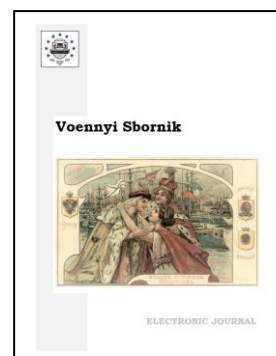


Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA
Voennyi Sbornik
Has been issued since 1858.
E-ISSN: 2409-1707
2022. 10(2): 121-127

DOI: 10.13187/vs.2022.2.121

<https://vs.cherkasgu.press>


Calculation at the Early Stages of Designing the Exit of the Rocket from the Transport and Launch Container

Daria A. Korepanova ^{a, *}, Nikolay V. Mityukov ^b

^a Kalashnikov's Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

^b Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation

Abstract

Recent combat experience shows an increase in the proportion of missiles fired from transport and launch containers, which are already used even for unmanned aerial vehicles and for missiles that put micro and nanosatellites into orbit. Obviously, in the future, the proportion of products fired from the container will only increase.

The paper shows that for calculating the exit of a rocket from a transport-launch container at the early stages of design, the technique used to calculate the internal ballistics of a bullet or projectile with little adaptation to this task is quite applicable. First, it is necessary to take into account the expelling charge fuel (the corresponding combustion law $S(e)$ and the combustion rate de/dt). Secondly, to take into account the deformation of the walls (in the first approximation, at least as a long thin-walled pipe) and thirdly, to calculate the axial overload, since it is one of the main limitations in the terms of reference.

The selection of the number of checkers of the expelling charge was made, for the test example the optimal value turned out to be equal to six checkers.

Keywords: rocket, transport and launch container, mortar launch, early stages of design, calculation method.

1. Введение

Опыт боевых действий последнего времени показывает уязвимость изделий, запускаемых с обычных направляющих. Если еще лет десять назад в транспортно-пусковых контейнерах (ТПК) размещались изделия небольших калибров (ПТУР, ЗРК) или наоборот, мобильные комплексы больших калибров («Тополь», С-300 и др.), то, по-видимому, тенденции последнего времени приведут к необходимости размещения в ТПК и довольно большого спектра, в том числе и вспомогательных ракет (метеорокеты, ракеты радиоэлектронного подавления и т.п.). ТПК для ракет небольших калибров дает возможность защитить находящееся в нем изделие при его эксплуатации в непосредственных боевых порядках, как при транспортировке, так и при размещении на боевых позициях прямо на грунте (например, в грязи или болоте). У указанных ракет большого калибра ТПК дает возможность, например, подключить системы поддержания микроклимата, что существенно увеличивает срок эксплуатации этих систем.

* Corresponding author

E-mail addresses: darya.korepanova.99@mail.ru (D.A. Korepanova), nico02@mail.ru (N.V. Mityukov)

В ряде работ рассматриваются вопросы применения ТПК для старта изделий в неблагоприятных условиях, например, при воздушном старте (Самарцева и др., 2020), старте в ледовых условиях (Рогульский, Фалий, 2020). Предлагаются также контейнерное размещение беспилотного летательного аппарата (Загородний, Бобков, 2021), и даже нано- и микроспутников (Прялухин и др., 2022). Это хорошо доказывает наш тезис о дальнейшем увеличении номенклатуры изделий, запускаемых из ТПК.

Имеется также множество работ, посвященных вопросам выхода ракеты из ТПК. Так, в статье В.А. Дунаев, Н.С. Колобаев трехмерное моделирование процесса выхода изделия применяется для снижения вибраций, снижающих кучность стрельбы, предлагается установка специального насадка на стенку контейнера (Дунаев, Колобаев, 2019). Е.В. Белов, А.Ф. Сальников на основе совмещенного термо- и газодинамического расчетов смогли смоделировать воздействие выходящих газов на теплозащитное покрытие (Белов, Сальников, 2020). В другой работе этих же авторов с помощью моделирования выделены факторы, влияющие на живучесть ТПК (Белов, Сальников, 2019). Н.С. Колобаев с помощью трехмерного моделирования смог определить силы, действующие на крышку ТПК (Колобаев, 2019).

