масштаб времени, с;

5. p_0 – масштаб давления, МПа;
6. c_0 – масштаб скорости, дм/с;
7. x_1^0 – начало сужения канала, дм;
8. x_2^0 – конец сужения канала, дм;
9. x_1 – левая граница поршня, дм;
10. x_2 – правая граница поршня, дм;
11. x_3 – метаемый элемент, дм;
12. x_7 – координата начала 2 переходника, дм;
13. x_8 – координата завершения сужения 2 переходника, дм;
14. L_d – координата дульного среза, дм;
15. d^0 – начальный диаметр 0-области, дм;
16. d^1 – диаметр канала после переходника, дм;
17. d^2 – диаметр канала ствола, дм;
18. Q – масса поршня, кг;
19. q – масса метаемого элемента, кг;
20. k – показатель адиабаты;
21. α, λ – характеристика формы пороха;
22. p_7 – начальное давление в камере, МПа;
23. δ – плотность пороха, кг/дм³;
24. α – коволюм, дм³/кг;
25. f – сила энергетического состава, дн*дм;
26. p_ϕ – давление форсирования, дн/дм²;
27. Ik_0 – импульс пороха, дн*с/дм²;
28. k' – показатель адиабаты для 1 области;
29. T_1 – координата задержки зажигания, дм;
30. $\Delta Ik'_0$ – приращение импульса;
31. P_{max0} – давление подбора P_0max ;
32. $\Delta Ik'_1$ – приращение импульса;
33. P_{max1} – давление подбора P_1max ;

34. N – число точек на 1 единицу длины канала;
35. μ – коэффициент вязкости;
36. G – коэффициент запаса устойчивости для счета;
37. k – коэффициент адиабаты для воздуха;
38. ρ – плотность воздуха;
39. p – начальное давление воздуха, МПа;
40. $X_{\text{нач}}$ – длина, с которой начинается печать, дм;
41. ΔX – шаг печати, дм.

Исходя из введенных данных, программный комплекс должен рассчитать параметры в областях. Рассмотрим подробно выходные параметры.

3.3.2 Описание выходной информации

В начале работы программы после ввода исходных данных запускается программа вычисления параметров, после чего происходит вывод полученных результатов.

Выходная информация представляет собой параметры, вычисленные на каждом временном слое из массивов:

1. W_1 – объем нулевой области, дм³;
2. P_0 – объем первой области, дм³;
3. W_2 – масштаб давления, МПа;
4. C_0 – масштаб скорости, дм/с;
5. Ik_1 – импульс состава в 0 области;
6. Ik_2 – импульс состава в 1 области;
7. BP – время, с;
8. W_{11} – координата метаемого элемента, дм;
9. W_{13} – скорость МЭ, дм/с;
10. W_{15} – давление газов на МЭ, МПа;
11. P – давление на дне канала, МПа;
12. FCB – сопротивление воздушного столба;

13. XCH – координата разделительного элемента, дм;
14. UCH – скорость разделительного элемента, дм/с;
15. W_{16} – давление на МЭ, МПа;
16. PG – давление перед поршнем, МПа.

Перейдем к описанию проведенных параметрических исследований по разработанному программному комплексу.

3.4 Тестирование программного продукта

Тестирование программного обеспечения – это процесс изучения программного продукта с целью проверки на соответствие требованиям и выявления ошибок при работе.

В качестве тестирования будет использоваться тестирование «Черного ящика (Black box testing)». Тестирование черного ящика - это тестирование программного продукта по спецификациям и требованиям без исследования программного кода и доступа к базе данных. В таблице 3.2 представлено описание текст-кейсов.

Таблица 3.2 – Текст-кейсы

№	Название	Инструкции	Ожидаемый результат
1	Проверка наличия и работоспособности всех необходимых элементов программного комплекса		
1.1	Укомплектованность панели меню	Проверить наличие необходимых элементов (Файл, Правка, Сервис, Справка, а также элементы панели: Копировать, Вставить, Сохранить и т.д.)	Все необходимые элементы в наличии и готовы к работе.
1.2	Укомплектованность элементов вкладок панели меню	Проверить наличие необходимых элементов (Сохранить, Загрузить, Выход, О программе и т.д.)	Все элементы вкладок панели меню в наличии и готовы к работе
1.3	Таблица входных данных	Проверить наличие таблицы входных данных	Таблица в наличии и готова к добавлению данных

