

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Милош С. Лазаревић

**БОРБЕНА ЖИЛАВОСТ ЛАНСИРНОГ
СИСТЕМА**

Мастер рад

Крагујевац, 2017.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Војно индустријско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Предмет: Интеграција наоружања на мобилне платформе

Број индекса: 311/2016

Милош С. Лазаревић

БОРБЕНА ЖИЛАВОСТ ЛАНСИРНОГ СИСТЕМА

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Александар Кари дипл.инж.

ментор

2. _____

3. _____

Датум

одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да

изврши систематизацију и анализу могућих оптерећења вишецевних лансера ракета. На основу анализе оптерећења изради математичко-механички модел стабилности СВЛР погођеног у непосредној близини тренутно-фугасним пројектилом. Постављени модел треба да, као резултате да, зависност стабилности лансера од удаљености експлозије, типа експлозије и масе експлозивног пуњења. Као гранични услов стабилности усвојити услов превртања. По могућности, због уведених упрошћења, анализирати и утицај парчадног дејства и по потреби га усвојити као поправни коефицијент. На основу постављеног модела израдити симулацију у изабраном програмском пакету.

Препоручена литература:

- [1] Момчило Милиновић, Основи пројектовања ракета и лансера, ПОГЛАВЉА ИЗ ПРОЈЕКТОВАЊА ЛАНСЕРА, Машински факултет, Београд, Октобар 2002
- [2] Радун Јеремић, Експлозивни процеси, Београд, 2002.
- [3] Александар Кари, Момчило Милиновић, Борбено оптерећење вишецевног лансера услед дејства ударног таласа, Војнотехнички гласник, Београд, 2008

Крагујевац, датум

Ментор:

Име, презиме и звање ментора

САДРЖАЈ

1. УВОД	6
2. РАЗВОЈ	7
2.1. Тактичко-техничке карактеристике за оруђе 2617	8
3. ОПТЕРЕЋЕЊА КОЈА ДЕЛУЈУ НА ЛАНСЕРЕ	10
4. ФОРМИРАЊЕ ОПТЕРЕЋЕЊА УСЛЕД УДАРНОГ ТАЛАСА	11
4.1. Коефицијенати k_1 , k_2 , k_3	12
4.2. Карактеристике тла	12
5. ДЕЈСТВО СИЛА И МОМЕНАТА САМОХОДНОГ ЛАНСЕРА УСЛЕД ИМПУЛСНОГ НАТПРИТИСКА	16
6. ОДРЕЂИВАЊЕ МАКСИМАЛНОГ ПРИТИСКА УДАРНОГ ТАЛАСА НА ЛАНСЕР РАКЕТА	19
7. ОДРЕЂИВАЊЕ КРИТИЧНОГ РАСТОЈАЊА ЕКСПЛОЗИЈЕ	24
7.1. Критично растојање у функцији масе	29
8. УТИЦАЈ ПАРЧАДНОГ ДЕЈСТВА НА ЛАНСЕР РАКЕТА	30
8.1. Број, појединачна маса и облик парчади	30
8.2. Изглед и правац снопа парчади	32
8.3. Брзина разлетања парчади	34
8.4. Кинетичка енергија парчади	35
9. ПРЕГЛЕД РЕЗУЛТАТА	37
9.1. Услов превртања ракетног ласнесра	37
9.2. Услов нарушене стабилности ракете унутар лансирне цеви	41
10. ЗАКЉУЧАК	45
11. СПИСАК КОРИШЋЕНИХ СКРАЋЕНИЦА	46
12. СПИСАК КОРИШЋЕНЕ ЛИТЕРАТУРЕ	47
ПРИЛОГ 1	48
ПРИЛОГ 2	53

SUMMARY

In this work is done systematization and analysis of possible loads on a multiple rocket launcher. Based on the analysis of the loads a mathematical-mechanical model is made that describes the stability of a MLR that was hit by a high explosive-fragmentation projectile (HE-FRAG) in close range. The results give the dependency of launchers stability based on the proximity of the explosion, type of the explosion and mass of the explosive charge. Limit of the stability is based by the force that can turn over the launcher, and compromise the stability of the rockets inside. To simplify the given model the calculation of the kinetic energy is made for a fragment of the projectile that hits the launcher.

Key words: Load, explosion effect, surface explosion, overhead explosion, conditions, critical pressure, critical distance, overturn, stability, kinetic energy.

РЕЗИМЕ

У оквиру овог рада је извршена систематизација и анализа могућих оптерећења вишецевних лансера ракета. На основу анализе оптерећења израђен је математичко-механички модел стабилности СВЛР погођеног у непосредној близини тренутно-фугасним пројектилом. Добијени резултати дају зависност стабилности лансера од удаљености експлозије, типа експлозије и масе експлозивног пуњења. Као гранични услов борбене живавости лансера усвојен је услов почетног превртања лансера и нарушавања поузданог држања ракете у лансирајућој цеви. Ради упрошћавања датог модела, извршен је прорачун кинетичке енергије ефикасног парчета, које делује на лансер.

Кључне речи: Оптерећење, дејство експлозије, површинска експлозија, надземна експлозија, услови, критичан притисак, критично растојање, превртање, стабилност, кинетичка енергија.

1. УВОД

У овом раду дат је кратак историјски развој ракетног система Град БМ-21 (2Б17) 122 mm.

У даљем тексту, дати су тактичко-техничке карактеристике вишецевног лансер ракета, односно, дат је опис управљачке јединице, типа контејнера и врсте ракета.

Дат је преглед оптерећења, који делују на вишецевни лансер ракета. Карактеристична су статичка, термичка и динамичка оптерећења, од којих ће се у овом раду разматрати само динамичка оптерећења, проузрокована услед надземне и површинске експлозије у непосредној близини.

По препоруци Садовског, дат је табеларни приказ основних параметара, који описују притисак чела ударног таласа.

За прорачунату вредност притиска ударног таласа урађен је математички модел отпорности лансера за два типа експлозије и то:

- надземну експлозију;
- површинску експлозију.

Како при површинској експлозији долази и до деформације тла, уведен је и коефицијент η који зависи од врсте тла.

Израђен је математичко-механички модел стабилности СВЛР погођеног у непосредној близини тренутно-фугасним пројектилом.

На основу математичко-механичког модела, у прорачун су унети критични услови, који дају максималну вредност притиска ударног таласа за два типа експлозије. У случају прекорачења максималног притиска ударног таласа, долази до превртања или нарушавања стабилности ракете унутар лансирне цеви. На основу добијене максималне вредности притиска ударног таласа, према једначини Садовског, урађен је прорачун критичног растојања експлозије пројектила.

Због упрошћења модела, у поглављу 8, уведен је прорачун кинетичке енергије парчади тренутно-фугасног пројектила у функцији растојања експлозије од лансера.

На основу математичко-механичког модела, добијени су дијаграми критичног растојања у функцији независних променљиви φ и θ и типу експлозије.

У прилогу су дате табеле помоћу којих је извршено цртање дијаграма.

2. РАЗВОЈ

Развој ракетног система Град БМ-21 (2Б17) (Слика 2.1.), започет је маја 1960. године и био је поверен истраживачко производном бироу ОАО НПП „СТАРТ” (тадашњег назива: „Государственное конструкторское бюро компрессорного машиностроения”) из Јекатеринбурга (тада Свердловск). БМ је скраћеница од бојева машина, са надимком Град који означава ледену кишу. Развој ракете водила је фирма „НИИ-147”. Прва тестирања извршена су 1961. године, а у периоду од 01.03.1962. до 01.05.1962. године извршена су комплетна испитивања система. Одлуком Владе СССР-а од 28.03.1963. године, ракетни систем Град уведен је у наоружање совјетске армије. Лансирни систем Град уграђен је на шасију теренског возила конфигурације 6x6 Урал-375 или на возилу Урал-375Д. Лансирање се може вршити са командног пулта из кабине или из заклона удаљеног до 50 m. Кабина возила опремљена је противпожарним системом и радио станицом П-108М. Основна варијанта ракете М-21ОФ снабдевена је једнофазним двокоморним ракетним мотором са двобазном погонском материјом. Четири стабилизатора уграђена су под углом од 1° у односу на уздужну осу ракете. За гађање на мањим дometима, користе се велика или мала аеродинамична крилца ракете (АКР). За повећање ефикасности ракете, уграђена је префрагментисана чаура са навојем, која се заварује за кошуљицу. Чаура је састављена из два дела са нарезима у облику ромба по својој површини. Ракета је првобитно користила упаљач MRV-U (9Э244), а касније поузданији упаљач MRV-U (9Э210). Упаљач је тренутно успореног дејства са три могуће позиције: тренутног дејства, са малим успорењем и са великим успорењем. [1]



Слика 2.1. Ракетни систем БМ-21 (систем на возилу Урал-375) [2]

Након усвајања у наоружање, настављен је развој ракета са различитим типовима, као и модернизација ракета и лансирних уређаја. Модернизована варијанта лансирног система у ознаци БМ-21-1 (2Б17-1) извршена је у периоду од 1986. до 1987. године у оквиру компаније ОАО „Мотовилихинские заводы“ у Перму (на возилима Урал 4320 / Урал 4320-02 / Урал 4320-10), док је модернизована варијанта 2Б17М, 90-их година XX века извршена у сарадњи научно-производног института ФГУП ГНПП „Сплав“ (Тула) и компаније ОАО „Мотовилихинские заводы“ у Перму.

Модернизација варијанте 2Б17М се превасходно односила на примену савременог система управљања ватром (СУВ), чиме је време превођења из маршевог у борбени положај и обрнуто знатно смањено. Такође модернизација је обухватила: аутоматско заузимање елемената гађања и темпирања упаљача, уређаје за самооријентацију и сателитску навигацију, визуелизацију података на командном пулту, као и њихова заштита од нежељеног приступа и чување у меморији рачунара.

Током 2011. године у Русији је представљена верзија лансирног система 2Б26 Град-К, на шасији возила 6х6 Камаз 43105, који поседује унапређен СУВ. На сајму наоружања 2006. у Москви, представљен је развојни модел ракете са блоком за угаону стабилизацију на почетном делу путање, намењену за гађање из система Град, парчадно-рушећег дејства. [1]

2.1. Тактичко-техничке карактеристике за оруђе 2Б17

- маса система на ватреном положају	13700 kg
- дужина система у маршевском положају	7,35 m
- ширина система у маршевском положају	2,4 m
- висина система у маршевском положају	3,09 m
- снага дизел мотора	132,3 kW
- максимална брзина на путу	75 km/h
- број лансирних цеви	40
- дужина лансирне цеви	3000 mm
- маса лансирне цеви	23,4 kg
- хоризонтално поље дејства у десно	34°÷70°
- хоризонтално поље дејства у лево	-34°÷-102°
- вертикално поље дејства	0°÷55°
- вертикално поље дејства преко кабине	11°÷55°
- угаона брзина покретања ЛУ по ЕЛ	5°/s
- угаона брзина покретања ЛУ по АЗ	7°/s
- време трајања рафала	20 s
- превођење из маршевог у борбени положај	14 min
- превођење из борбеног у маршеви положај	3 min
- време потребно за пуњење	5÷7 min
- број чланова послуге	4

Оригиналне "Град" ракете имају домет од 20 km. А њихова прва модификација названа је "Г-М" којој је повећан домет до 27,5 km, док је друга модификација "Г-2000" додатно повећан домет на 40 km. Домет такође може да варира у зависности од типа бојеве главе. Детаљније карактеристике приказане су у табели 2.1.1.

