

УДК 623.4.01

DOI: 10.22213/2413-1172-2022-1-27-37

Опыт использования программы «Универсальный механизм» для расчета автоматики стрелкового оружия и оценка перспектив ее применения*

Д. В. Чирков, доктор технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

М. А. Семенов, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. Б. Пряхин, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

При проектировании автоматического и самозарядного стрелкового оружия важным этапом является проведение оценочных расчетов работоспособности автоматики, подразумевающих, в том числе, определение скорости движения ведущего звена в цикле «откат – накат». Классические методы расчета автоматики оружия основаны на приведении механизмов к некоторой эквивалентной конструкции с одним ведущим звеном и действующей на него приведенной силой сопротивления. Данный метод является универсальным, но излишне трудоемким и сложно формализуемым, что связано с большим разнообразием конструктивного оформления механизмов автоматики. Кроме того, допущения, применяемые при приведении реальных механизмов к эквивалентному, несколько снижают точность расчетов.

С учетом того, что в современных условиях этап технического проекта заканчивается созданием электронного трехмерного макета изделия, появляется возможность проведения расчетов автоматики оружия с использованием современных программных комплексов кинематического и динамического анализа. Это, в свою очередь, позволит значительно снизить трудоемкость проведения расчетов при одновременном увеличении их точности.

В настоящей статье представлен опыт применения программы кинематического и динамического анализа «Универсальный механизм» для проведения расчетов автоматики самозарядного травматического пистолета. Приведено сопоставление результатов расчета автоматики, выполненных на основе классических методов и в программе «Универсальный механизм», показавшее совпадение в пределах 5 %.

В результате проведенной работы выявлены основные достоинства программного комплекса «Универсальный механизм»: возможность расчета сложных пространственных взаимодействий, не учитываемых ранее в классических методах (подачи, отражения гильзы), наглядность процесса (наличие анимации) и возможность самостоятельного создания модулей программы. К основным недостаткам можно отнести трудоемкость введения контактных взаимодействий (и ударов) и назначения параметров этих взаимодействий.

В результате проведенной работы можно сделать вывод, что программный комплекс «Универсальный механизм» пригоден для проведения кинематического и динамического анализов механизмов автоматики стрелкового оружия, и имеется возможность создания на его основе современного расчетно-проектировочного комплекса, приспособленного для разработки образцов стрелково-пушечного вооружения.

Ключевые слова: стрелковое оружие, расчет динамики, расчет автоматики.

Введение

Проектирование изделий в соответствии с ГОСТ 2.103–2013 обобщенно включает в себя стадии разработки технического предложения, эскизного проекта, технического проекта и разработку рабочей конструкторской документации.

При проектировании стрелкового оружия на стадии эскизного проекта выполняются расчеты внешней и внутренней баллистики, определяющие основные характеристики будущего образца, – патрон, длина и наружный контур ствола, выбор и обоснование схемы работы автоматики и основных узлов, назначение параметров авто-

матики, обеспечивающих надежное функционирование оружия, эскизная проработка изделия, которая в современных условиях может производиться на основе трехмерной модели.

На стадии технического проекта производится конструкторская проработка деталей узлов и механизмов образца (в электронной модели) параллельно с проверочными расчетами деталей на прочность, жесткость. После проработки и назначения всех исходных данных (масс, моментов инерции, усилия упругих элементов и др.) производится уточненный расчет автоматики оружия (расчет динамики движения ведущего звена автоматики с учетом взаимодейст-

© Чирков Д. В., Семенов М. А., Пряхин А. Б., 2022

* Обмен опытом.

Авторы выражают благодарность кандидату технических наук Ковалеву Роману Васильевичу за помощь в освоении программного комплекса «Универсальный механизм» и советы при написании данной статьи.

вующих с ним звеньев), по результатам которого вносятся дополнительные изменения.

Современное программное обеспечение позволяет значительно ускорить процесс проектирования и конструирования, а наличие трехмерного электронного макета делает возможным проведение кинематического и динамического анализа работы механизмов оружия непосредственно по этому макету на всех стадиях проектирования. Однако такой анализ малораспространен из-за отсутствия научно обоснованных методик применения подобного программного обеспечения в сфере проектирования стрелкового оружия, а также из-за высокой стоимости пригодных для расчета программных продуктов. На практике известны примеры применения программных комплексов для кинематического и динамического анализа работы образцов оружия, однако они носят единичный характер при индивидуальной верификации модели для конкретного образца, а результаты проведенных работ не систематизируются.

Таким образом, классические методы расчетов, применяемые при проектировании оружия, на сегодняшний день остаются основными, а электронный макет изделия используется лишь для создания двухмерных схем, по которым ведется кинематический анализ. Применение современных программ динамического и кинематического анализа позволяет значительно сократить временные затраты и повысить точность расчетов за счет автоматизации большей их части, следовательно, **задача** создания научно обоснованных методик применения таких программ при проектировании стрелкового оружия является важной и актуальной.

Описание классического метода расчета автоматики оружия

Расчет автоматики стрелкового оружия сводится к определению элементов движения ведущего звена в цикле «откат – накат». Классическая методика расчета автоматики подразумевает замену всех механизмов автоматики эквивалентным механизмом с одним (ведущим) звеном приведения, совершающим простое движение (чаще всего поступательное) [1]. Условием эквивалентности является равенство кинетической энергии условной массы звена приведения сумме кинетических энергий всех взаимодействующих с ним звеньев автоматики и равенство элементарной работы, совершаемой приведенной силой, сумме элементарных работ со стороны всех действующих в механизмах автоматики сил сопротивления. В результате вся система пространственных уравнений сво-

дится к одному уравнению динамики ведущего звена:

$$M_{\text{пр}}(t) \frac{dV_{\text{вз}}}{dt} = F_{\text{дв}}(t) - F_{\text{пр}}(t),$$

где $M_{\text{пр}}(t)$ – приведенная масса ведущего звена с учетом приведенных масс взаимодействующих с ним звеньев; $F_{\text{дв}}(t)$ – движущая сила, действующая на ведущее звено автоматики; $F_{\text{пр}}(t)$ – приведенная сила сопротивления, включающая в себя усилие возвратного механизма и приведенные к ведущему звену силы от остальных взаимодействующих с ним узлов и механизмов.