Особо хотелось бы отметить работу Р.А. Пешкова, Р.В. Сидельникова. Кроме математической модели, позволяющей анализировать ударно-волновые нагрузки на ракету при выходе из ТПК, они также дали подробный обзор истории расчетов газодинамики минометного старта (Пешков, Сидельников, 2015). Эти авторы также отмечают «популярность» пакетов трехмерного моделирования (типа ANSYS FLUENT) при расчетах выхода ракеты из ТПК.

Но за всем этим обилием работ ушел в тень такой достаточно простой тип расчетов, как проектировочный. Все эти работы посвящены вопросам модернизации или уточнением параметров на уже существующих образцах ракетной техники.

2. Обсуждение и результаты

Математическая модель

Существует две схемы запуска ракеты из ТПК – «горячий» и «холодный». В первом случае выход ракеты из контейнера происходил за счет штатного маршевого двигателя. При этом происходит воздействие реактивной струи на контейнер, как за счет термохимического воздействия, так и за счет удара. Несмотря на кажущуюся простоту «горячего» запуска, он предопределяет усложнение конструкции ТПК и его существенное удорожание при производстве. При «холодном» запуске сначала происходит выбрасывание ракеты из ТПК, и только после этого включается маршевый двигатель.

Существует несколько конструкций системы «холодного» запуска. Обычно газы порохового аккумулятора давления воздействуют на специальный поддон, защищающий донную часть ракеты, который отстреливается после выхода ракеты из ТПК. Но имеется и ряд альтернативных схем. Так в патенте РФ № 2210050 горение порохового аккумулятора давления осуществляется в специальном пневмоцилиндре. Через переходник он воздействует на шток, выбрасывающий ракету из ТПК. Несмотря на усложнение конструкции, при «холодном» запуске не нужны средства отвода и нейтрализации продуктов сгорания маршевого двигателя.

В качестве основы для математической модели «холодного» запуска ракеты из ТПК можно выбрать обычную модель внутренней баллистики пули или снаряда (например (Бабаджанов и др., 2022; Балаганский, 2017)). Ранее сформулированная нами математическая модель гладкоствольной дульнозарядной установки (Crawford et al., 2020), (Крауфорд и др., 2021) была использована, например, при расчете процесса выхода гранаты из подствольного гранатомета (Митюков, Корепанова, 2021). Верификация модели была произведена на примере пиротехнической установки для выстрела салютов и пиротехнического стенда для ударных испытаний. В обоих случаях она показала удовлетворительную сходимость.

Для адаптации этой математической модели для решения задачи выхода ракеты из ТПК необходимо внести ряд коррекций.

1. Учет используемого топлива.

Для изделий небольшого калибра и для устаревших дульнозарядных гладкоствольных установок обычно для вышибного заряда используют навеску пороха. Это предполагает применение для описания скорости горения закон Шарбонье:

$$de / dt = A p,$$

где e – горящий свод, p – давление пороховых газов, A – константа закона горения.

Однако для ракет среднего и большого калибра для вышибных зарядов используется каналные заряды твердого топлива, из-за чего скорость горения уместней описать по закону Велли:

$$de / dt = A p^v,$$

где v – показатель степени в законе горения.

Кроме этого, изменится и зависимость поверхности горения от горящего свода $S(e)$. Для пороховых зерен она близка к закону горения сферы:

$$S(e) = 4 \pi n (R - e)^2,$$

где n – число зерен пороха, R – начальный радиус зерна. А для N каналных зарядов, каждый из которых с наружным радиусом R , внутренним r и длиной l :

$$S(e) = 2 \pi N [(R - e)^2 - (r + e)^2 + (l - 2e)(R + r)].$$

2. Учет деформируемости стенок.

Обычно дульнозарядные гладкоствольные системы имеют большую толщину стенки, в то время как ТПК – тонкостенные. В связи с этим, если для первых можно учитывать лишь объем камеры и часть объема ствола за снарядом, то для ТПК приходится учитывать и увеличение объема за счет деформации стенок. В общем случае это происходит в уравнении для dp / dt , в слагаемом с dV / dt . Для расчетов на ранней стадии проектирования, уровня технического предложения и отчасти эскизного проекта, вполне допустимо представить стенку в виде тонкостенной трубы и рассчитать слагаемое dV / dt для условий деформации в пределах закона Гука.

3. Поскольку осевая перегрузка n_x является одним из возможных ограничений на процесс запуска, а она в процессе работы вышибного заряда непостоянна, имеет смысл в систему добавить еще одно уравнение:

$$n_x = (dv / dt) / g,$$

где v – скорость ракеты при выходе из ТПК, g – ускорение свободного падения.