Табела 2.1.1. Модели ракета које користити ракетни лансер Град БМ-21 122mm [1, 3, 4]

	Порекло	Врста муниције	Минимални домет	Максимални домет	Дужина	Тежина	Тежина бојеве главе
			[m]	[m]	[m]	[kg]	[kg]
9M22У	СССР/Русија	парчадно рушеће	5000	20380	2,87	666	184
9M28Ф	СССР/Русија	парчадно рушеће	1500	15000	2,27	565	210
9M28К	СССР/Русија	касетна са ПТМ		13400	3,04	577	503
9M43	СССР/Русија	димна		20000	2,95	66	445
9M217	СССР/Русија	КБГ		30000	3,04	70	55
9M218	СССР/Русија	КБГ		30000	3,04	70	55
9M519	СССР/Русија	за радио ометање		18500	3,04	66	406
9M521	СССР/Русија	парчадно рушеће		40000	2,87	66	46
9M522	СССР/Русија	парчадно рушеће		37500	3,04	70	25

3. ОПТЕРЕЋЕЊА КОЈА ДЕЛУЈУ НА ЛАНСЕРЕ

Да би самоходни вишецевни лансер ракета, задовољио строге тактичко-техничке захтеве у смислу мобилности, ефикасности, домета, савремености циљева и борбене жилавости и сама његова конструкција мора бити специфична у односу на остала средства подршке. Најопштије посматрано, у току борбене употребе, вишецевни лансер, изложен је следећим оптерећењима: [5]

Статичким оптерећењима (механичка)

- услед утицаја тежине возила и врсте лансера.

Термичким оптерећењима

- услед утицаја продуката сагоревања при лансирању ракете, на лансирну кутију;
- услед утицаја продуката детонације приликом експлозије пројектила у непосредној близини.

Динамичким оптерећењима

- динамичко оптерећење услед надземне или површинске експлозије у непосредној близини или експлозије нагазних минско-експлозивних средстава;
- динамичко оптерећење продуката барутних гасова услед лансирања ракете;
- транспортна оптерећења;
- удар ветра.

Од свих наведених оптерећења најкритичнија су динамичка оптерећења услед надземне и површинске експлозије у непосредној близини, те ће из истог разлога, само ова група ући у даљу анализу.

Ударни талас, који настаје услед експлозије у непосредној близини самоходног вишецевног лансера ракета, може изазвати различите ефекте на сам лансер. Ти ефекти најчешће се јављају као импулсне силе натпритиска ударног таласа, који мења свој облик и интезитет, прелазећи преко профила самоходног система, зависно од правца из којег долази (Слика 5.1). Последице таквих промена формирају резултујућу динамичку силу, која изазива:

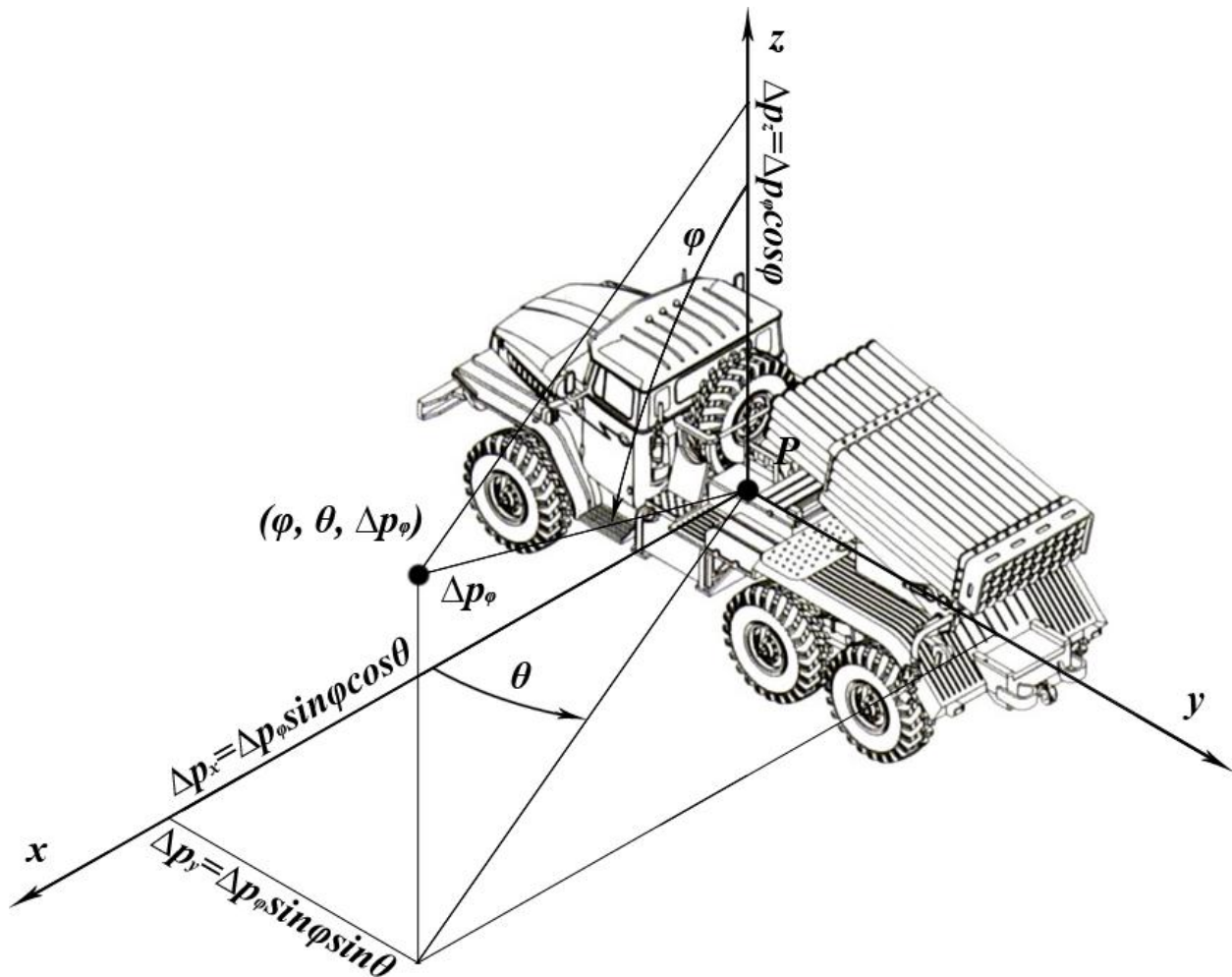
- осцилације самог лансера;
- евентуално превртање или дестабилизацију;
- потпуно или делимично уништавање;
- активирање ракете на платформи за пуњење лансера или у цевима.

Сваки од наведених ефеката зависи од низа фактора од којих су најважнији: [5]

- растојање и интезитет примарног извора експлозије (дакле, положај поготка по координатном закону уништења);
- саме чврстоће и облика самоходног лансера и поузданости механизма напуњене муниције;
- осетљивости функције лансирног оруђа на промене које могу да изазову кратковремене динамичке силе.

4. ФОРМИРАЊЕ ОПТЕРЕЋЕЊА УСЛЕД УДАРНОГ ТАЛАСА

За оптерећења услед ударног таласа, насталог услед експлозије пројектила у непосредној близини самоходног лансера, формиран је физички модел упрошћено приказан на слици 4.1.



Слика 4.1. Физички модел правца дејства ударног таласа на лансер [4, 6]

На систем делује поремећајна сила P таласа. насталог услед експлозије пројектила на удаљености r од самоходног лансера.

Главна карактеристике ударног таласа су натпритисак на фронту ударног таласа и време трајања импулса, чије вредности зависе од врсте експлозива, масе експлозива и удаљености од места експлозије. На основу експерименталних резултата, за сферичне ударне таласе, који настају детонацијом одређене масе TNT, Садовски је предложио емпиријску једначину за прорачун натпритиска на фронту ударног таласа у облику: [7]

$$\Delta p = k_1 \frac{q^{\frac{1}{3}}}{r} + k_2 \frac{q^{\frac{2}{3}}}{r} + k_3 \frac{q}{r} \text{ [bar]} \quad (4.1)$$

где су:

m_e - маса експлозивног пуњења у kg;

r - удаљеност од центра експлозије у m;

k_1, k_2, k_3 - емпиријски коефицијенти, који зависе од врсте експлозивног пуњења, а профил задат у времену, приказан је на слици 4.2.1.

4.1. Коефицијенати k_1, k_2, k_3

За експлозив типа TNT и остале, средње снаге, у случају надземне експлозије, могу се усвојити следећи емпиријски коефицијенти:

$$k_1 = 0,85$$

$$k_2 = 3$$

$$k_3 = 8$$

У случају површинске експлозије, ударни талас у ваздуху се шири у облику полусфере (дупло мања запремина), па је натпритисак у том случају већи. Тада се, најчешће у изразу (4.1) за масу пуњења, узима двострука маса.