Основной сложностью применения классического метода расчета автоматики стрелкового оружия является необходимость определения передаточных отношений и КПД, обеспечивающих условие эквивалентности приведенных масс и сил. Под передаточным отношением в этом случае подразумевается отношение линейной скорости ведомого звена к линейной скорости ведущего звена, которое определяется на основе построения плана скоростей звеньев, а КПД механизмов в общем случае определяется на основе построения планов реакции связей в конкретном положении звеньев. Для определения величин передаточного отношения на всем участке взаимодействия звеньев требуется прорисовать планы скоростей и реакции связей для нескольких положений механизма, а если взаимодействие пространственное, то это требуется сделать в нескольких плоскостях.

Описанный метод универсален и прост в освоении, однако на практике достаточно трудоемок из-за большого разнообразия механизмов в конкретном образце и наличия в некоторых механизмах сложных пространственных взаимодействий, которые требуют упрощения и разложения на плоские кинематические схемы, что приводит к снижению точности расчетов. В то же время большое разнообразие типов и принципиальных схем механизмов не позволяет формализовать процесс и создать типовые решения. Очевидно, что при современном подходе к проектированию нужно проводить кинематический и динамический анализ трехмерных макетов проектируемых изделий, а не упрощать их до плоских схем. Поэтому применение современных программ кинематического и динамического анализа механических систем должно позволить сократить затраты времени на расчет и одновременно повысить точность и адекватность результатов.

*Существующие программы
кинематического и динамического
анализа механических систем*

На сегодняшний день существует множество программных комплексов и продуктов, способных производить расчет кинематики и динамики пространственных механических систем, например: T-Flex (модуль «Динамика») [2, 3], SolidWorks Simulation [4], ANSYS LS-Dyna [5, 6], ANSYS Autodyn [7], ANSYS Motion, MSC Adams [8], MSC Nastran, PTC Creo Simulation, Autodesk Inventor [9], «Универсальный механизм» [10, 11], EULER [12] и др. Среди указанных программ лишь T-Flex, «Универсальный механизм» и EULER являются отечественными разработками.

Вышеописанные программы активно применяются в машиностроении, и для многих сфер имеется научно-методическая база, опирающаяся на комплекс экспериментальных работ, однако для стрелкового оружия научно обоснованных методик применения конкретных программных продуктов пока не создано.

В настоящей работе описывается опыт применения программы «Универсальный механизм» для расчета автоматики оружия. **Цель исследования** – оценка применимости и целесообразности использования программы в процессе проектирования стрелкового оружия.

Описание программы

«Универсальный механизм» (версия 9)

Программа работает с трехмерными телами и сборками, разработанными как внутри самой программы, так и в иных программах трехмерного моделирования: КОМПАС, Solid Works, Autodesk Inventor, Unigraphics NX и Pro/ENGINEER, также поддерживается универсальный формат .STEP.

Для создания расчетной модели механизма используется программа UM Input, для непосредственного решения с выводом результатов моделирования – UM Simulation.

Механизмы описываются как системы твердых тел, шарниров и силовых элементов. Расчет кинематики и динамики в них производится без учета деформаций твердотельных звеньев (упругие звенья, буферы и демпферы допускаются), контактные взаимодействия (удары) учитываются фиктивно через условное упругое взаимопenetрование деталей и возникновение условной нормальной реакции в обратном направлении [13], что уместно в рамках проектирования стрелкового оружия, так как детали стрелкового оружия должны работать в пределах упругих деформаций. Поддерживается не-

посредственная анимация движения модели в процессе расчета.

При должном подходе к параметризации моделей в UM Input после перехода к решению в UM Simulation помимо параметров расчета можно задать начальное положение деталей, отключить либо изменить действующие силы без изменения самой модели, тем самым можно моделировать различные ситуации и сценарии поведения механизма (например, процесс нажатия спускового крючка, взведение вручную, снятие с останова затвора, отражение с момента его начала и др.).

Описание объекта моделирования

В качестве объекта для расчета принят травматический пистолет, разрабатываемый в рамках проекта создания оружейных студенческих конструкторских бюро предприятий при кафедре «Стрелковое оружие» [14]. В процессе проектирования данного пистолета был разработан полный электронный макет, а расчеты кинематики и динамики велись по классическим методикам. Пистолет имеет автоматику, работающую за счет отдачи свободного затвора, ударный механизм ударникового типа, спусковой механизм одиночного действия с предварительным взведением (частичное взведение производится в накате, дозведение во время нажатия на спусковой крючок), магазин коробчатый однорядный с подающим механизмом пружинного типа.

Описание методов проектирования рассматриваемого образца и результаты расчета автоматики

Для более точного расчета автоматики был применен метод, основанный на экспериментальных данных стрельбы из нескольких образцов травматических пистолетов, позволивших согласовать расчеты основной задачи внутренней баллистики и автоматики. Сила сопротивления извлечению гильзы из патронника учитывалась в соответствии с рекомендациями работы [15]; остальные силы сопротивления движению (от возвратного механизма, ударного механизма, механизма подачи, механизма отражения, механизма извлечения гильзы, от разобшителя) ведущего звена учитывались посредством приведения к эквивалентному механизму с одним звеном, движущимся поступательно под действием силы давления пороховых газов на дно канала ствола и приведенной силы сопротивления от всех взаимодействующих звеньев.

Результаты расчета скорости ведущего звена представлены графически на рисунке 1.