Продолжение таблицы 3.2

№	Название	Инструкции	Ожидаемый результат
1.4	Таблица выходных данных	Проверить наличие таблицы выходных данных	Таблица в наличии и готова к добавлению данных
1.5	Наличие текстового поля выходных данных	Проверить наличие текстового поля для вывода полученных результатов	Текстовое поле в наличии и готово к работе
1.6	Наличие вкладки график	Проверить наличие вкладки График для наглядного представления полученных результатов	Вкладка График в наличии
2	Тестирование функциональных возможностей программного комплекса		
2.1	Соответствие элементов панели меню	Проверить соответствие элементов панели меню их функциональному модулю	Все элементы панели меню соответствуют своему функциональному модулю
2.2	Соответствие выполненного ввода данных	Проверить соответствие введенных данных	Все необходимые данные введены
2.3	Соответствие выполненного вывода данных	Проверить соответствие выходных данных после проведения вычислений	Все данные выведены верно
3	Тестирование бизнес-логики программного комплекса		
3.1	Работа модуля построения графика	Проверить возможность построения графика по полученным данным	График построен
3.2	Работа модуля печати	Проверить возможность печати результатов	Результаты выводятся на печать
4	Тестирование дополнительных характеристик		
4.1	Закрытие программного комплекса	Во время работы закрыть программный комплекс	Программа оповещает о закрытии
4.2	Читабельность выходной информации в текстовом виде	Проверить читабельность полученной информации	Полученная информация читабельна

В результате тестирования программного комплекса ошибок не было выявлено.

3.5 Оценка экономической эффективности разработки программного комплекса

В разработанном программном продукте в рамках газодинамического подхода – модели газопороховой среды – осуществляется решение системы уравнений в частных производных в соответствии с математической постановкой задачи. Впервые использована комбинированная система координат для индивидуального расчета процессов в рассматриваемых расчетных областях.

Принятый во внутренней баллистике термодинамический подход не обеспечивает учет особенностей процессов происходящих при применении принципиально новой схемы организации процесса выстрела.

Реализуемое экспериментально повышение начальных скоростей метания при применении исследуемой схемы метания описывается теоретически в результате расчета по разработанной программе. Решения в отдельных областях сшиваются на линии движения элемента, конструктивно разделяющего области с энергетическими составами.

Имеющиеся исследовательские программные продукты, позволяющие проводить расчеты баллистики систем классической схемы выстрела, не позволяют расчетным путем определять параметры рассматриваемой нетрадиционной схемы метания.

При разработке программного комплекса учтены особенности труда конструктора – разработчика баллистических систем. Эффективное использование результатов расчетов проектируемой системы возможно при соответствующей обработке этих результатов. Важными являются не просто значения параметров в отдельных областях и на границах областей, а зависимости изменения значений параметров в динамике.

В разработанном программном комплексе расчетные результаты выводятся в виде графиков зависимостей, например, давлений на различных границах системы, скоростей метаемого и разделительного элементов в

процессе функционирования баллистической системы новой схемы организации процесса выстрела.

Таким образом, существенно повышается производительность труда при отработке рассматриваемых баллистических систем.

Выводы по главе 3

Были выбраны средства реализации программного комплекса. А также была осуществлена его разработка, которая отвечает требованиям заказчика. В программном комплексе предусмотрена возможность ввода входных данных, запуска процедуры вычисления параметров, вывод полученных данных в виде текста, таблицы и отображение результатов на графике.

Тестирование программного комплекса как программного продукта при помощи черного ящика с описанием тест-кейсов. Реализованный программный комплекс является стабильным и исправным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом выпускной квалификационной работы является разработанный программный комплекс, предназначенный для изучения баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части.

Была проанализирована деятельность человека, проводящего исследование, спроектирована контекстная диаграмма с последующей ее декомпозицией основных бизнес-процессов изучения баллистических возможностей с разделением заряда на две части. Для наглядного представления была построена диаграмма потоков данных, на основе анализа были сформированы основные требования к разрабатываемому продукту.

Были выделены основные функции, которые должен выполнять программный комплекс. А также был осуществлен сравнительный анализ систем управления базами данных.

Были описаны основные принципы работы с программным комплексом. Осуществлено тестирование продукта.