4.2. Карактеристике тла

Како при површинској експлозији. долази и до деформације тла, потребно је увести и коефицијент η који зависи од врсте тла (Табела 4.2.1), па је прорачунска маса експлозива у једначини 4.1 једнака:

$$m_p = 2\eta m_e \quad 4.2.1$$

Табела 4.2.1 Вредности коефицијента η

Тип препреке	Челична плоча	Армирано бетонска плоча	Бетон, стена	Тврдо земљиште	Средње тврдо земљиште	Вода
η	1	0,95-1	0,85-0,9	0,7-0,8	0,6-0,65	0,55-0,6

Уз усвајање да је до експлозије дошло на тврдом земљишту ($\eta \approx 0,75$), коефицијенти у изразу (4.1) добијају следеће вредности:

$$k_1 = 0,97$$

$$k_2 = 3,93$$

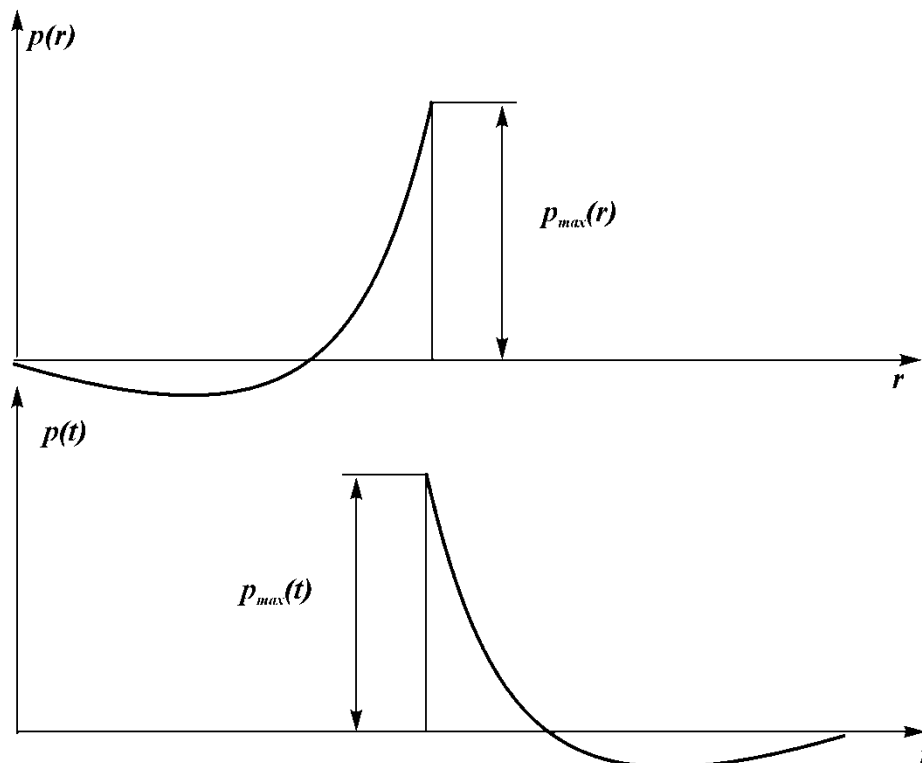
$$k_3 = 12$$

Коефицијенти k_1 , k_2 , и k_3 за надземну и површинску експлозију дати су у табели 4.2.2.

Табела 4.2.2. Коефицијенти k_1, k_2, k_3 у зависности од типа експлозије

Тип	Надземна експлозија	Површинска експлозија
k_1	0,85	1,1
k_2	3	4,3
k_3	8	14

Дејство експлозије на већим растојањима од места експлозије r остварује се захваљујући кретању, како таласа сабијања, тако и таласа разређења ваздуха. Зависност притиска од удаљености од центра експлозије и времена, дата је на слици 4.2.1.



Слика 4.2.1. Промена притиска ударног таласа [7]

Време дејства позитивне фазе натпритиска, представља важну практичну карактеристику ударног таласа, јер битно утиче на ефекат рушећег дејства.

На основу експерименталних резултата и нумеричког моделирања утврђен је следећи израз за израчунавање времена дејства ударног таласа:

$$\tau = 0,0015 \sqrt[6]{q} \sqrt{r} \quad (4.2.2)$$

где су:

m_e - маса експлозивног пуњења у килограмима;

r - удаљеност од центра експлозије у метрима, а τ се добија у секундама.

Са одређеним приближењем може се узети да је

$$\tau = \frac{r}{2c} \sqrt[6]{\frac{q}{r^3}} \quad (4.2.3)$$

где је:

c - брзина звука.

Величина r/c приближно је једнака времену за које ударни талас дође од места експлозије до места где се мери натпритисак. Величина $\sqrt[6]{\frac{q}{r^3}}$ равна је јединици ако је вредност $q/p = 1$. чак и да ова вредност значајније одступа од јединице, због високог степена корена, величина $\sqrt[6]{\frac{q}{r^3}}$ ће се мало разликовати од јединице. На пример, при промени $\frac{q}{r^3}$ за десет пута вредност $\sqrt[6]{\frac{q}{r^3}}$ ће се променити за само 29 %.

Одавде следи да је приближно време дејства натпритиска дупло мање од времена за које ударни талас пређе пут од места експлозије до дате тачке.

Зависно од времена трајања позитивне фазе натпритиска доминантно дејство је услед интезитета натпритиска или услед величине импулса натпритиска.

$$I = \int_0^{\tau} p(t) dt \quad (4.2.4)$$

где је $p(t)$ - натпритисак у неком тренутку t након проласка „чела» ударног таласа.

Вредност импулса ударног таласа, може се проценити на основу експериментално математичке апроксимације натпритиска у зависности од времена:

$$p(t) = \Delta p \left(1 + \frac{t}{\tau} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4.2.5)$$

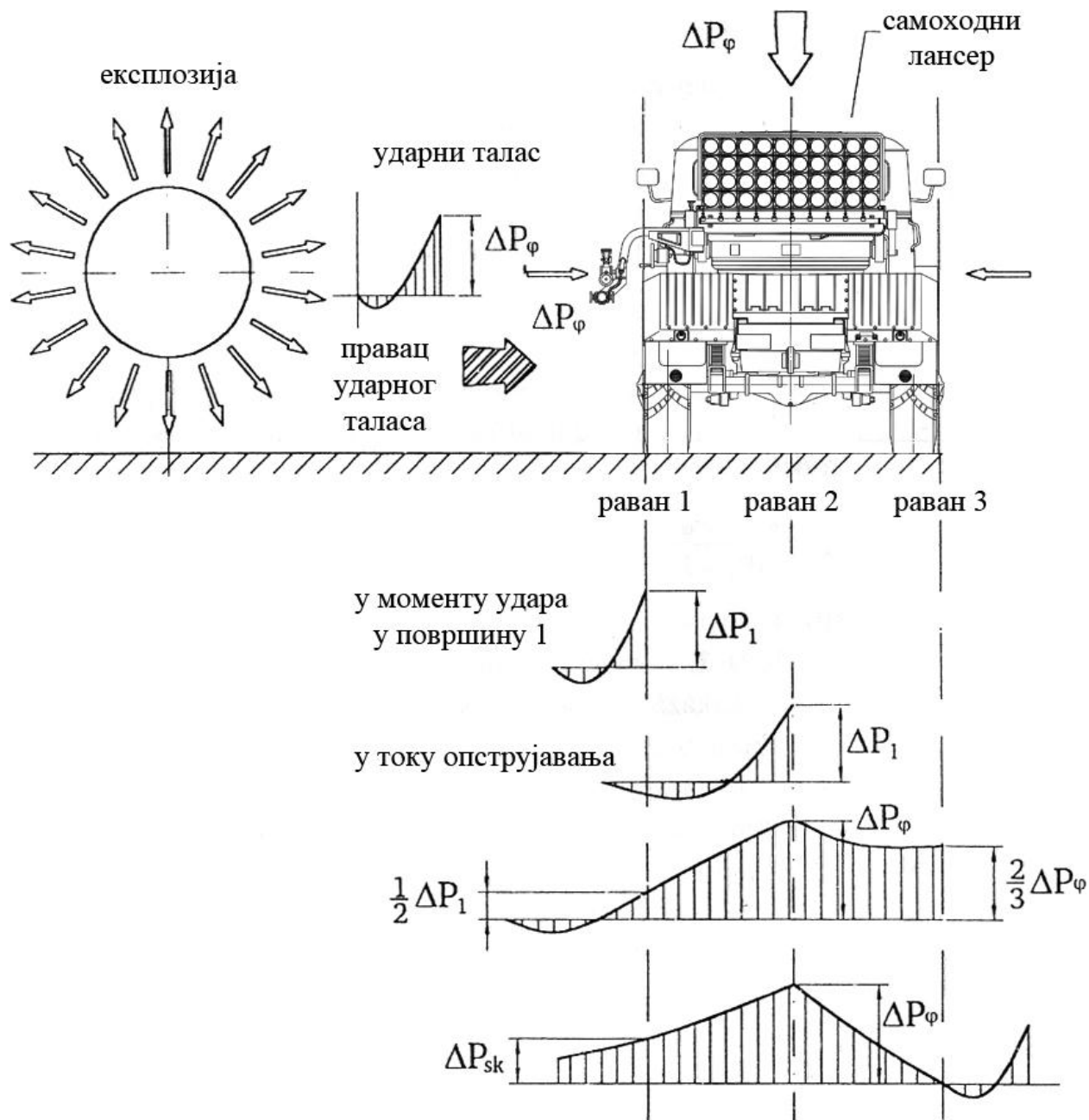
Расподела оптерећења натпритиска на лансер у току дејства експлозије, приказана је по фазама кретања преко ширине возила при бочном дејству експлозије и распоређена као апроксимација за простирање таласа преко затвореног квадрата у три карактеристичне равни по ширини возила (Слика 5.1 и 5.2).

Након таквог бочног опструјавања ширине возила покретним ударним таласом, долази до деформације профила натпритиска по ширини возила, у току периода времена од момента наиласка па до изласка ударног таласа са наспрамне бочне стране дуж у осе.

Наведене деформације, послужиће за приближну процену интезитета натпритиска и позитивне фазе импулса притиска са аспекта оцене оптерећења ракета у лансеру и на борбеној платформи.

5. ДЕЈСТВО СИЛА И МОМЕНАТА САМОХОДНОГ ЛАНСЕРА УСЛЕД ИМПУЛСНОГ НАТПРИТИСКА

Приликом кретања самоходног лансера у зони снажне експлозије, импулсно оптерећење изазвано ударним таласом, најкритичније угрожава кретање или мировање самоходног лансера, при дејству силе на његов бок (Слика 5.1.).



Слика 5.1. Фазе дејства експлозије на лансер [5, 8]

Расподела бочног оптерећења притиска на лансер у току дејства експлозије, приказана је по фазама на слици 5.1. У моменту сусрета ударног таласа са самоходним лансером, услед наглог заустављања таласа, долази до згушњавања ваздуха. Ударни талас првобитног интензитета ΔP_ϕ , расте на интензитет ΔP_1 , који напада бочну површину. Интензитет тог пораста износи:

$$\Delta P_1 = 2\Delta P_\phi + \frac{6\Delta P_\phi^2}{\Delta P_\phi + 709205} \quad (5.1)$$

Одмах, након кратког времена ΔP_1 , (колико траје пролазак чела ударног таласа преко ширине возила Δt_1), притисак на бочну страну, која је прва нападнута експлозијом, опада на вредност $\frac{\Delta P_1}{2}$. При томе горња површина притиска возило и бива и даље оптерећена са притиском ΔP_ϕ . Пошто са горње стране возила нема згушњавања услед дејства препреке, то је интензитет притиска, приближно једнак интензитету непоремећеног ударног таласа, који одговара датом растојању од центра надземне експлозије. Одмах након проласка појачаног ударног таласа ΔP_1 , преко ширине возила, друга бочна страна, бива оптерећена максималним надпритиском, који износи:

$$\Delta P_2 = \frac{2}{3}\Delta P_\phi \quad (5.2)$$

Након опструјавања, укупни бочни притисак, као импулсна и векторска разлика сила, сведен на нападну површину возила, у почетном тренутку времена, износи:

$$\Delta P_{sk} = \frac{2,5\Delta P_\phi^2}{\Delta P_\phi + 709205} [\text{Pa}] \quad (5.3)$$