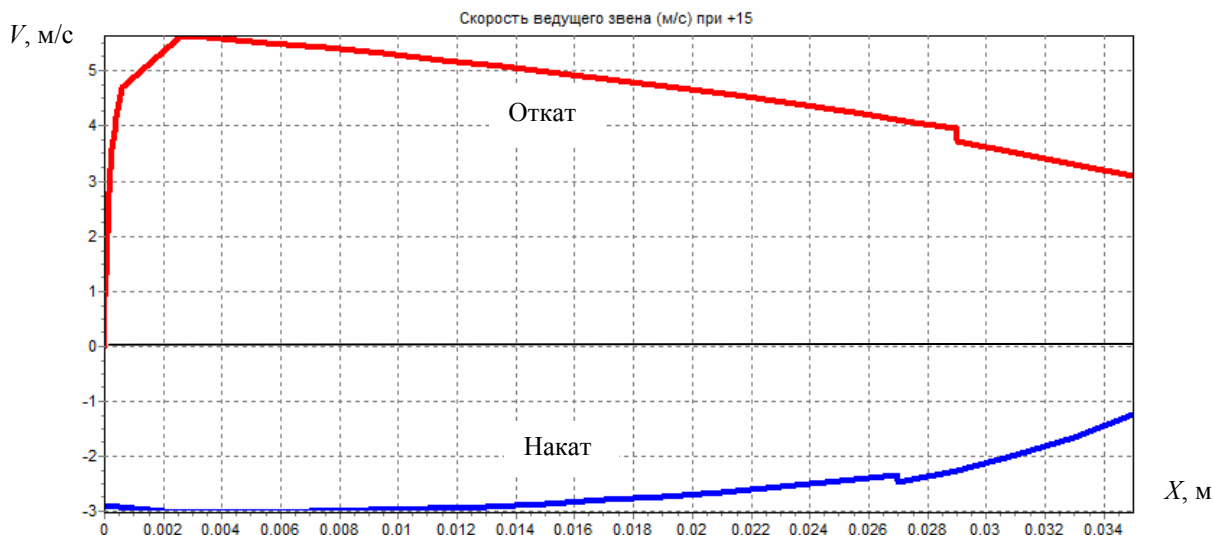


Рис. 1. Зависимость скорости ведущего звена от перемещения, полученная при расчете классическим методом

Fig. 1. The dependence of the speed of the leading link on the coordinate, obtained from the calculation by the classical method

Описание расчета с применением программы «Универсальный механизм»

Для проведения расчетов в программу была импортирована трехмерная модель пистолета, выполненная с применением программы «Компас-3D» (v16). Массинерционные характеристики деталей, силовые характеристики пружины и коэффициенты трения аналогичны принятым в расчетах по классической методике. Следует отметить, что для построения привычных графиков модель следует располагать так, чтобы

ведущее звено автоматики двигалось по главной оси вперед, либо вводить отрицательный масштабный коэффициент при построении графиков. Интерфейс программы с импортированным электронным макетом пистолета представлен на рисунке 2.

Движущая сила, приложенная к затвору, была принята в соответствии с расчетами внутренней баллистики и задана группой точек с линейной интерполяцией ломаной кривой (рис. 3, а).

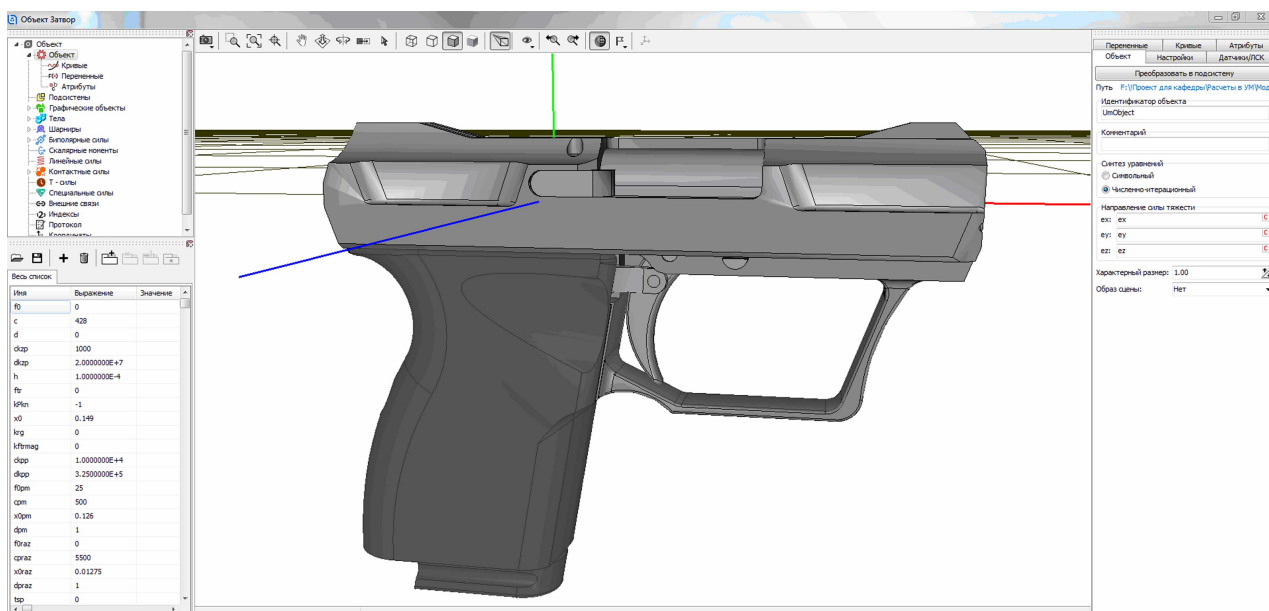


Рис. 2. Модель пистолета в программе «Универсальный механизм»