Разработанный программный комплекс позволит осуществлять изучение баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части, а также строить график на основе полученных данных, что позволит ускорить проведение исследования по данному вопросу. Также программный комплекс позволит осуществить просмотр и повторное вычисление параметров, помещенных в базу данных.

Реализованный программный комплекс обеспечивает сокращение временных затрат на изучение баллистических возможностей выстрелов с разделением заряда на две части, а также выводит полученные результаты в удобной форме.

Развитие программного комплекса предусматривает увеличение функциональных возможностей для ввода данных; формирование анимированных графиков по полученным данным для наглядного представления. А также модернизация по мере востребованности для проведения исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативно-правовые акты

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 24.003-84, ГОСТ 22487-77; введ. 1992-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 14 с.
2. ГОСТ 34.601-90. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. – Введ. 1992-01-01. М.: Издательство стандартов, 1992. – 6 с. – (Основополагающие стандарты).
3. ГОСТ 19.701-90. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения (ИСО 5807-85). Введ. 1992-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1992 – 14 с. – (Единая система программной документации).
4. ГОСТ 2.105-95. Общие требования к текстовым документам. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 29 с. – (Единая система конструкторской документации).
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-99. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств. Введ. 2000-07-01. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 30 с.
6. ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления. – 67 Введ. 2002-07-01. – Минск: Издательство стандартов, 2001. – 35 с. – (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).

Научная и методическая литература

7. Бураков, П.В., Косовцева, Т.Р. Информатика. Алгоритмы и программирование. [Текст]: учебное пособие / П.В. Бураков, Т.Р. Косовцева.— Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2014. — 83 с.

8. Душин, С.Е., Красов, А.В., Литвинов, Ю.В. Моделирование систем и комплексов [Текст]: учебное пособие / С.Е. Душин, А.В. Красов, Ю.В.Литвинов. — Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2011. — 178 с.
9. Захаренков, В.Ф. Внутренняя баллистика и автоматизация проектирования артиллерийских орудий [Текст]: учебник / В.Ф. Захаренков. — СПб: Балт. гос. техн. ун-т., 2010. —276 с.
10. Колесов, Ю.Б. Компонентные технологии математического моделирования [Текст]: учебное пособие / Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. — Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2013. — 233с.
11. Косяков, М.С. Введение в распределенные вычисления [Текст] / учебное пособие / М.С. Косяков. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2014. — 155 с.
12. Петров, В.Ю. Информатика. Алгоритмизация и программирование. [Текст]: учебное пособие / В.Ю. Петров. — Часть 1 — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. — 91 с.
13. Тарасова, О.П. Организация проектной деятельности дизайнера: учеб.пособие / О.П. Тарасова. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 51 с.
14. Тупицына, А.И. Методы компьютерного моделирования физических процессов и сложных систем [Текст]: учебное пособие / А.И. Тупицына. — СПб: Университет ИТМО, 2014. — 48 с.
15. Сафронов, А.И. Внутренняя баллистика ствольной системы с присоединенной камерой подгона [Текст] / А.И.Сафронов, А.Ю. Крайнов//Вестник ТГПУ, Вып.6 (43), 2004. – С. 67-70.
16. Сафронов, А.И. Использование нетрадиционной схемы метания в баллистических схемах [Текст] / А.И. Сафронов, Л.В. Комаровский // Международная конференция по математике и механике: Избранные доклады / Под общей редакцией Н.Р. Щербакова.— Томск, 2003. – С.182-187.
17. Семенов, И. В., Меньшов, И. С., Подложнюк, А. Д., Ахмедьянов, И. Ф. Численное моделирование теплового состояния ствола артиллерийского

орудия при выстреле [Текст] / И.В. Семенов, И.С. Меньшов, А.Д. Подложнюк, И.Ф. Ахмедьянов // Горение и взрыв, Т. 7. № 7, 2014. – С. 374-379.

18. Семенов, И. В., Меньшов, И. С., Уткин, П. С., Ахмедьянов, И. Ф. БАРС- 1МП – программный комплекс для численного исследования внутрибаллистических процессов на многопроцессорных ЭВМ [Текст] / И.В. Семенов, И.С. Меньшов, П.С. Уткин, И.Ф. Ахмедьянов // Известия ВУЗов. Физика, №6/3, 2013. – С. 61-63.