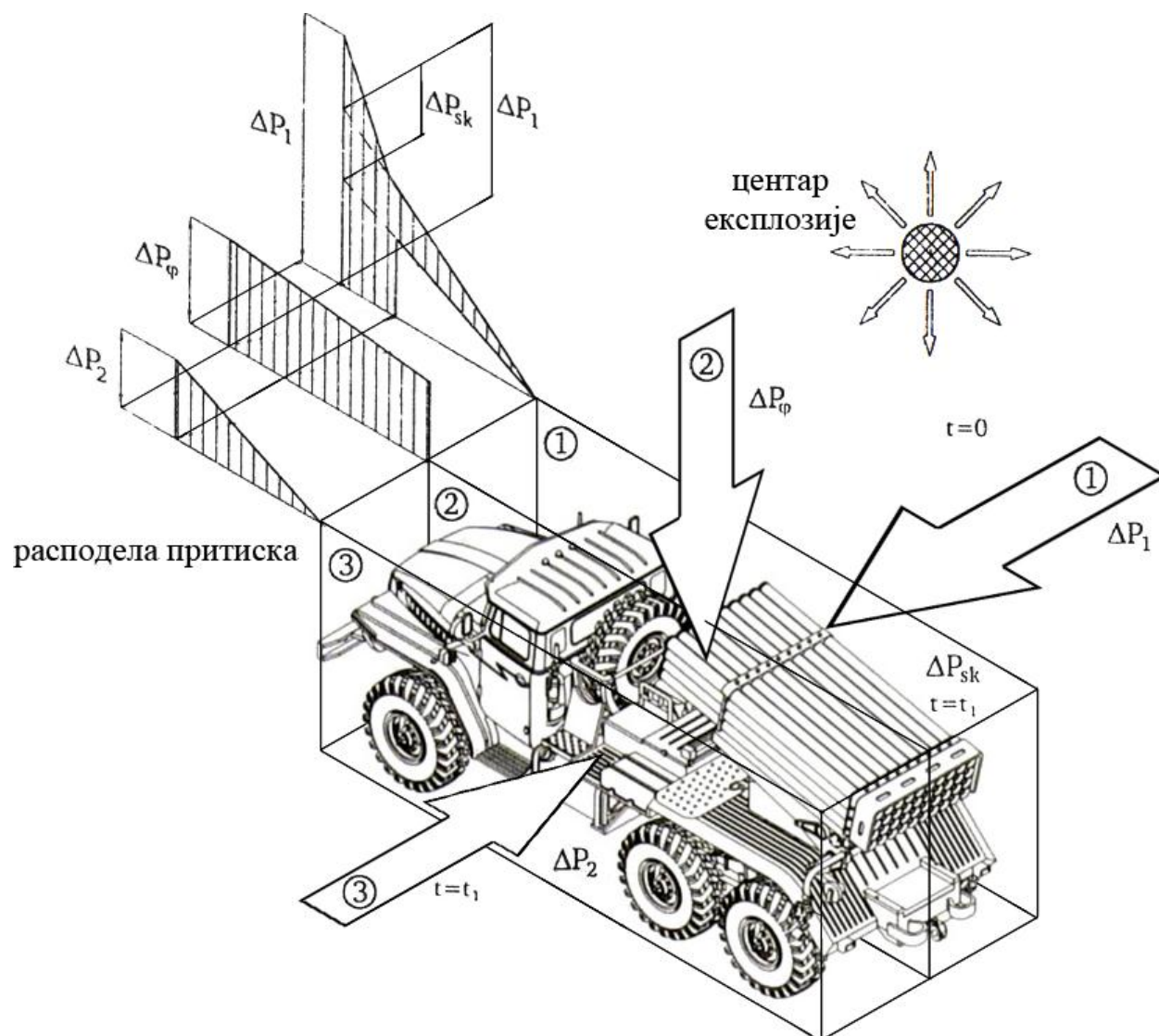
Пошто се не ради о простом сабирању и одузимању вредности притисака, који делују на леву 1, односно десну 3 страну самоходног лансера, дијаграм сила оптерећења, приказан је шематски, у времену, на слици 5.1, а расподела оптерећења за прорачун, дата је на самој слици.

Тако се формира оптерећење, које делује на површину самоходног лансера, и које има дистрибуцију притиска у току времена у форми новог облика импулсног гасодинамичког оптерећења. На основу представљене дистрибуције притиска, са 1. и 3. бочне стране, може се утврдити, максимална разлика, која делује на самоходни лансер.

Максимални притисак, који делује на једну страну лансера, дакле, износи:

$$P_{max} = c_x P_{sk} \quad (5.4)$$

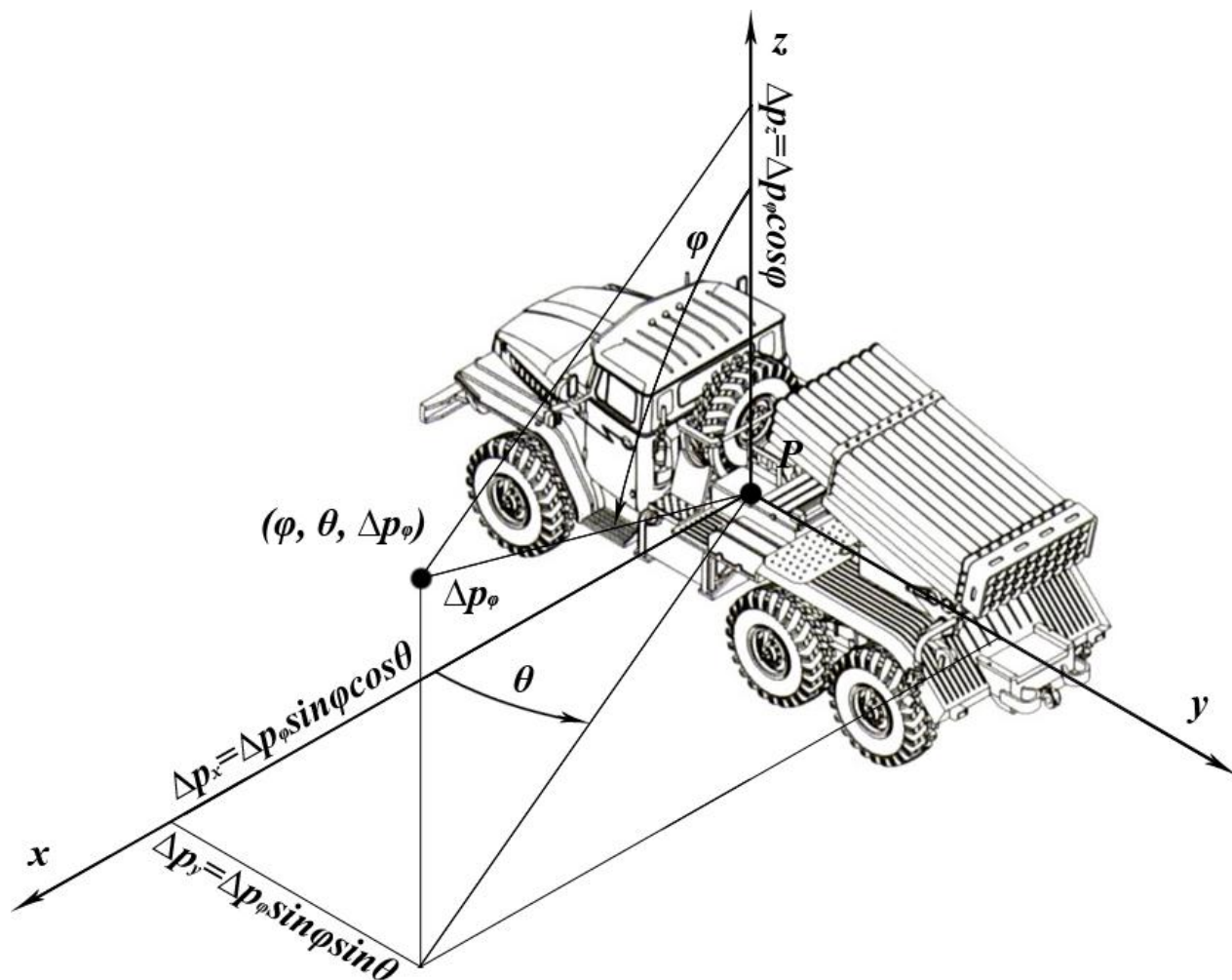
Услед овог притиска, могуће је померање лансера, па чак и одбацивање на неко растојање у моменту удара. Да би се утврдили глобални услови, стабилности при дејству бочне силе, изазване притиском, послужиће се шемом сила датом на слици 6.2.



Слика 5.2. Дејство притиска ударног таласа на лансер [5, 8]

6. ОДРЕЂИВАЊЕ МАКСИМАЛНОГ ПРИТИСКА УДАРНОГ ТАЛАСА НА ЛАНСЕР РАКЕТА

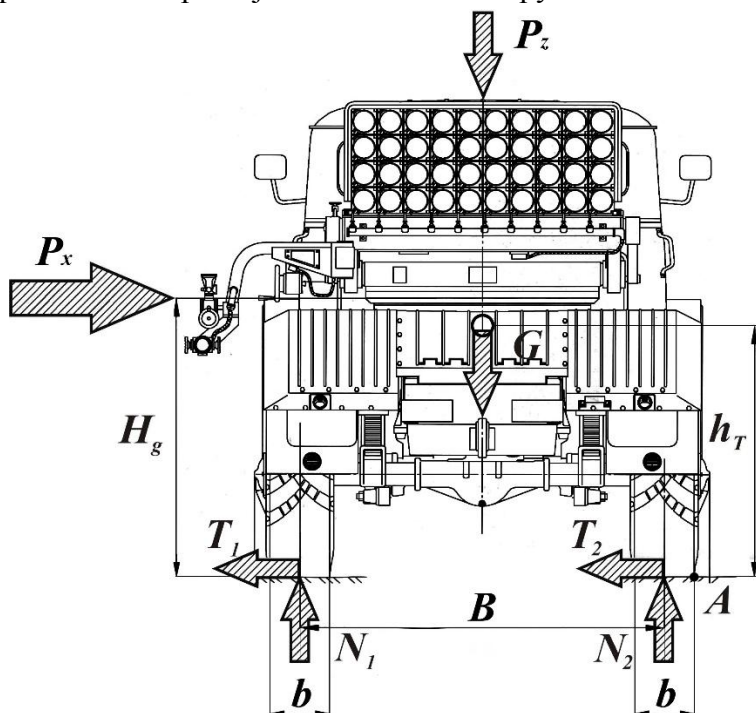
Као модел дејства притиска ударног таласа усвојен је цилиндрични координатни систем са независним променљивим φ и θ .



Слика 6.1. Физички модел дејства ударног таласа на лансер [4,6]

Слика 6.2 представља основу математичко-механичког модела стабилности вишецевног лансера на који делује ударни талас експлозије. Крајњи резултат је тражени максимални

притисак ударног таласа при којем неће доћи до нарушавања стабилности лансера.