Fig. 2. Pistol model in the «Universal Mechanism» program

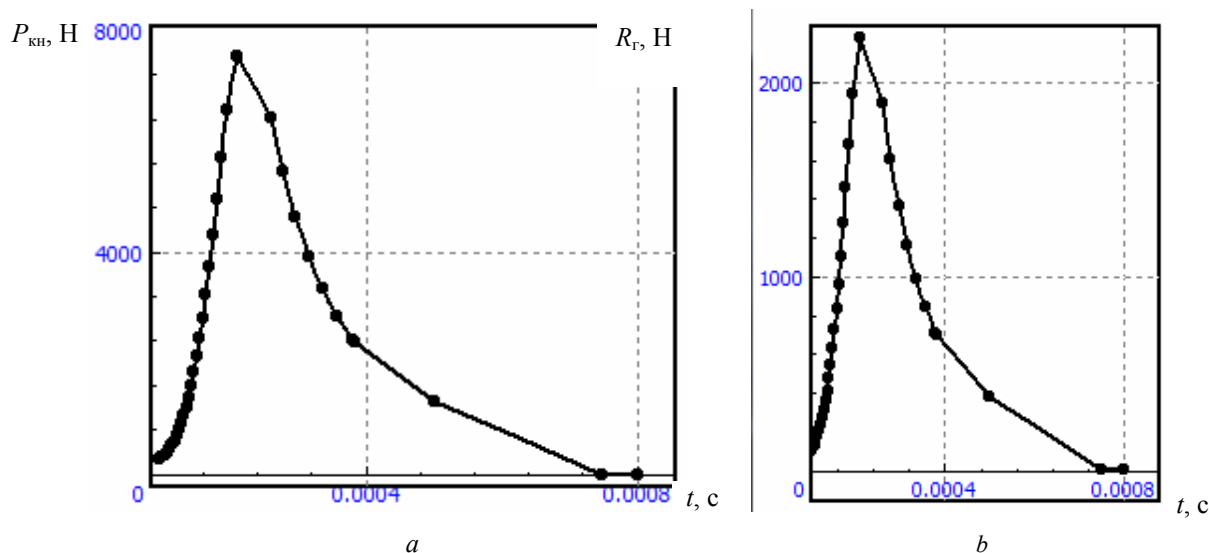


Рис. 3. Заданные зависимости: *a* – силы давления пороховых газов на дно канала ствола $P_{\text{кн}}$; *b* – силы сопротивления извлечению гильзы R_r

Fig. 3. The given dependences: *a* - the forces of pressure of the powder gases at the bottom of the bore $P_{\text{кн}}$; *b* - forces of resistance to the extraction of the cartridge case R_r

Сила сопротивления извлечению гильзы, также приложенная к затвору, определялась в соответствии с зависимостью

$$R_r = P_{\text{кн}} \left(1 - \frac{1}{\Phi_3} \right),$$

где $P_{\text{кн}}$ – сила давления пороховых газов на дно канала ствола; Φ_3 – коэффициент фиктивности массы свободного затвора [15].

Зависимость изменения силы сопротивления извлечению гильзы после расчета также была задана группой точек с линейной интерполяцией ломаной кривой (рис. 3, *b*).

Все сопряжения движущихся при выстреле деталей были заданы с помощью шарниров, неподвижные друг относительно друга детали были объединены как неделимые тела для упрощения расчетной модели.

Пружины заданы посредством введения биполярных сил, для некоторых пружин спускового механизма дополнительно введены коэффициенты диссипации энергии, чтобы принудительно гасить незатухающие колебания соударяющихся деталей. Призматическая пружина магазина заменена условной цилиндрической пружиной с соответствующими параметрами.

Контакты (удары) реализованы посредством простых контактных сил «точки – плоскость», «точки – цилиндр», «цилиндр – плоскость» и др. Трехмерный контакт (3D-контакт в программе) не использовался. Коэффициенты контактной жесткости (величины условного внедрения одного тела в другое) и диссипации, характери-

зующие модель удара в программе, были рассчитаны в соответствии с методикой, описанной в руководстве к программе (Универсальный механизм 9. Техническое руководство, с. 119). Частота контактного взаимодействия (собственная частота колебаний тел) была принята равной $f = 2000$ Гц, чтобы обеспечить минимальную приемлемую контактную жесткость для ускорения процесса моделирования.

На рисунке 4, *a-f*, представлены снимки экрана с процессом расчета автоматики пистолета в программе «Универсальный механизм» в характерные моменты работы.

Результаты расчета динамики механизмов пистолета в программе «Универсальный механизм» представлены графически в виде зависимостей скорости затвора по его перемещению (рис. 5) и скорости и перемещения затвора по времени (рис. 6 и 7 соответственно).

Сравнение результатов расчета движения ведущего звена, полученных по классической методике и с применением программы «Универсальный механизм» при некоторых характерных моментах работы автоматики, приведено в таблице.

Таким образом, полученные данные показали сходимость результатов расчета движения ведущего звена автоматики проектируемого пистолета в пределах 5 % за исключением участков, где применение программы позволило учесть процессы, не учитываемые напрямую при расчете по классической методике (взаимодействие ударника со спусковой тягой – момент около 20 мм после отката; процесс подачи – с 28 до 26 мм наката).