Иллюстрация возможностей

Была осуществлена программная реализация предлагаемой математической модели. Для иллюстрации ее возможностей был проведен расчет выхода из ТПК некоей абстрактной ракеты стартовой массой и движущихся частей пороховой катапульты в 3 т., калибром 0,88 м и длиной 6 м. Для вышибного заряда использовались стандартные шашки твердого топлива. Задачами расчетов на раннем этапе проектирования может быть определение необходимого числа шашек, которое удовлетворяет заданным ограничениям.

Результаты расчетов представлены на [Рисунках 1 и 2](#). Наилучшую иллюстрацию в данном случае дают 10, 6 и 4 шашки. На рисунках они получились строго один под другим: верхний график для 10 шашек, под ним для 6 и т.д. Условиями технического задания был подъем ракеты на высоту не менее 9 м. Как видно из рис. 1, при четырех шашках ракета проходит лишь 5 м, т.е. даже не выходит из контейнера. При шести шашках подъем осуществляется на высоту 9 м, что удовлетворяет требованиям техзадания.

Второе ограничение связано с максимальными перегрузками, которые по техзаданию не должны превышать трехкратные. На рис. 2 представлены графики ускорений, функционально совпадающие с графиком перегрузок. Поскольку в пределах рассматриваемого временного диапазона пройдено время горения шашек, по его истечении происходит замедление разгона ракеты в ТПК. Как следствие, графики на рис. 2 уходят в отрицательную область. Но из этого графика важнее максимальное ускорение, определяющее максимальную перегрузку. Видно, что при 10 шашках ускорение достигает пяти. В то время как при шести вполне выполняются требования технического задания.

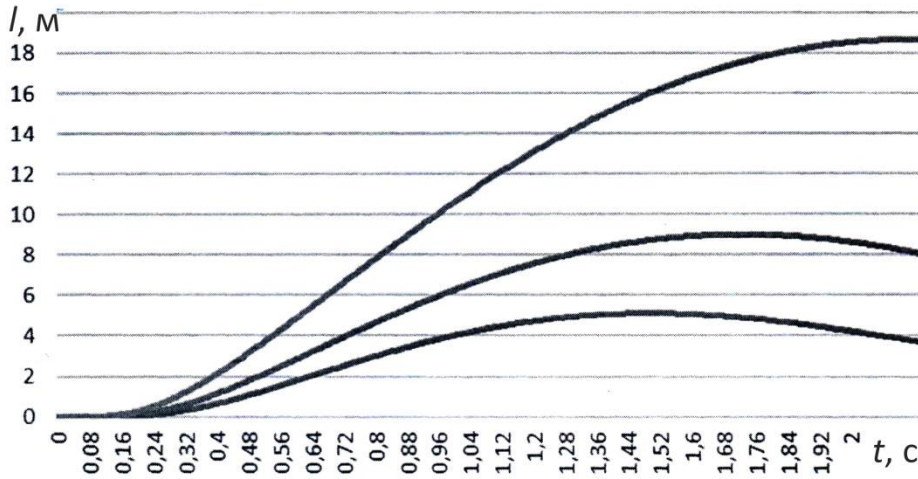


Рис. 1. Изменение координаты ракеты при выходе из ТПК при срабатывании 10, 6 и 4 шашек