Слика 6.2. Равнотежа сила самоходног лансера [9]

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum M_A = 0 \quad (6.1)$$

$$P - (T_1 + T_2) = 0 \quad (6.2)$$

$$f(Q + G) = T_1 + T_2 \quad (6.3)$$

где су:

$P_x = \Delta p \sin \varphi \cos \theta \cdot A_L = c_x \cdot \frac{2,5 \cdot \Delta p_\varphi^2}{\Delta p_\varphi + 709205} \sin \varphi \cos \theta \cdot A_L$ – резултујућа сила изазвана експлозијом са леве стране возила на леву површину лансера A_L ;

$P_z = \Delta p_\varphi \cdot A_G$ – сила натпритиска ударног таласа са горње стране возила на горњу површину лансера A_G ;

f - коефицијент пријањања самоходног лансера при мировању или котрљања при кретању.

Просечне величине коефицијента пријањања дате су у табели 6.1.

На основу равнотеже следи једначина:

$$c_x \cdot \frac{2,5 \cdot \Delta p_\varphi^2}{\Delta p_\varphi + 709205} \sin \varphi \cos \theta \cdot A_L = f \cdot (\Delta P_\varphi \cdot A_G + G) \quad (6.4)$$

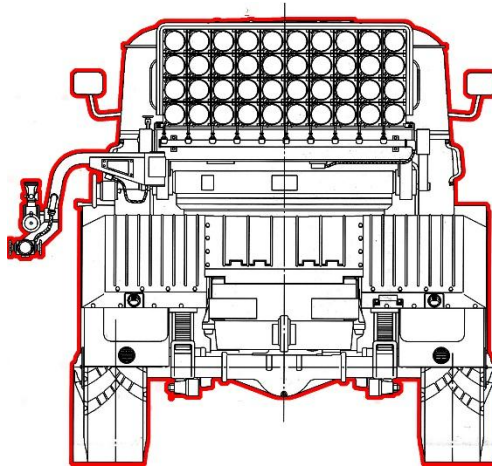
Табела 6.1. - Просечне вредности коефицијента пријањања [10]

Врста и стање пута		Коефицијент пријањања	
		Сув	Влажан
Бетон	2 године стар	0,74	0,71
	5 година стар, прљав	0,68	0,64
Асфалт	нов	0,7-0,8	0,5-0,6
	стар, прљав	-	0,25-0,45
Дрвена коцка		0,6-0,8	0,3-0,5
Печена цигла	Испуна песак	0,7-0,8	0,4-0,5
	испуна асфалт	0,82-0,89	0,60-0,65
Шљунак или ситан камен		0,6-0,7	0,3-0,5
Утабана шљака		0,5-0,6	-
Земљани пут		0,50-0,65	0,3-0,4
Травњак на 25—30% влажном земљишту		0,20-0,30	-
Снег	неутабан	0,20-0,40	
	утабан	0,30-0,50	
Лед, раван углачан (температура испод 0°C)		0,05-0,10	

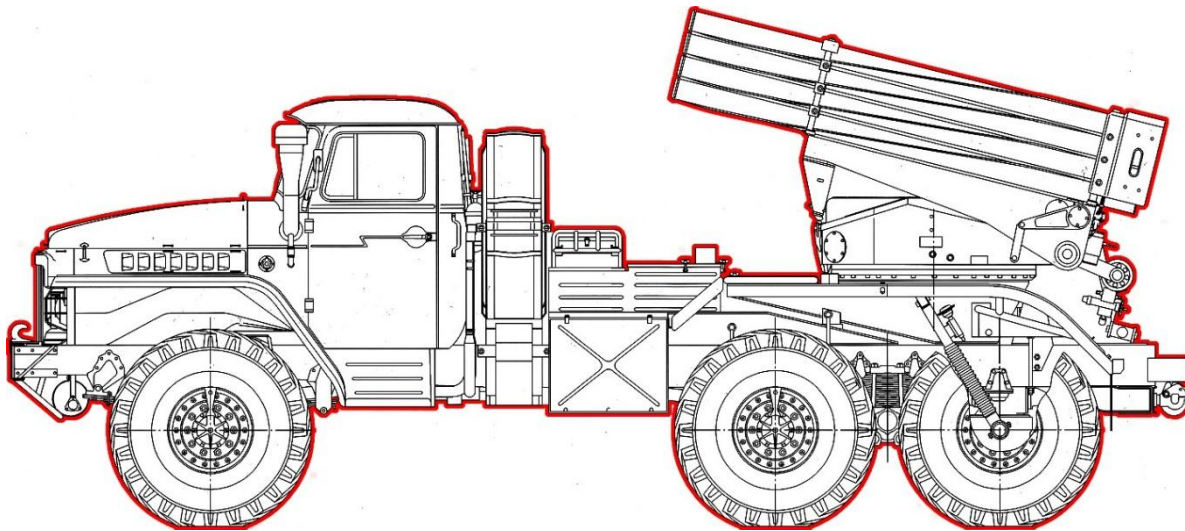
услов бочног превртања ракетног лансера:

$$\left[c_x \cdot \frac{2,5 \cdot \Delta p_\varphi^2}{\Delta p_\varphi + 709205} \sin \varphi \cos \theta \cdot A_L \right] \cdot H_g - (\Delta P_\varphi \cdot A_G + G) \cdot \frac{B+b}{2} = 0 \quad 6.5$$

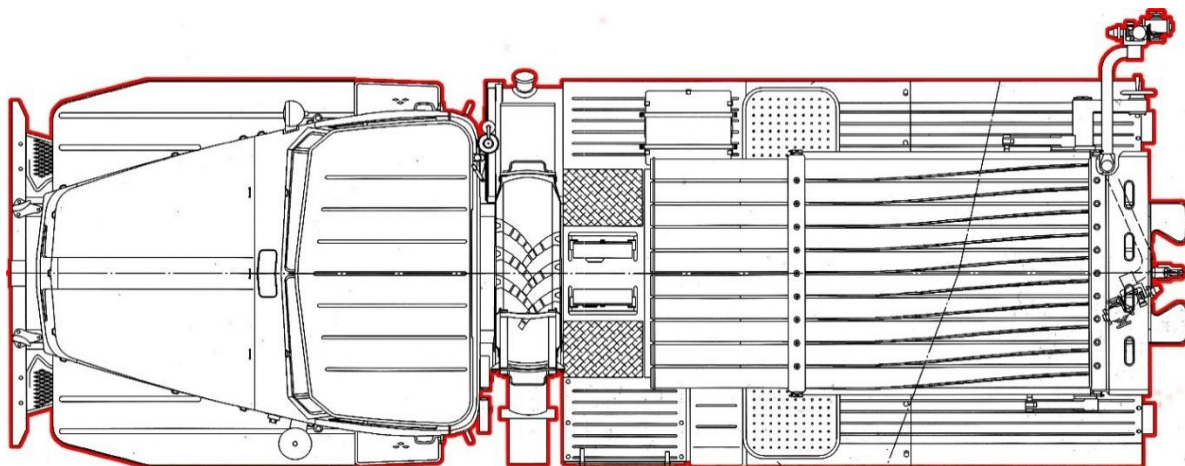
Апроксимативне површине силуете лансера, разрађене су према димензијама датим у тактичко-техничким карактеристикама. Из њих је одређена површина на коју делује натпритисак ударног таласа. (Слика 6.3, 6.4 и 6.5)



Слика 6.3. Површина задње стране лансера ракета [9]



Слика 6.4. Површина леве стране лансера ракета [9]



Слика 6.5. Површина горње стране лансера ракета [9]

Добијени улазни подаци приказани су табеларно у табели 6.2.

Табела 6.2. Димензионе карактеристике возила

Тежина возила	T	13700 kg
Угао дејства експлозије	φ	$20^\circ \div 90^\circ$
Угао дејства експлозије	θ	$-180^\circ \div 180^\circ$
Бочна површина возила	A_L	$13,6 \text{ m}^2$
Горња површина возила	A_G	$16,8 \text{ m}^2$
Задња површина возила	A_Z	$10,1 \text{ m}^2$
Висина дејства центра притиска	H_g	$1,58 \text{ m}$
Висина тежишта возила	h_T	$1,2 \text{ m}$
Ширина возила	B	2 m
Ширина пнеуматика	b	$0,3 \text{ m}$

Услов критичног притиска ударног таласа, за површинску и надземни експлозију које би довело до превртања лансера ракете добијамо из моментне једначине 6.5 тј.

$$\Delta p_\varphi^2 (64,464 \sin \varphi \cos \theta - 19,32) - 13856397,15 \Delta p_\varphi - 109612278042,75 = 0 \quad (6.6)$$

$$\Delta p_{\varphi_{1/2}} = \quad (6.7)$$

$$\frac{13856397,15 \pm \sqrt{183528905131384,4025 + 28264183566991,344 \sin \varphi \cos \theta}}{128,928 \sin \varphi \cos \theta - 38,64}$$

Услов критичног притиска ударног таласа, за површинску и надземни експлозију, које би нарушило стабилност ракете унутар лансирне цеви са бочне стране:

$$c_x \cdot \frac{2,5 \cdot \Delta p_\varphi^2}{\Delta p_\varphi + 709205} \sin \varphi \cos \theta \cdot A_L - 3gT = 0 \quad (6.8)$$

$$40,8 \Delta p_\varphi^2 \sin \varphi \cos \theta - 403191 \Delta p_\varphi - 285945073155 = 0 \quad (6.9)$$

$$\Delta p_{\varphi_{1/2}} = \frac{403191 \pm \sqrt{162562982481 + 46666235938896 \sin \varphi \cos \theta}}{81,6 \sin \varphi \cos \theta} \quad (6.10)$$

Услов критичног притиска ударног таласа, за површинску и надземни експлозију, које би нарушило стабилност ракете унутар лансирне цеви са задње стране:

$$c_x \cdot \frac{2,5 \cdot \Delta p_\varphi^2}{\Delta p_\varphi + 709205} \sin \varphi \sin \theta \cdot A_Z - 3gT = 0 \quad (6.11)$$

$$30,3\Delta p_{\varphi}^2 \sin \varphi \cos \theta - 403191\Delta p_{\varphi} - 285945073155 = 0 \quad (6.12)$$

$$\Delta p_{\varphi 1/2} = \frac{403191 \pm \sqrt{162562982481 + 34656542866386 \sin \varphi \cos \theta}}{60,6 \sin \varphi \cos \theta} \quad (6.13)$$

Пошто се ради о квадратној једначини добијају се два решења од којих је једно негативно, тако да ће се у даљем прорачуну користити само позитивне вредности притиска ударног таласа, који делује на лансер ракета.