Электронные ресурсы

19. Сафронов, А. И., Морозов, А. А., Азовский, В. М. Анализ и баллистическое проектирование системы малого калибра с присоединенным зарядом, 2016 // ИННОВАЦИИ. НАУКА. ОБРАЗОВАНИЕ: электронное научно-техническое издание. № 4. [Электронный ресурс]: <http://ojs.innovjourn.ru/index.php/innov/article/view/28>

20. Сайт Проект IDEF.RU [Электронный ресурс]: статья / Проект компании «IDEF.RU» – М., 2013. Режим доступа: <http://www.idef.ru/idef.php>, свободный (дата обращения 20.01.2017).

21. Сравнительный анализ нотаций ARIS/IDEF и продуктов их поддерживающих [Электронный ресурс]: статья / Консалтинговая компания «iTeam» – М., 2014. Режим доступа: https://iteam.ru/publications/it/section_51/article_2518, свободный (дата обращения 03.12.2016).

22. Этапы разработки баз данных [Электронный ресурс]: статья, Режим доступа <http://inftis.narod.ru/db/db-10.htm>, свободный (дата обращения 24.05.2017).

Литература на иностранном языке

23. Baker E., Templeton D. Ballistics 2011: 26th International Symposium — DEStech Publications, 2011. – 2162 p.

24. Ingalls J. M. Interior Ballistics – Nabu Press. – Primary Source Edition, 2014. –258 p.

25. Trigo R.M.Z. Algorithms: C++: Data Structures, Automation & Problem Solving, w - Programming & Design Amazon Digital Services LLC, 2015 – 87 p.
26. Lodge D.W. Shot Accuracy Model for Predicting the Firing Performance of a Direct Fire Weapon System – Defence Evaluation & Research Agency, 2012 – 8p.
27. Toni Uimonen. Supporting Students in C++ Programming Courses with Automatic Program Style Assessment – Journal of Information Technology Education, 2014 – 18p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Фрагмент программного кода модуля вычисления параметров