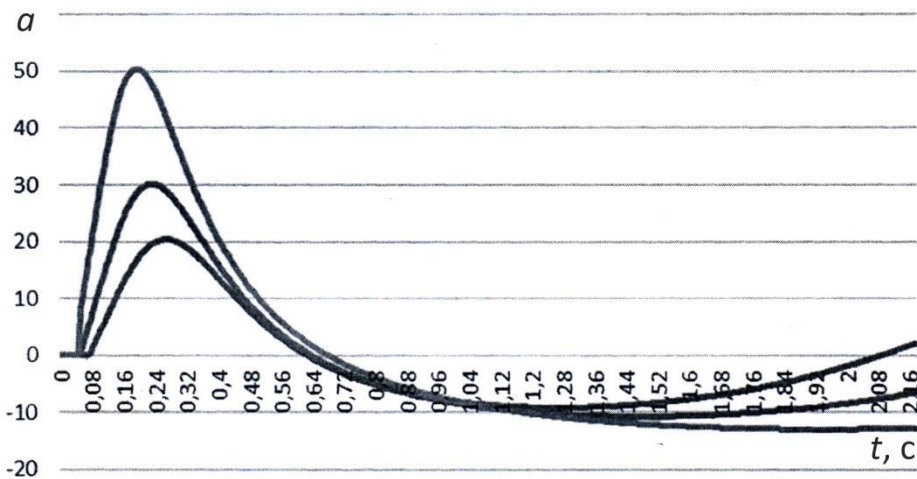


Рис. 2. Ускорение, получаемое изделием в ТПК при срабатывании 10, 6 и 4 шашек

Таким образом, расчеты показывают, что для выхода проектируемого изделия из ТПК по требованиям технического задания необходимо спроектировать пороховую катапультирующую систему с вышибным зарядом из шести шашек.

3. Заключение

Для расчета выхода ракеты из транспортно-пускового контейнера на ранних этапах проектирования вполне применима методика, применяемая для расчета выхода пули или снаряда из канала ствола с небольшой адаптацией под эту задачу. Во-первых, необходимо провести учет топлива вышибного заряда (соответствующий закон горения $S(e)$ и скорость горения de / dt). Во-вторых, учесть деформацию стенок (в первом приближении как длинной тонкостенной трубы) и в-третьих, произвести расчет осевой перегрузки, поскольку она является одним из основных ограничений в техническом задании.

Произведен подбор количества шашек вышибного заряда, для тестового примера оптимальное значение получилось равным шести шашек.

4. Благодарности

Авторы благодарны студентке С.В. Новокрещиновой за тестирование разработанной математической модели.

Литература

Бабаджанов и др., 2022 – Бабаджанов А.Б., Подкопаев И.А., Подкопаев А.В., Должиков В.И. Комбинированная математическая модель внутренней и промежуточной баллистики авиационного артиллерийского оружия // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2022. № 4. С. 177-185.

Балаганский, 2017 – Балаганский И.А. Основы баллистики и аэродинамики. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. 200 с.

Белов, Сальников, 2019 – Белов Е.В., Сальников А.Ф. Построение физической модели и анализ физических процессов при движении изделия из транспортно-пускового контейнера // *Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации*. 2019. Т. 1. С. 14-16.

Белов, Сальников, 2020 – Белов Е.В., Сальников А.Ф. Особенности алгоритма термогазодинамического воздействия на теплозащитное покрытие при старте ракеты из транспортно-пускового контейнера // *Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации*. 2020. Т. 2. С. 13-15.

Дунаев, Колобаев, 2019 – Дунаев В.А., Колобаев Н.С. Применение насадка на транспортно-пусковой контейнер // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2019. № 6. С. 227-235.

Загородний, Бобков, 2021 – Загородний А.Е., Бобков А.В. Стартовая капсула для запуска беспилотного летательного аппарата из транспортно-пускового контейнера / *Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 г.)*. Т. 1. Комсомольск-на-Амуре, 2021. С. 244-246.

Колобаев, 2019 – Колобаев Н.С. Расчет силы, действующей на переднюю крышку транспортно-пускового контейнера // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2019. № 6. С. 240-245.

Крауфорд и др., 2021 – Крауфорд К.Р., Митюков Н.В., Корепанова Д.А., Бусыгина Е.Л. О возможности сведения горения пороховых зерен неизвестной формы к закону горения сферического зерна // *Химическая физика и мезоскопия*. 2021. Т. 23. № 1. С. 18-26.

Митюков, Корепанова, 2021 – Митюков Н.В., Корепанова Д.А. Программа численного моделирования внутренней баллистики подствольного гранатомета // ГР 24.03.2021 № 2021614383. Заявл. 15.03.2021. № 2021613341.

Пешков, Сидельников, 2015 – Пешков Р.А., Сидельников Р.В. Анализ ударно-волновых нагрузок на ракету, пусковую установку и контейнер в процессе старта // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Машиностроение*. 2015. Т. 15. № 2. С. 81-91.

Прялухин и др., 2022 – Прялухин О.В., Сидоренко Б.А., Черемисин М.В., Яковлев А.В. Попутные запуски малых КА типа «Кубсат» с помощью транспортно-пусковых контейнеров «Космолаб» в интересах МО РФ / *Проблемы создания и применения космических аппаратов и систем средств выведения в интересах решения задач вооруженных сил российской федерации. Материалы III всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 12–13 апреля 2022 г.)*. СПб.: Изд-во ВКА им. А.Ф. Можайского, 2022. С. 180-183.