7. ОДРЕЂИВАЊЕ КРИТИЧНОГ РАСТОЈАЊА ЕКСПЛОЗИЈЕ

Већина једначина за прорачун ударног таласа и импулса базира се на TNT еквиваленту. Због тога је за експлозиве, који нису TNT пожељно познавати њихову еквивалентну масу. [11]

Еквивалентна маса се израчунава на основу израза:

$$M_{TNTe} = \frac{E_{deksp}}{E_{dTNT}} M_{eksp} \quad (7.1)$$

где су:

M_{TNTe} – еквивалентна маса TNT-а [kg];

E_{deksp} – енергија детонације експлозива [J/kg];

E_{dTNT} – енергија детонације TNT-а [J/kg];

M_{eksp} – маса експлозива [kg].

Прорачун TNT еквивалента, најчешће се базира на енергији, која се ослобађа приликом експлозије. Енергија може да се одреди на различите начине. Методе које се најчешће користе. базирају на хидродинамичким или термодинамичким параметрима.

Друге методе процене TNT еквивалента, базирају се на корелацији или емпиријским резултатима. Један од првих пионира, који је радио на одређивања еквивалента експлозива је био М. Bertholet, мада, тада није радио са TNT-ом, као стандардним експлозивом (еталоном), него са нитроглицерином. TNT се као стандард почео користити касније, на почетку двадесетог века. [11]

У табели 7.1. су приказане вредности TNT еквивалента за различите експлозиве, коришћењем различитих метода:

Табела 7.1. Вредности TNT еквивалента за различите експлозиве коришћењем различитих метода [11]

	AP	HBX-3	Војни динамит	Pentolit	Torpex	Tritonal
$D^2/48,3$	0,97	0,99-1,02	0,9-1,07	1,15	1,2	0,87-0,93
Методом Berthleta	0,87	1,10	-	1,56	1,18	0,8
Мерењем ваздушног ударног таласа	0,85	1,16	1,05	1,16	1,23	1,07
Балистичког клатна	0,99	1,11	1,22	1,26	1,38	1,24
Тест на челичној плочи	0,91	-	-	1,21	1,20	0,93
Метода дробљења песка	0,82	0,94	-	1,16	1,24	-
Trauz тест	-	-	1,10	1,22	1,64	1,25

У табели 7.2. су приказани израчунати TNT еквиваленти за бризантне експлозиве. Подаци су довољно поуздани па се могу користити за прорачун критичног растојања.

Табела 7.2. TNT еквивалент за бризантне експлозиве [11]

	TNT еквивалент		За опсег притисака (MPa)
	Притисак	Импулс	
Kompozicija B	1,11	0,98	0,035-0,350
Kompozicija C3	1,08	1,01	0,035-0,350
Kompozicija C4	1,37	1,19	0,070-0,700
Oktol 72/25	1,06	1,06	-
PETN	1,27	-	0,035-0,700
RDX	1,14	1,09	-
RDX/TNT 60/40	1,14	1,09	0,035-0,350
Tetril	1,07	-	0,021-0,140
TNT	1,00	1,00	Стандард
Tritonal	1,07	0,96	0,035-0,700

У пракси често нисмо у прилици одредити тачан еквивалент TNT-а, поготово ако се ради о муницији, која у себи садржи различите врсте експлозива (главно експлозивно пуњење, појачник детонације, барут, различите пиротехничке смеше) па се у пракси користе различите методе прорачуна: [11]

- а) Еквивалент експлозива се рачуна као збир масе експлозива (и барута)

$$\text{еквивалент експлозива} = \sum NEQ$$

- б) Еквивалент експлозива се рачуна као збир масе експлозива и збир половине масе барута (претпоставка да барути доприносе само 50 % од своје масе у експлозији). Ова метода прорачуна TNT еквивалента се користена у Југославији и земљама Совјетског савеза.

$$\text{еквивалент експлозива} = \sum NEQ + \frac{1}{2} \sum NBQ$$

- с) Еквивалент експлозива се рачуна као збир продуката масе појединих врста експлозива са TNT еквивалентом сваке врсте експлозива (и барута) посебно

$$\text{Еквивалент експлозива} = \sum_1^n NEQ \times K_{TNT}$$

Последњи начин је најтачнија али уједно и најсложенија метода прорачуна еквивалента TNT-а, не због сложености рачуна, већ због одсуства података о коефицијентима TNT-а за

различите врсте експлозива и барута. То посебно важи за нове експлозиве и њихове смеше, тј. композитне експлозиве, који садрже металне прашове и оксидансе.

Да би олакшали прорачун еквивалентне количине експлозива у муницији, армије света одржавају базе података у којима се налазе сви потребни подаци о количинама експлозива. Таква књига са подацима се обично зове „Жута књига“. (напомена: „Жуту књигу“ не треба мешати са „Наранџастом књигом“ 4 Emergency Response Guidebook (ERG)“) у којој се налазе подаци о руковању опасним материјама у случајевима хаварије.

Потребни подаци еквивалентне масе експлозива за ТФ гранату калибра 155 mm приказани су у табели 7.3.

Табела 7.3. Еквивалентна маса експлозива за ТФ гранату калибра 155 mm [12]

Тротил-Хексоген	ТХ	
Маса експлозивног пуњења	M_{eksp}	8,25 kg
TNT еквивалент	$\frac{E_{deksp}}{E_{dTNT}}$	1,14
Еквивалентна маса експлозива	M_{TNTe}	9,405 kg

Решавање кубне једначине: [13]

$$\Delta p = k_1 \frac{q^{\frac{1}{3}}}{r} + k_2 \frac{q^{\frac{2}{3}}}{r} + k_3 \frac{q}{r}$$

односно

$$-\Delta p_\varphi r^3 + k_1 m^{\frac{1}{3}} r^2 + k_2 m^{\frac{2}{3}} r + k_3 m = 0 \quad (7.2)$$

добито је њеним свођењем на следећи облик:

$$y^3 + py + q = 0 \quad (7.3)$$

где р и q имају следеће вредности:

$$p = -\frac{m^{\frac{2}{3}}(k_1^2 + k_2 3\Delta p_\varphi)}{3\Delta p_\varphi^2} \quad (7.4)$$

$$q = -\frac{m(27k_3 m \Delta p_\varphi^2 + 9k_1 k_2 \Delta p_\varphi + 2k_1^3)}{27\Delta p_\varphi^3} \quad (7.5)$$

За добијање критичног растојања потрено је познавати дискриминанту (D).

Израчунавање дискриминанте (D) добија се из следеће једначине:

$$D = \frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27} \quad (7.6)$$

За случају да је $D < 0$ тада су сва три решења (r_1 ; r_2 ; r_3) кубне једначине реална и различита.

У случају да је $D = 0$ тада су сва три решења (r_1 ; r_2 ; r_3) кубне једначине реална и бар једно двоструко.

У случају да је $D > 0$ тада је једно решење (r_1) кубне једначине реално, а два решења (r_2 ; r_3) коњуговано-комплексна.

Помоћу Карданове једначине добијају се три решења од којих се усваја мања реална вредност тј:

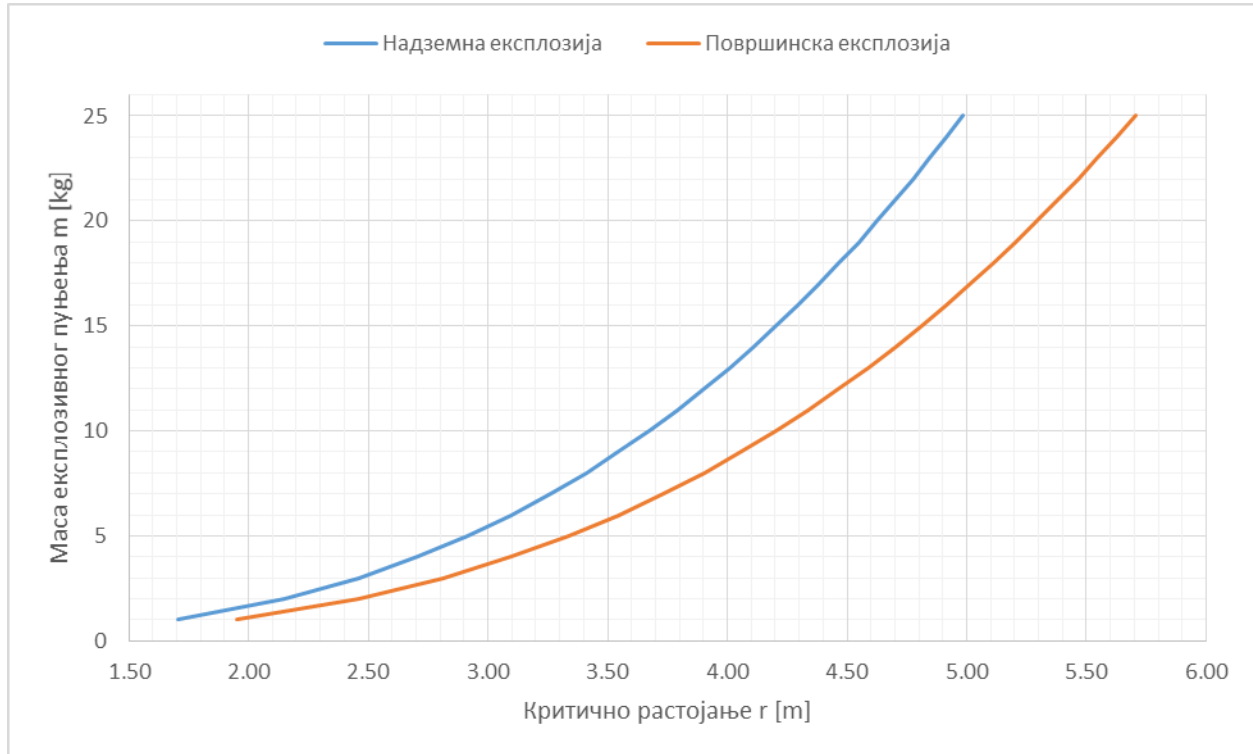
$$y = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{D}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{D}} \quad (7.7)$$

након чега се добија тражено критично растојање:

$$r = y - \frac{k_1 m^{\frac{1}{3}}}{3\Delta p_\phi} \quad (7.8)$$

7.1. Критично растојање у функцији масе

Под претпоставком бочног превртања, преко једначине 6.7 добијен је максималан притисак од $\Delta p_{\phi} = 314654 \text{ Pa}$, при $\phi = 90^\circ$ и $\theta = 0^\circ$. На основу притиска урађен је дијаграм зависности критичног растојања од масе експлозивног пуњења. Маса експлозивног пуњења се креће у дијапазону од 1 до 25 kg. Добијени резултати приказани су на слици 7.1.1.



Слика 7.1.1. Зависност критичног растојања од масе експлозивног пуњења, при надземној и површинској експлозији

8. УТИЦАЈ ПАРЧАДНОГ ДЕЈСТВА НА ЛАНСЕР РАКЕТА

Приликом експлозије тренутно-фугасног пројектила поред дејства ударног таласа на лансер, јавља се и парчадно дејство.