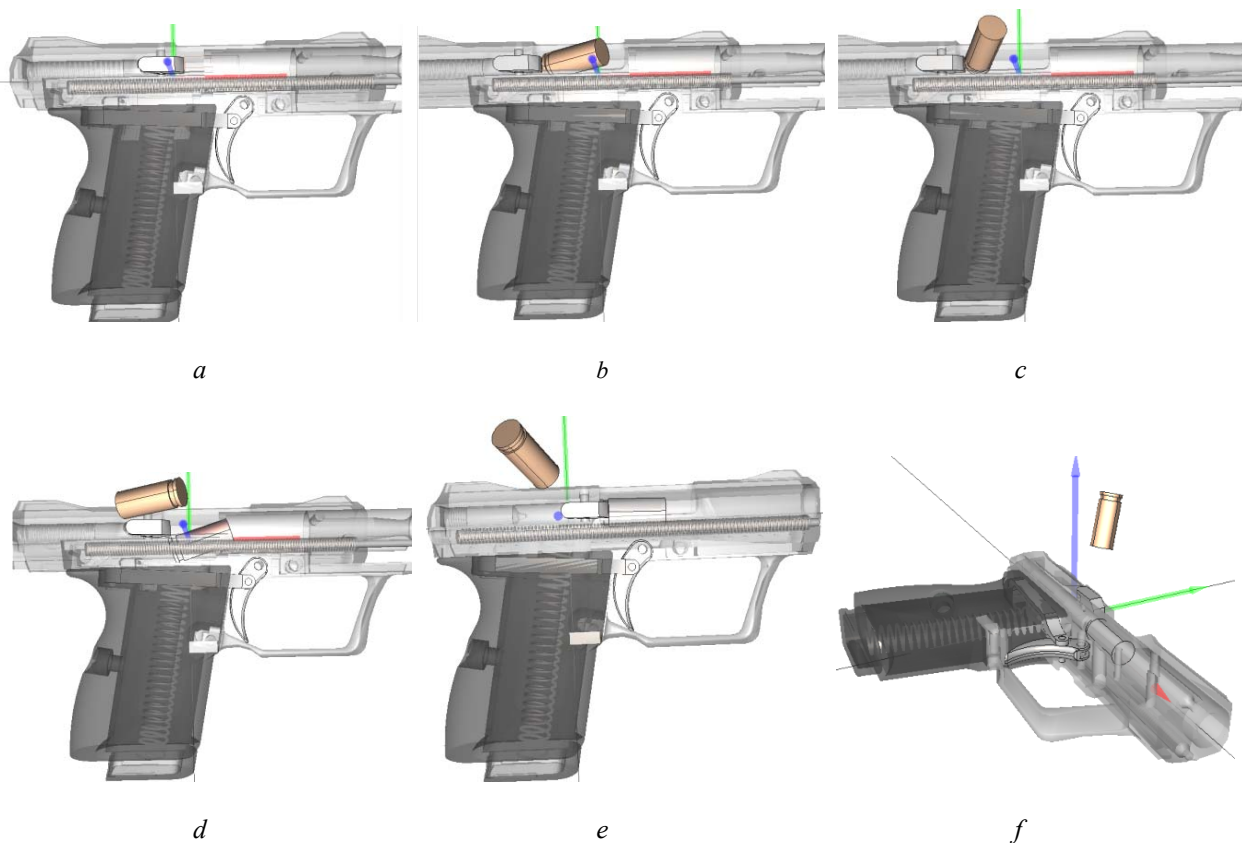


Рис. 4. Процесс расчета динамики механизмов пистолета в откате: *a* – конец работы автоматики; *b* – отражение гильзы; *c* – удар в крайнем заднем положении; *d* – начало подачи патрона; *e* – удар в крайнем переднем положении; *f* – положение гильзы в пространстве после удара подвижных частей в крайнем переднем положении

Fig. 4. The process of calculating the dynamics of the pistol mechanisms in the work cycle: *a* - the end of the automation; *b* - ejection of the cartridge case; *c* - impact in the rear position; *d* - the beginning of the feeding of the cartridge; *e* - impact in the forward position; *f* - the position of the cartridge case in space after the end of cycle

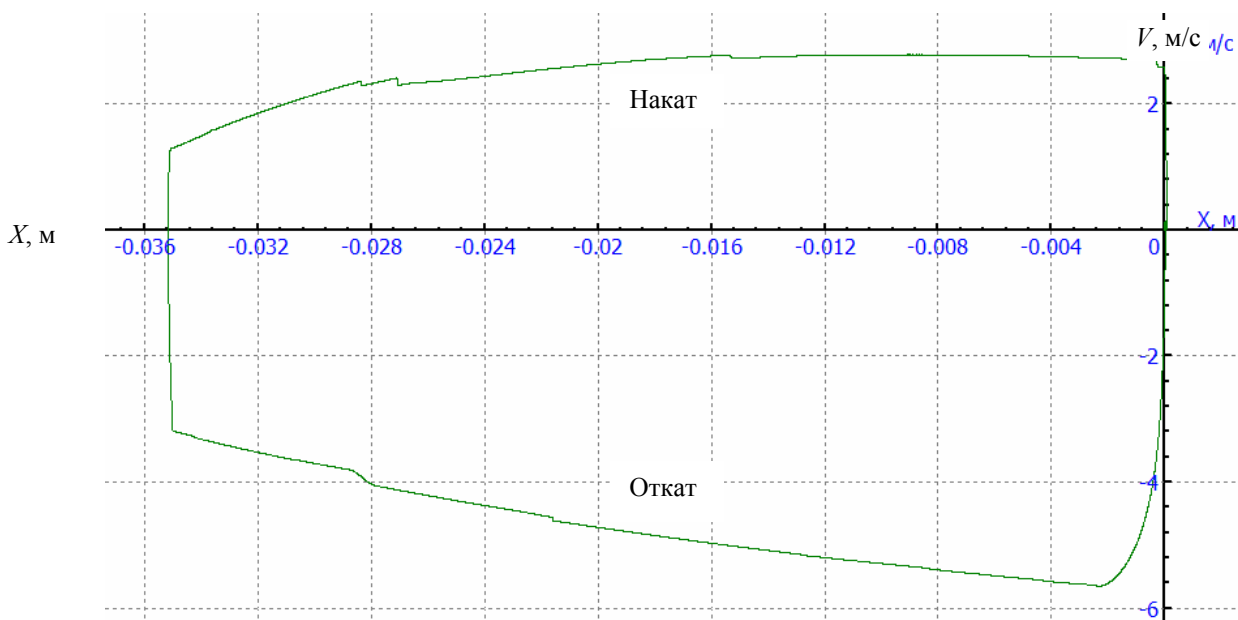


Рис. 5. График изменения скорости затвора по перемещению: по вертикали – скорость затвора, м/с; по горизонтали – перемещение затвора, м (график перевернут, так как в абсолютных координатах модели затвор движется против главной оси)

Fig. 5. The graph of changes of leading link speed by movement: vertically - leading link speed, m/s; horizontally - leading link movement, m (the graph is inverted because in absolute coordinates of the model the leading link moves against the main axis)