Листинг 1. Фрагмент программного кода модуля вычисления параметров.

```
for (int i = 0; i<5; i++) W[i + 31] = 0.0;
L4 = L5 = A1 = A2 = A3 = A4 = true;
PM = PQ = JU = V1 = V2 = BP = UCH = PG = 0.0;
FF = 5.0; J = NET = 0;
MM = true; H8 = false; H7 = A6 = A7 = true; HP = HP1; DH = DH1;
PM1 = PM2 = PM3 = PM4 = 0.0; A5 = false; H5 = true;
A7 = false; FCB = 0.0;
L11: W[J + 12] = (1.0 / W[J + 10] - 1.0 / W[J + 4]) / (W[J + 6] /
W[J + 3] + W[J + 5] - 1.0 / W[J + 4]); W[J + 4] = W[J + 4] / DL;
W[J + 5] = W[J + 5] * DL;
W[J + 6] = W[J + 6] / (W[J] * pow(C0, 2)); W[J + 10] = W[J + 10] /
DL;
W[J + 3] = W[J + 3] / P0;
if (J == 0) W[9] = W[9] + OME2 + W[28];
W[J + 9] = BH1 / W[J + 9]; W[J + 8] = LK * DL * C0 / W[J + 8];
if (J == 0) goto L13;
W[37] = W[30] = FU + LZ;
N = (int) (FU / H); N1 = (int) (W[37] / H);
goto L14;
L13:
N = 1; N1 = (int) (X3 / H); W[32] = 0.0;
L14:
for (int i = N; i <= N1; i++)
{SS(H*(i - 0.5), &S);
R[i] = S*W[J + 10]; U[i] = 0.0; M[i] = 0.0;
P[i] = W[J + 3]; EP[i] = R[i] * P[i] * (S / R[i] - (1.0 - W[J +
12]) / W[J + 4] - W[J + 5] * W[J + 12]) / W[J]; PS[i] = W[J + 12];
}W[J + 13] = W[J + 14] = 0.0; W[J + 18] = W[J + 11];
W[J + 15] = P[N1]; SS(W[J + 18], &S); W[J + 16] = W[J + 10] * S;
W[J + 17] = W[J + 16] * W[J + 15] * (S / W[J + 16] - (1.0 - W[J +
12]) / W[J + 4] - W[J + 5] * W[J + 12]) / W[J]; if (J == 0)UCH =
W[13]; FCB = 0.0;
L16:
R2 = EP2 = U2 = M2 = PS2 = S2 = 0.0; N2 = N1 - 1;
R1 = R[N]; EP1 = EP[N]; U1 = U[N]; M1 = M[N]; PS1 = PS[N];
SS(H*(N - 0.5), &S1); if (!H12) goto L100;
AM1 = sqrt((W[J] + 1.0)*P[N] * pow(S1, 2) / (pow(R[N], 2)*(S1 /
R[N] - (1.0 - PS[N]) / W[J + 4] - PS[N] * W[J + 5])));
KYR = GG / (fabs(UCH) + AM1);
if (J == 0 && H7)T = KYR*H;
if (J != 0) KYR1 = KYR; else KYR0 = KYR;
if (!(J == 0 && !H7))goto L100;
if (KYR0 <= KYR1) KYR = KYR0; else KYR = KYR1; T = H*KYR;
L100:
for (int i = N; i <= N2; i++) {
MV = 1; R3 = R[i + 1]; EP3 = EP[i + 1];
U3 = U[i + 1]; M3 = M[i + 1];
```

```

P1 = P[i]; PS3 = PS[i + 1]; SS(H*(i + 0.5), &S3);
M[i] = M1 - T*(FN((U1 + U3) / 2.0, (U1 + U2) / 2.0, M1, M2, M3) +
(S1 + S3)*(P[i + 1] - P1) / 2.0) / H;
if (H8 && J == 19)M4 = R[i] * V2;
if (!H8 || J == 0)M4 = 0.0; M[i] -= M4; U[i] = M[i] * 2.0 / (R1 +
R3);
if (fabs(U[i]) <= 1e-20)U[i] = 0.0;
if (i == N)R[i] = R1 - T*(FN(U[i], 0.0, R1, R2, R3)) / H;
else R[i] = R1 - T*(FN(U[i], U[i - 1], R1, R2, R3)) / H;
Z1 = sqrt(pow(W[J + 1], 2) + W[J + 1] * 4.0*W[J + 2] * PS1)*P1*W[J
+ 8];
L22:
if (PS1 >= 0.999)goto L23;
if (i == N)PS[i] = PS1 - T*((FN(U[N], 0.0, PS1, PS2, PS3) - PS[i] *
U[i]) / H - Z1);
else PS[i] = PS1 - T*((FN(U[i], U[i - 1], PS1, PS2, PS3) - PS[i] *
(U[i] - U[i - 1])) / H - Z1);
goto L24;
L23:
Z1 = 0.0; PS[i] = 1.0;
L24:
if (i == N)EP[i] = EP1 - T*((FN(U[i], 0.0, EP1, EP2, EP3) + P[i] *
FN(U[i], 0.0, S1, S2, S3)) / H - Z1*R1*W[J + 6]);
else EP[i] = EP1 - T*((FN(U[i], U[i - 1], EP1, EP2, EP3) + P[i] *
FN(U[i], U[i - 1], S1, S2, S3)) / H - Z1*R1*W[J + 6]);
if (H8 && J == 19) E4 = P[i] * W[13] * (S3 - S1) / H*T;
if (!H8 || J == 0) E4 = 0.0;
EP[i] -= E4; P[i] = W[J] * EP[i] / (R[i] * (S1 / R[i] - (1.0 -
PS[i]) / W[J + 4] - W[J + 5] * PS[i]));
SS(H*(i - 0.5), &S);
if (i == N)goto L241;
if ((U[i] >= U[i - 1]))goto L242; KU = MU*R[i] / S*pow((U[i] - U[i
- 1]), 2);
goto L243;
L241:
if (U[i] >= 0.0)goto L242; KU = MU*R[i] / S*pow(U[i], 2);
goto L243;
L242: KU = 0.0; L243: P[i] += KU;
if (MV<3) {
P[i] = (P1 + P[i]) / 2.0;
PS[i] = (PS[i] + PS1) / 2.0;
MV = 5;
goto L22;
}R2 = R1; R1 = R3; EP2 = EP1; EP1 = EP3; U2 = U1; U1 = U3; M2 =
M1; M1 = M3; PS2 = PS1; S2 = S1; PS1 = PS3; S1 = S3;
} if (J == 19)goto L32;
if (!A6)goto L28;
if (W[15] <= PF1 + PG) goto L271; A6 = false;
goto L28;

```