Парчадно дејство може имати утицаја на рад лансирног система. Ефекат парчадног дејства дефинисан је кинетичком енергијом фрагмената, због чега је у даљем тексту дат краћи прорачун.

Од конструкције разорног пројектила зависе следећи фактори парчадног дејства: [14]

- број, појединачна тежина и облик парчади;
- изглед и правац снопа парчади;
- ефикасан и убитачни домет парчади.

8.1. Број, појединачна маса и облик парчади

Наведене три групе међусобно се разликују по извесним конструкционим параметрима и по карактеристикама упаљача - механизма за иницирање детонације пројектила. Уобичајено је да се о начину дејства пројектила суди на основу следећих карактеристичних конструкционих параметара:

- релативне масе пројектила, дате односом $k_p = m/d^3$;
- релативне масе експлозивног пуњења, дате односом $k_e = m_e/d^3$;
- коефицијента пуњења $k = m_e/m \cdot 100$ (%);
- дебљине зида кошуљице пројектила δ , дате у калибрима пројектила.

Сасвим је природно. да број парчади, која настају разарањем кошуљице пројектила, зависи у првом реду од калибра и већ наведених конструкционих параметара k_p , k_e , k и δ .

Са повећањем калибра, уз исте или повећане вредности k_e , k и δ повећава се и број парчади.

Ако се при једном истом калибру мењају параметри k_e , k и δ , утврдиће се да постоје оптималне вредности ових параметара са којима се добија највећи број парчади за усвојену врсту експлозива и за масу пројектила у оквиру унапред задатих граница (Табела 5).

Овај захтев за минимално потребном кинетичком енергијом, доводи до минималне масе ефикасног парчета. Природно је да би оптималан случај био, ако би се кошуљица пројектила разарала на парчад ове или незнатно веће масе, јер би се у том случају добио највећи број ефикасних парчади.

Како захтевани минимални домет парчади зависи од калибра, врсте и ближе намене пројектила, а полазећи од чињенице да је практично немогуће остварити разарање

кошуљице у парчад подједнаке масе, усвајају се границе маса појединачних парчади у којима се она сматрају економичним:

- за неротирајуће пројектиле бацачких оруђа калибра до 60 mm 0,5 до 15 g;
- за неротирајуће пројектиле бацачких оруђа калибра од 60 до 120 mm 1,0 до 50 g;
- за ротирајуће артиљеријске (и сличне) пројектиле 1,5 до 100 g.

Број и појединачна маса парчади зависе још и од:

- хемијских и механичких карактеристика материјала кошуљице пројектила;
- врсте експлозива и начина иницирања.

У табели 8.1.1. су дати подаци о утицају механичких карактеристика кошуљице на фрагментацију за тренутно-фугасни пројектил 155 mm.

Табела 8.1.1. Утицај механичких карактеристика кошуљице на фрагментацију за тренутно-фугасни пројектил 155 mm [14]

Челик	Механичке карактеристике		Број фрагмената	
Тип	R_{eH} (N/mm ²)	A_t (%)	Економична	Укупно
АВ	496	20,8	1078	1417
G-55	540	23,0	596	837

Кошуљице тренутно-фугасног пројектила, израђују се од кованог или ваљаног челика. Због мање жилавости и разлике у структури метала, кошуљице од челичног лива, распрскавају се у велики број углавном ситних парчади призматичног облика. Број ситних парчади (појединачне масе до 5 g) око 10 пута је већи, а број економичних парчади (масе од 1,5 до 50, односно. до 100 g), већи је пет до шест пута од одговарајућег броја парчади кошуљице израђене од ваљаног челика (топло ковање).

Овај закључак недвосмислено проистиче из резултата наведених у табели 8.1.2, добијених разарањем тренутно-фугасног пројектила 155 mm, код кога је челична кошуљица у једном случају израђена топлим ковањем, а у другом ливењем.

Табела 8.1.2. Маса парчади тренутнофугасног пројектила 155 mm [14]

Израда кошуљице	Експлозив и маса (kg)	Број парчади			
		до 5g	1,5 до 100 g	преко 100g	укупно
Топло ковање	TX/8,25	185	251	14	327
Ливена	TX/8,25	1969	1596	1	2263

Број парчади је директно сразмеран брзини детонације експлозива, који се користи као експлозивно пуњење разорног пројектила. Ово значи да се у извесној мери може смањити (на пример, код ливених кошуљица), или повећати број парчади применом експлозива одговарајућег разорног дејства (одговарајуће бризантности).

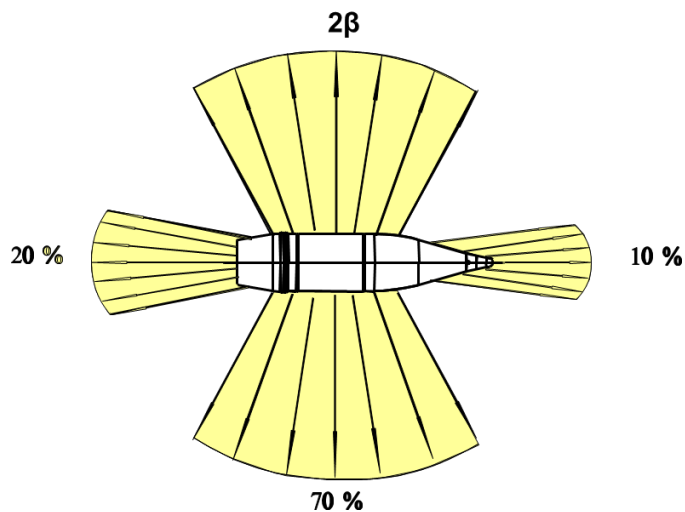
Међутим, данас се у већини случајева користи тринитротолуол (тротил - TNT) као експлозивно пуњење разорних пројектила, у неким случајевима мешавина тротил - хексоген, обично у односу 60:40 (позната као композиција Б), а у изузетним случајевима мешавина тротил - амонијумнитрат (позната под називом аматол; користи се скоро искључиво у време рата, јер није погодна за дуготрајно ускладиштење, а располаже и знатно смањеним разорним дејством у односу на чист тротил).

8.2. Изглед и правац снопа парчади

Полазећи од чињенице да се раван детонациони талас, управан на уздужну осу симетрије пројектила, инициран дејством упаљача, делови метала кошуљице који леже на нормалама унутрашње површине захваћене детонационим таласом, треба да имају брзину разлетања чији се вектор поклапа са правцем нормале. Међутим, у стварности, нормале на унутрашњу површину кошуљице представљају само средње правце око којих су распоређени реални правци разлетања парчади.

На основу овог закључка и уобичајеног облика унутрашње површине кошуљице пројектила, закључује се да парчад образују при детонацији и разарању кошуљице три снопа:

- сноп од предњег, оживалног дела;
- бочни сноп од цилиндричног дела кошуљице;
- сноп од задњег дела (дна кошуљице).

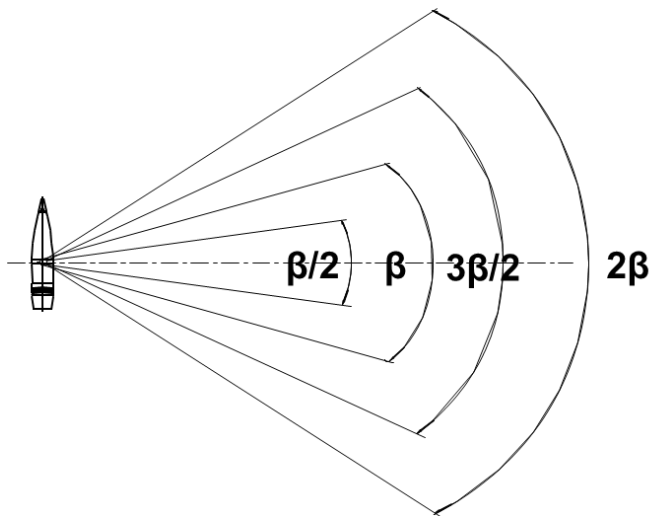


Слика 8.2.1. Пласти разлетања парчади [14]

Може се усвојити да приликом експлозије пројектила у непосредној близини на лансер, делује само бочни сноп фрагмената тј. само 70% укупног броја фрагмената (Табела 8.1.2.). Такође, фрагменти пројектила, мањи од 5 грама, немају значајно дејство на лансер, тако да се они неће узети у разматрање.

Расподела парчади у меридијалном пресеку разорног пројектила је следећа (Слика 8.2.1.):

- сноп од предњег, оживалног дела (око 10%);
- бочни сноп од цилиндричног дела кошуљице (око 70%);
- сноп од задњег дела - дна кошуљице (око 20%).



Слика 8.2.2. Расподела парчади у бочном снопу [14]

Утврђено је да се расподела парчади у бочном снопу покорава Gauss-овом закону расподеле (Слика 8.2.2.), што значи да је:

- 50% парчади обухваћено углом $\beta/2$;
- 82% парчади обухваћено углом β ;
- 96% парчади обухваћено углом $3\beta/2$;
- око 100% парчади обухваћено углом 2β .

8.3. Брзина разлетања парчади

Брзина разлетања парчади, као основни фактор ефикасности пројектила парчадног и парчадно-рушећег дејства, увек је побуђивала интерес за теоријску интерпретацију. Највећа брзина разлетања парчади - почетна брзина разлетања (V_{pr}), одређена је следећом једначином:

$$m_k V_{pr}^2/2 + E_s + E_k + E_{pd} + E_p = m_e Q \quad (8.3.1)$$

m_k - маса кошуљице пројектила;

E_s - енергија која се преноси на околну средину (ваздух, воду, тло);

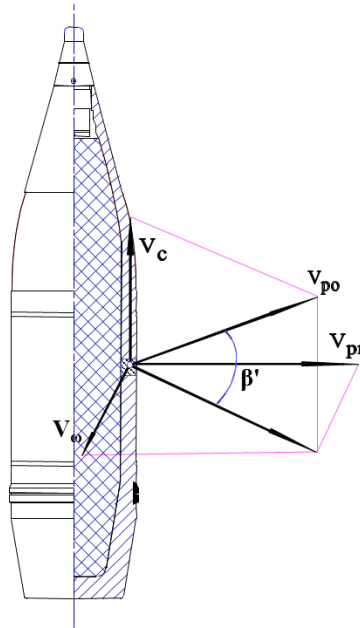
E_k - кинетичка енергија гасовитих продуката детонације (преостала након убрзања парчади до брзине V_{pr});

E_{pd} - унутрашња потенцијална енергија продуката детонације (преостала након убрзања парчади до брзине V_{pr});

E_p - енергија продуката детонације утрошена на еластичну и пластичну деформацију кошуљице и разарање кошуљице);

Q - топлота експлозије јединице масе експлозива.