Рогульский, Фалий, 2020 – Рогульский О.Э., Фалий С.А. Пусковая установка для хранения и пуска подводных аппаратов на кораблях ледового класса // *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2020. № 4 (394). С. 99-108.

Самарцева и др., 2020 – Самарцева С.И., Болтянский И.М., Кольга В.В. Расчет транспортно-пускового контейнера системы воздушного старта ракеты-носителя / *Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики (Красноярск, 13-17 апреля 2020 г.)*. Т. 1. Красноярск: Изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020. С. 102-104.

Crawford et al., 2020 – Crawford K.R., Mitiukov N.W., Korepanova D.A., Busygina E.L. The Problem of Creating a Model of a Muzzle-Loading Smooth-Bore Gun // *Voennyi sbornik*. 2020. Vol. 8. № 2. Pp. 39-46. DOI: 10.13187/vs.2020.2.39

References

- [Babadzhanov et al., 2022](#) – Babadzhanov, A.B., Podkopaev, I.A., Podkopaev, A.V., Dolzhikov, V.I. (2022). Kombinirovannaya matematicheskaya model' vnutrennei i promezhutochnoi ballistiki aviatsionnogo artilleriiskogo oruzhiya [Combined mathematical model of internal and intermediate ballistics of aviation artillery weapons]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 4. P. 177-185. [in Russian]
- [Balagansky, 2017](#) – Balagansky I.A. (2017). Osnovy ballistiki i aerodinamiki [Fundamentals of ballistics and aerodynamics]. Novosibirsk, 200 p. [in Russian]
- [Belov, Salnikov, 2019](#) – Belov, E.V., Salnikov, A.F. (2019). Postroenie fizicheskoi modeli i analiz fizicheskikh protsessov pri dvizhenii izdeliya iz transportno-puskovogo konteynera [Construction of a physical model and analysis of physical processes during the movement of a product from a transport and launch container]. *Aerokosmicheskaya tekhnika, vysokie tekhnologii i innovatsii*. 1: 14-16. [in Russian]
- [Belov, Salnikov, 2020](#) – Belov, E.V., Salnikov, A.F. (2020). Osobennosti algoritma termogazodinamicheskogo vozdeistviya na teplozashchitnoe pokrytie pri starte rakety iz transportno-puskovogo konteynera [Peculiarities of the algorithm of thermogasdynamic impact on the heat-shielding coating during the launch of a rocket from a transport-launch container]. *Aerokosmicheskaya tekhnika, vysokie tekhnologii i innovatsii*. 2: 13-15. [in Russian]
- [Crawford et al., 2020](#) – Crawford, K.R., Mitiukov, N.W., Korepanova, D.A., Busygina, E.L. (2020). The Problem of Creating a Model of a Muzzle-Loading Smooth-Bore Gun. *Voennyi sbornik*. 8(2): 39-46. DOI: 10.13187/vs.2020.2.39
- [Crawford et al., 2021](#) – Crawford, K.R., Mityukov, N.V., Korepanova, D.A., Busygina, E.L. (2021). O vozmozhnosti svedeniya gorenija porokhovykh zeren neizvestnoi formy k zakonu gorenija sfericheskogo zerna [On the possibility of reducing the combustion of powder grains of unknown shape to the law of combustion of spherical grains]. *Chemical Physics and Mezoscopy*. 23(1): 18-26.
- [Dunaev, Kolobaev, 2019](#) – Dunaev, V.A., Kolobaev, N.S. (2019). Primenenie nasadka na transportno-puskovoi konteyner [The use of a nozzle on a transport and launch container]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 6: 227-235. [in Russian]
- [Kolobaev, 2019](#) – Kolobaev, N.S. (2019). Raschet sily, deistvuyushchei na perednyuyu kryshku transportno-puskovogo konteynera [Calculation of the force acting on the front cover of the transport and launch container]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 6: 240-245. [in Russian]
- [Mityukov, Korepanova, 2021](#) – Mityukov, N.V., Korepanova, D.A. (2021). Program for numerical modeling of the internal ballistics of an underbarrel grenade launcher. State reg. 24.03.2021 № 2021614383. Appl. 03/15/2021. № 2021613341.
- [Peshkov, Sidelnikov, 2015](#) – Peshkov, R.A., Sidelnikov, R.V. (2015). Analiz udarno-volnovykh nagruzok na raketu, puskovuyu ustanovku i konteyner v protsesse starta [Analysis of shock-wave loads on a rocket, launcher and container during launch]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Mashinostroenie*. 15(2): 81-91. [in Russian]
- [Pryalukhin i dr., 2022](#) – Pryalukhin, O.V., Sidorenko, B.A., Cheremisin, M.V., Yakovlev, A.V. (2022). Poputnye zapuski malykh ka tipa «Kubsat» s pomoshch'yu transportno-puskovykh konteynerov «Kosmolab» v interesakh MO RF [Accompanying launches of small spacecraft of the Kubsat type using Kosmolab transport and launch containers in the interests of the RF Ministry of Defense]. *Problemy sozdaniya i primeneniya kosmicheskikh apparatov i sistem sredstv vyvedeniya v interesakh resheniya zadach vooruzhennykh sil rossiiskoi federatsii. Materialy III userossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Sankt-Peterburg, 12–13 aprelya 2022 g.)*. SPb.: Izd-vo VKA im. A.F. Mozhaiskogo. Pp. 180-183. [in Russian]
- [Rogulsky, Faliy, 2020](#) – Rogulsky, O.E., Faliy, S.A. (2020). Puskovaya ustanovka dlya khraneniya i puska podvodnykh apparatov na korablyakh ledovogo klassa [Launcher for storing and launching underwater vehicles on ice-class ships]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*. 4(394): 99-108. [in Russian]
- [Samartseva et al., 2020](#) – Samartseva, S.I., Boltyansky, I.M., Kolga, V.V. (2020). Raschet transportno-puskovogo konteynera sistemy vozdušnogo starta rakety-nositelya [Calculation of the transport and launch container of the air launch system of the carrier rocket]. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki: Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi*