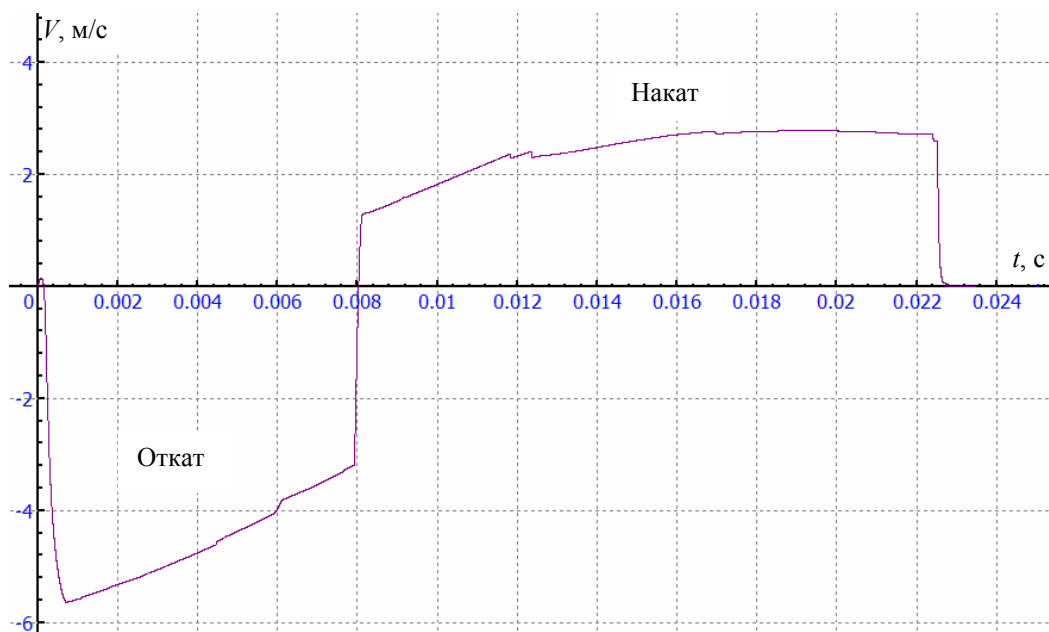


Рис. 6. График изменения скорости затвора по времени: по вертикали – скорость затвора, м/с; по горизонтали – время, с

Fig. 6. The graph of changes of leading link speed by time: vertically - leading link speed, m/s; horizontally - time, s

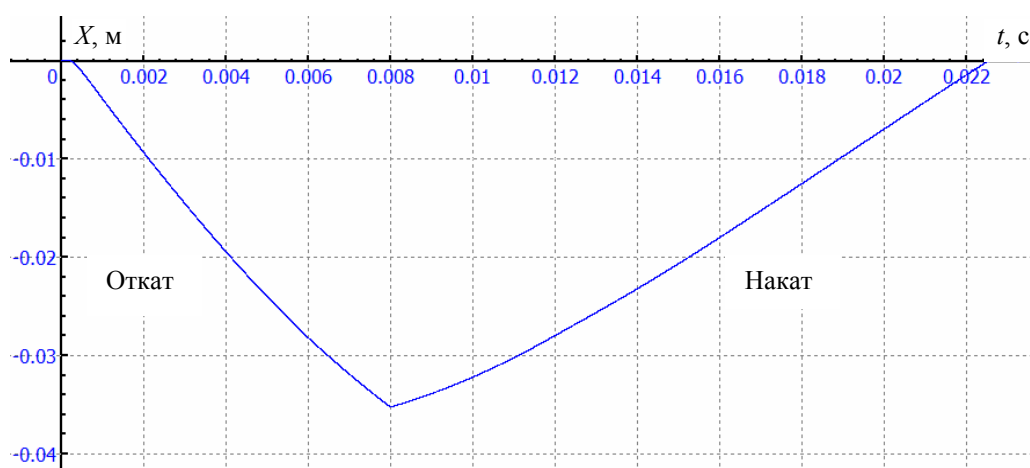


Рис. 7. График изменения координаты затвора по времени: по вертикали – координата затвора, м; по горизонтали – время, с (график перевернут, так как в абсолютных координатах модели затвор движется против главной оси)

Fig. 7. The graph of changes of leading link movement by time: vertically - leading link movement, m; horizontally - time, s (the graph is inverted because in absolute coordinates of the model the leading link moves against the main axis)

Сравнение результатов расчета в характерные моменты работы автоматики

Comparison of the calculation results at the characteristic moments of the automation

Методика Участок циклограммы	Классическая методика			«Универсальный механизм»		
	Время t , мс	Перемещение затвора X_z , мм	Скорость затвора V_z , м/с	Время t , мс	Перемещение затвора X_z , мм	Скорость затвора V_z , м/с
Начало работы	0	0	0	0	0	0
Конец периода последствия	0,75	2,62	5,64	0,72	2,23	5,66
Удар при отражении (до/после)	6,00	28,0	4/3,76	5,98	27,9	4,04/3,88
Удар в КЗП (до/после)	7,60	35,0	3,31/1,24	7,90	35,0	3,22/1,05
Начало взведения боевой пружины	12,0	27,0	2,32	12,6	27,0	2,25
Начало подачи	12,0	27,0	2,32	11,5	28,5	2,26
Взаимодействие с выбрасывателем (до/после)	21,0	2,00	3,01/2,98	22,0	1,80	2,65/2,6
Удар в КПП	22,0	0	2,88	23,0	0	2,59

Также из полученных результатов можно сделать вывод, что не учитываемые в классической методике процессы не оказывают существенного влияния на скорость движения ведущего звена.

Выводы и перспективы использования программы

Опыт использования программы «Универсальный механизм» при расчете автоматики позволил выявить ее достоинства и недостатки.

Достоинства программы:

1) возможность ввода пользовательских систем дифференциальных уравнений, которые будут решаться совместно с уравнениями движения модели (есть возможность создать специализированную программу для расчета стрелкового оружия на базе данного программного комплекса);

2) возможность воспроизведения анимации движения во время и после расчетов;

3) возможность расчета пространственных контактных взаимодействий сложных трехмерных тел и сложного пространственного движения тел – процесса подачи, досылания патрона, отражения и полета гильзы и др.;

4) возможность задавать логические элементы (так называемые триггеры), что позволяет имитировать влияние на динамику движущихся частей различных силовых факторов, введенных в модель, после наступления заданных событий – определенного момента времени или координаты деталей (например, сила от работы дульных устройств, работы газоотводного механизма и др.);

5) расширенные модели трения, контакта и работы пружин по сравнению с используемыми в классическом методе расчета;

6) невысокие системные требования.

Недостатки программы:

1) при замене трехмерных контактов набором простых значительно возрастает трудоемкость создания расчетной модели;

2) ограниченные возможности задания трехмерного контакта (одно из взаимодействующих тел должно быть выпуклым многогранником, либо совокупностью таковых), что требует доработки моделей;

3) сопряжения сборок, заданные в САД-программах, некорректно переносятся в программу «Универсальный механизм» и в большинстве случаев не могут быть использованы при расчете. Сборки приходится пересобирать заново в программе UM Input;

4) трудоемкость подбора коэффициентов жесткости и диссипации в контактных взаимодействиях кинематических пар;

5) ограниченные возможности и неудобство моделирования внутри программы по сравнению с обычными САД-программами.