konferentsii, posvyashchennoi Dnyu kosmonavtiki (Krasnoyarsk, 13-17 aprelya 2020 g.). Т. 1. Krasnoyarsk: Izd-vo SibGU im. M.F. Reshetneva. P. 102-104. [in Russian]

Zagorodniy, Bobkov, 2021 – Zagorodniy, A.E., Bobkov, A.V. (2021). Startovaya kapsula dlya zapuska bespilotnogo letatel'nogo apparata iz transportno-puskovogo konteynera [Launch capsule for launching an unmanned aerial vehicle from a transport and launch container]. *Molodezh' i nauka: aktual'nye problemy fundamental'nykh i prikladnykh. Materialy IV Vserossiiskoi natsional'noi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Komsomol'sk-na-Amure, 12-16 aprelya 2021 g.).* Т. 1. Komsomol'sk-na-Amure. Pp. 244-246.

Расчет на ранних этапах проектирования выхода ракеты из транспортно-пускового контейнера

Дарья Алексеевна Корепанова ^{a, *}, Николай Витальевич Митюков ^b

^a Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск, Российская Федерация

^b Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Российская Федерация

Аннотация. Опыт боевых действий последнего времени показывает увеличение доли ракет, выстрел которых происходит из транспортно-пусковых контейнеров, которые уже используются даже для беспилотных летательных аппаратов и для ракет, выводящих на орбиту микро и наноспутники. Очевидно, что в перспективе доля изделий, выстреливаемых из контейнера, будет лишь увеличиваться.

В работе показано, что для расчета выхода ракеты из транспортно-пускового контейнера на ранних этапах проектирования вполне применима методика, применяемая для расчета внутренней баллистики пули или снаряда с небольшой адаптацией под эту задачу. Во-первых, необходимо провести учет топлива вышибного заряда (соответствующий закон горения $S(e)$ и скорость горения de/dt). Во-вторых, учесть деформацию стенок (в первом приближении хотя бы как длинной тонкостенной трубы) и в-третьих, произвести расчет осевой перегрузки, поскольку она является одним из основных ограничений в техническом задании.

Произведен подбор количества шашек вышибного заряда, для тестового примера оптимальное значение получилось равным шести шашек.

Ключевые слова: ракета, транспортно-пусковой контейнер, минометный старт, ранние этапы проектирования, методика расчета.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: darya.korepanova.99@mail.ru (Д.А. Корепанова), nicoo2@mail.ru (Н.В. Митюков)