В целом программа «Универсальный механизм» пригодна для использования при расчетах динамики движения узлов и механизмов стрелкового оружия, а также для расчетов сложных пространственных процессов: подачи, досылания, отражения, пространственного взаимодействия деталей и др.

Дальнейшая работа по созданию методик применения программы «Универсальный механизм» при проектировании стрелкового оружия направлена:

1) на уточнение методики по назначению коэффициентов жесткости и диссипации энергии в контактных взаимодействиях, коэффициентов трения, согласованных с результатами комплекса экспериментальных работ;

2) разработку методики введения усилий от газодинамических устройств, не рассчитываемых в программе (дульных устройств, газоотводных механизмов), в электронный макет;

3) проведение комплекса расчетов различных образцов, имеющих различные схемы работы автоматики, под различные типы патронов и сопоставление результатов с экспериментальными данными и результатами расчетов в соответствии с классическими методиками;

4) создание специализированного расчетного комплекса путем создания расчетного модуля для программы, в котором будет введена система дифференциальных уравнений внутренней баллистики, периода последствий, отвода части пороховых газов из канала ствола в газовую камеру и др., решаемая совместно с уравнениями динамики механизмов оружия;

5) разработку методики моделирования стрелковых систем более высокого уровня («станок – оружие», «стрелок – оружие»).

При адаптации программы «Универсальный механизм» под специфику проектирования стрелкового оружия ее использование позволит заменить кинематический анализ плоских схем и расчет приведенных масс и сил, ускорить процесс расчетов, учесть сложные взаимодействия и сделать расчет динамики подвижных частей оружия более достоверным за счет меньшего количества допущений и учета большего количества взаимодействий.

Кроме того, возможности программы позволяют создать на ее основе современный расчетно-проектировочный комплекс, приспособленный для разработки образцов стрелково-пушечного вооружения, для чего необходимо

включение в программу модулей расчета внутренней и промежуточной баллистики, процесса отвода пороховых газов из канала ствола и др.

Библиографические ссылки

1. *Галаган Л. А., Чирков Д. В., Сахратов Р. Ю.* Автоматы Калашникова. Функционально-морфологический анализ : монография. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. 160 с. (Гордость моя Удмуртия).

2. *Попугаев М. Г.* Моделирование пространственного трехзвенного поворотного механизма в программе T-Flex // Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2015. № 3. С. 69–72.

3. *Стрыгин С. В., Наседкин К. В.* Проверка решения задачи синтеза кулачкового механизма средствами программного комплекса T-Flex // Новые технологии в учебном процессе и производстве. 2016. С. 336–341.

4. *Алямовский А.* SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М. : Пресс, 2015. 562 с.

5. *Cheng Y.* Investigation on anti-penetration performance of reinforced concrete targets based on ANSYS/LS-DYNA. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 677, no. 2, p. 022064.

6. *Kumar M.S.* Rotor dynamic analysis using ANSYS. IUTAM Symposium on Emerging Trends in Rotor Dynamics, Springer, 2011, pp. 153-162.

7. *Кройтор О. К.* Моделирование пробивания плоских преград в Ansys Autodyn // Аллея науки. 2017. Т. 2, № 10. С. 241–245.

8. *Vavro jr J.* Kinematic and dynamic analysis and distribution of stress in items of planar mechanisms by means of the MSC ADAMS software. *Manufacturing technology*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 267-270.

9. *Zafar A., Umida N., Shakhnoza K.* Modeling dynamic operation of mechanisms in Autodesk Inventor Professional 1. International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), IEEE, 2019.

10. *Dmitry Pogorelov, Alexander Rodikov, Roman Kovalev.* Parallel computations and co-simulation in Universal Mechanism software. Part I: Algorithms and implementation. *Transport problems*, 2019, vol. 14, no. 3. DOI: 10.20858/tp.2019.14.3.15.

11. *Dmitry Pogorelov, Alexander Rodikov, Roman Kovalev.* Parallel computations and co-simulation in Universal Mechanism software. *Transport problems*, 2019, vol. 14, no. 4. DOI: 10.20858/tp.2019.14.4.3.

12. *Бойков В. Г.* Моделирование движения автомобиля в программном комплексе EULER и сравнение расчетов с натурными испытаниями. Мобильные роботы и мехатронные системы : материалы с Всероссийского научно-технического фестиваля молодежи имени профессора Е. А. Девянина «Мобильные роботы 2005». М., 2005. С. 129–137.

13. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел. Динамика, проч-

ность и надежность транспортных машин / Д. Ю. Погорелов, А. Э. Павлюков, Т. А. Юдакова, С. В. Котов ; под ред. В. И. Сакало. Брянск : БГТУ, 2001. С. 11–23.

14. *Чирков Д. В., Федорова Е. А.* Студенческое оружейное конструкторское бюро предприятия как форма интеграции в системе «Наука – Образование – Производство» // Военная безопасность России: взгляд в будущее : материалы 6-й Международной межведомственной научно-практической конференции научного отделения № 10 Российской академии ракетных и артиллерийских наук (Москва, 18 марта 2021 г.). М. : Изд-во МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2021. С. 401–404.

15. *Галаган Л. А.* Методы учета силы сопротивления гильзы при извлечении из патронника // Вестник ИжГТУ. 2012. № 2 (54). С. 29–32.

References

1. Galagan L.A., Chirkov D.V., Sakhratov R.Yu. *Avtomaty Kalashnikova. Funktsional'no-morfologicheskii analiz* [AK (Kalashnikov assault rifles). Functional and morphological analysis]. Izhevsk: Kalashnikov ISTU Publ., 2018, 160 p. (in Russ.).

2. Popugaev M.G. [Modeling a spatial three-link rotary mechanism in the T-FLEX program]. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii*, 2015, no. 3, pp. 69-72 (in Russ.).

3. Strygin S.V., Nasedkin K.V. [Checking the solution to the problem of synthesizing the cam mechanism by means of the “T-Flex” software package]. *Novye tekhnologii v uchebnoy protsesse i proizvodstve*, 2016, pp. 336-341 (in Russ.).

4. Alyamovskii A. SolidWorks Simulation. *Inzhenernyi analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendatsii*. [Engineering analysis for professionals: tasks, methods, recommendations]. Moscow, Press Publ., 2015, 562 p. (in Russ.).

5. Cheng Y. Investigation on anti-penetration performance of reinforced concrete targets based on ANSYS/LS-DYNA. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 677, no. 2, p. 022064.

6. Kumar M.S. Rotor dynamic analysis using ANSYS. IUTAM Symposium on Emerging Trends in Rotor Dynamics, Springer, 2011, pp. 153-162.

7. Krojtor O.K. [Flat barrier penetration simulation in Ansys Autodyn]. *Alleja nauki*, 2017, vol. 2, no. 10, pp. 241-245 (in Russ.).

8. Vavro jr J. Kinematic and dynamic analysis and distribution of stress in items of planar mechanisms by means of the MSC ADAMS software. *Manufacturing technology*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 267-270.

9. Zafar A., Umida N., Shakhnoza K. Modeling dynamic operation of mechanisms in Autodesk Inventor Professional 1. International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), IEEE, 2019.

10. Dmitry Pogorelov, Alexander Rodikov, Roman Kovalev. Parallel computations and co-simulation in

Universal Mechanism software. Part I: Algorithms and implementation. *Transport problems*, 2019, vol. 14, no. 3. DOI: 10.20858/tp.2019.14.3.15

11. Dmitry Pogorelov, Alexander Rodikov, Roman Kovalev. Parallel computations and co-simulation in Universal Mechanism software. *Transport problems*, 2019, vol. 14, no. 4. DOI: 10.20858/tp.2019.14.4.3.

12. Bojkov V.G. *Modelirovanie dvizhenija avtomobilja v programnom komplekse EULER i sravnenie raschetov s naturnymi ispytaniem* [Simulation of vehicle movement in the EULER software package and comparison of calculations with experiments]. *Mobil'nye roboty i mehatronnye sistemy: Materialy s Vserossijskogo nauchno-tehnicheskogo festivalja molodezhi imeni professora E.A. Devjanina "Mobil'nye roboty 2005"* [Proc. Mobile robots and mechatronic systems: Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Festival of Youth named after Professor E.A. Devyanin "Mobile Robots 2005"]. Moscow, 2005, pp. 129-137 (in Russ.).

13. Pogorelov D.Ju., Pavljukov A.Je., Judakova T.A., Kotov S.V. [Modeling of contact interactions in the problems of the dynamics of systems of bodies]. *Dinamika, prochnost' i nadezhnost' transportnyh mashin:*

Collection of scientific works. Bryansk, BSTU, 2001, pp. 11-23 (in Russ.).

14. Chirkov D.V., Fedorova E.A. *Studencheskoe oruzhejnoe konstruktorskoe bjuro predpriyatija kak forma integracii v sisteme "Nauka - Obrazovanie - Proizvodstvo"* [Student branch of enterprise of small arms designing as a form of integration in the "Science - Education - Production" system]. *Voennaja bezopasnost' Rossii: vzgljad v budushhee: Materialy 6-j Mezhdunarodnoj mezhdostvennoj nauchno-prakticheskoj konferencii nauchnogo otdelenija № 10 Rossijskoj akademii raketnyh i artillerijskih nauk (Moskva, 18 March 2021)* [Proc. Military security of Russia: a look into the future: Proceedings of the 6th International Interdepartmental Scientific and Practical Conference of the Scientific Branch No. 10 of the Russian Academy of Missile and Artillery Sciences (Moscow, March 18, 2021)]. Moscow, Bauman Press, 2021, vol. 2, pp. 401-405 (in Russ.).

15. Galagan L.A. [Methods for taking into account the resistance force of the cartridge case when removing it from the chamber]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2012, no. 2, pp. 29-32 (in Russ.).

Experience of Using the Program "Universal Mechanism" for Calculating the Automation of Small Arms and Assessing the Prospects for Its Use

D.V. Chirkov, DSc in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

M.A. Sementsov, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A.B. Pryakhin, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

An important step of designing automatic and semi-automatic small arms is to carry out estimated calculations of the operating ability of automation, implying determining the velocity of the bolt or the bolt carrier in the automatic work cycle. Classical methods for calculating the weapon automation are based on reduction mechanisms to some equivalent mechanism with one moving link and a reduced resistance force acting on it. This method is universal, but labor-consuming and difficult to formalize, which is associated with a wide variety of structural design of mechanisms. In addition, the assumptions used when reducing real mechanisms to equivalent ones, decrease the accuracy of calculations.

Taking into account the fact that in modern conditions the stage of technical project ends with the creation of an electronic three-dimensional model of the product, it becomes possible to carry out kinematic and dynamic analysis of weapon automation using modern software systems. This should make it possible to decrease the complexity of calculations significantly while increasing their accuracy.

This article describes the experience of using the program of kinematic and dynamic analysis "Universal Mechanism" for calculation of a semi-automatic traumatic pistol automation. A comparison of the results of calculating automation, performed on the basis of classical methods and by the program "Universal Mechanism", is presented; the difference in the results in key points less than 5 %.

As a result of the work carried out, the main advantages of the "Universal Mechanism" software package were revealed: the ability to calculate complex spatial interactions that were not previously taken into account by classical methods (feeding, reflection of the sleeve), the visibility of the process (the presence of animation) and the ability to create program modules independently.

The main disadvantages include the laboriousness of introducing contact interactions (and impacts) and assigning the parameters of these interactions.

As a result of the work carried out, it is concluded that the "Universal Mechanism" software complex is suitable for carrying out a kinematic and dynamic analysis of small arms automation mechanisms and there is a possibility of creating on its basis a modern computational and design complex adapted for the development of small arms.

Keywords: small arms, dynamics calculation, calculation of automation.

Получено 08.11.2021

Образец цитирования

Чирков Д. В., Семенцов М. А., Пряхин А. Б. Опыт использования программы «Универсальный механизм» для расчета автоматике стрелкового оружия и оценка перспектив ее применения // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2022. Т. 25, № 1. С. 27–37. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-1-27-37.

For Citation

Chirkov D.V., Sementsov M.A., Pryakhin A.B. [Experience of Using the Program “Universal Mechanism” for Calculating the Automation of Small Arms and Assessing the Prospects for Its Use]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2022, vol. 25, no. 1, pp. 27-37 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2022-1-27-37.