8.4. Кинетичка енергија парчади



Слика 8.4.1. Стварна брзина парчади V_{po} [14]

У реалним условима употребе, стварна почетна брзина појединачног парчета V_{po} представља резултанту почетне брзине разлетања V_{pr} , транслаторне брзине пројектила у тренутку експлозије V_c и обимне брзине пројектила V_ω (Слика 8.4.1.):

$$V_{po} = \sqrt{V_{pr}^2 + V_c^2 + V_\omega^2} \quad (8.4.1)$$

$$\tan \beta' = V_c / (V_{pr}^2 + V_\omega^2)^{1/2} \quad (8.4.2)$$

Услед овог угла β' , долази у реалним условима до деформације бочног снопа парчади, што има за последицу смањење ефикасности снопа у односу на његову ефикасност за случај експлозије пројектила у мировању. Брзина парчади на путу x опада услед дејства отпора ваздуха, који се може представити следећом једначином:

$$F_w = \frac{1}{2} C_x S \rho_w V_p^2 \quad (8.4.3)$$

C_x - коефицијент аеродинамичког отпора парчета масе m_p ;

S - највећи попречни пресек парчета управно на правац кретања;

ρ_w - густина ваздуха;

V_p - брзина парчета на крају пута x .

Како је $m_p V_p dV_p = F_w dx$, добија се:

$$dV_p = \frac{1}{2} C_x \frac{S}{m_p} V_p dx \quad (8.4.4)$$

Усвајајући за надзвучне брзине парчади $C_x = \text{const.}$ (за подзвучне и трансоничне брзине C_x није константно) и интеграцијом последње једначине добија се:

$$V_p = V_{p0} e^{\frac{1}{2} C_x \frac{S}{m_p} \rho_w x} \quad (8.4.5)$$

где су:

V_{p0} - резултујућа почетна брзина парчета дата изразом (8.4.1);

V_p - брзина парчета на крају пута x .

Парче масе m_p располаже кинетичком енергијом, ако при удару у циљ има брзину $(V_p)_{\min}$, добијену из следеће релације

$$\frac{m_p V_{pmin}^2}{2} = E \quad (8.4.6)$$

Кинетичка енергија парчета масе m_p добија се, ако се у израз (8.4.6), уврсти израз (8.4.5):

$$E = \frac{m_p \left(V_{p0} e^{\frac{1}{2} C_x \frac{S}{m_p} \rho_w x} \right)^2}{2} \quad (8.4.7)$$

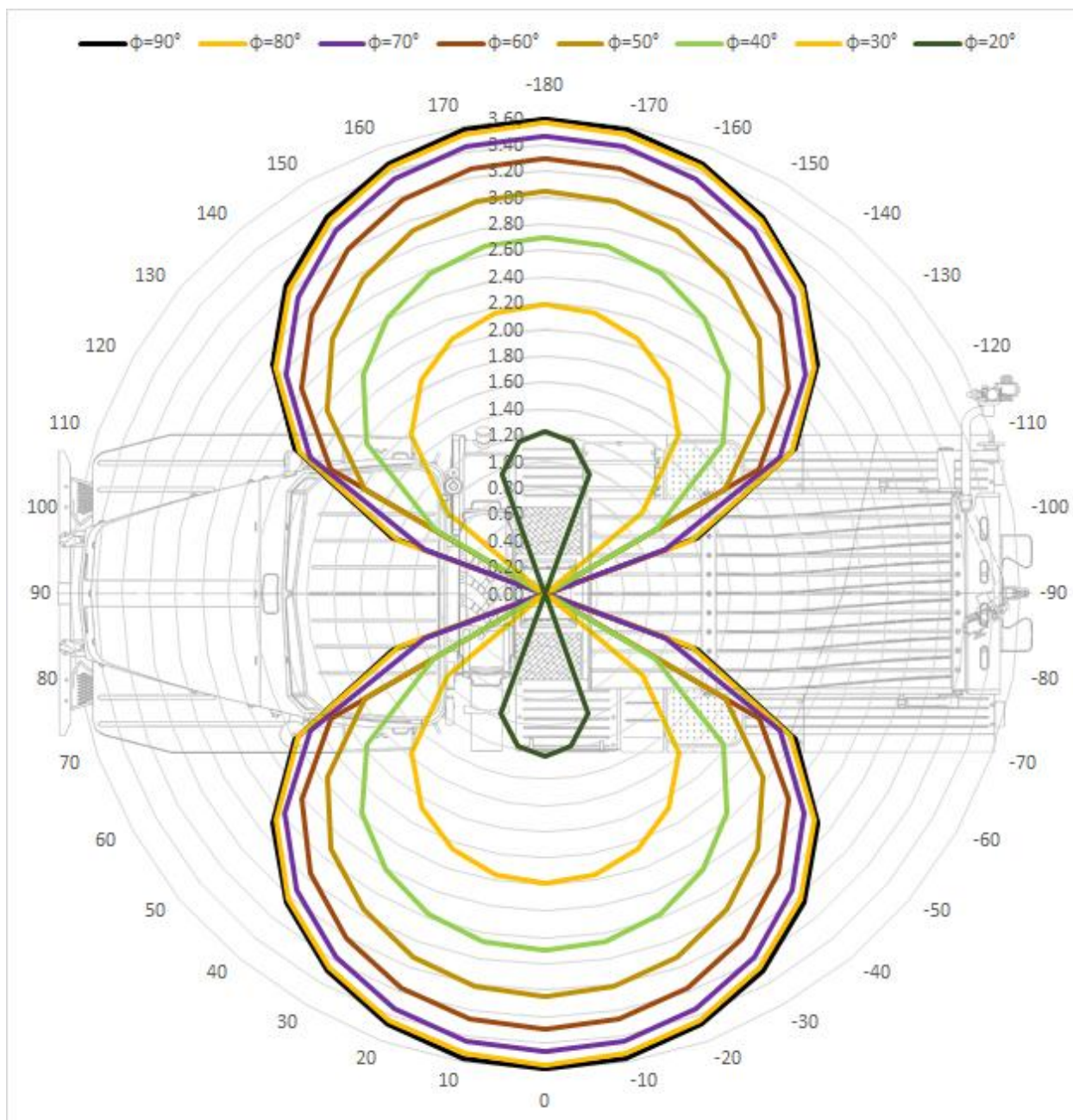
Узимајући почетну брзину, масу, укупан број фрагмента, из табеле 8.1.2. и критично растојање из једначине 7.9 добија се укупна кинетичка енергија парчадног дејства која делује на лансер.

Овај модел је груба апроксимација реалног система. За поузданије моделе потребно је извршити експериментална испитивања у јами или обору, као и одређивање почетне брзине парчади радаром, за која су потребна велика материјална средства.

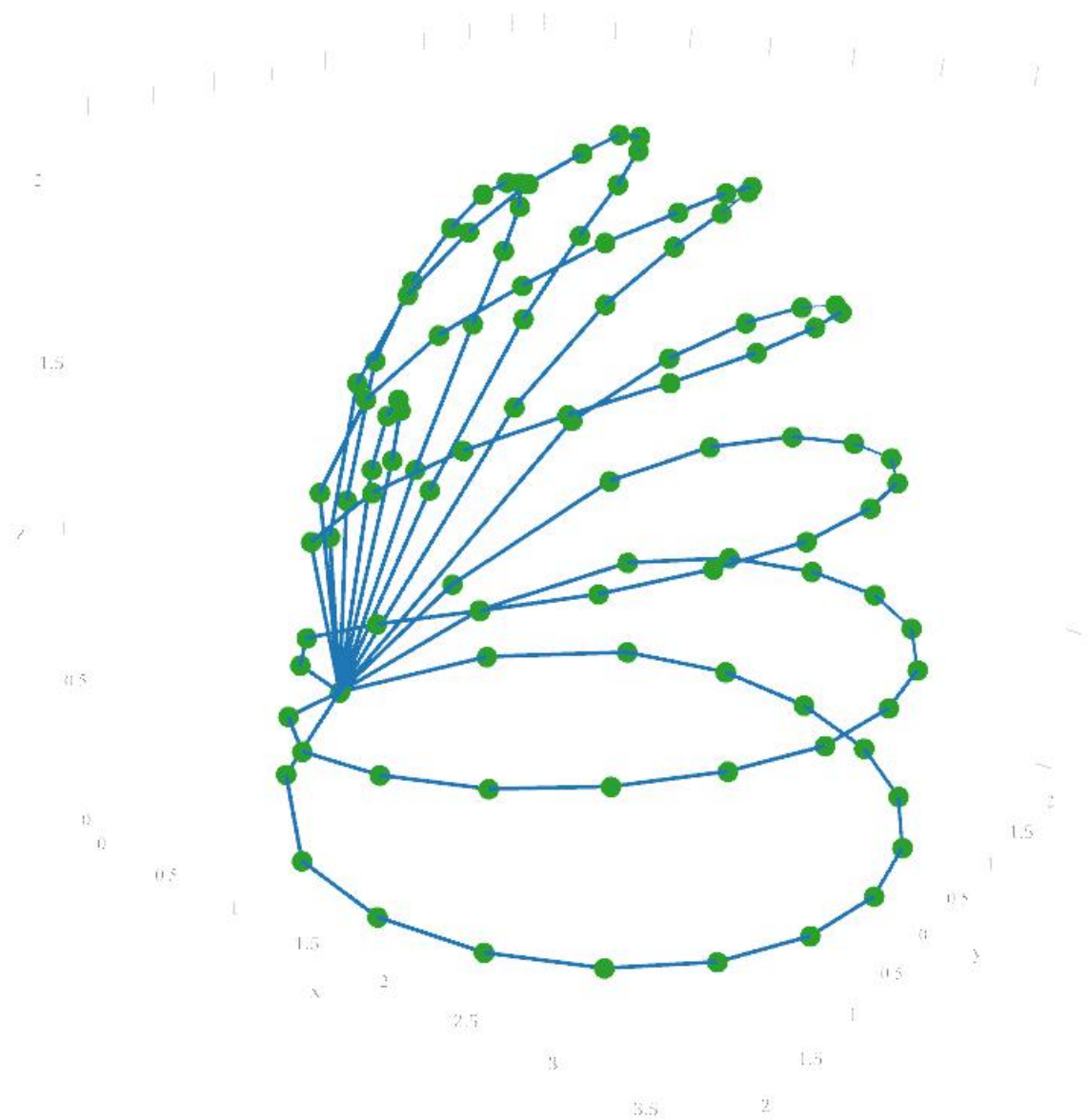
9. ПРЕГЛЕД РЕЗУЛТАТА

9.1. Услов превртања ракетног ласнесра

У случају надземне експлозије еквивалентна маса експлозива износи 9,405 kg. Помоћу еквивалентне масе експлозива (једначина 7.1) и критичног притиска (једначина 6.7), преко једначине 7.8, прорачуната су критична растојања превртања за независне промењиве ϕ и θ , које се крећу у дијапазону од $20 \div 90$ односно $-180 \div 180$. Добијени резултати приказани су на сликама 9.1.1 и 9.1.2.

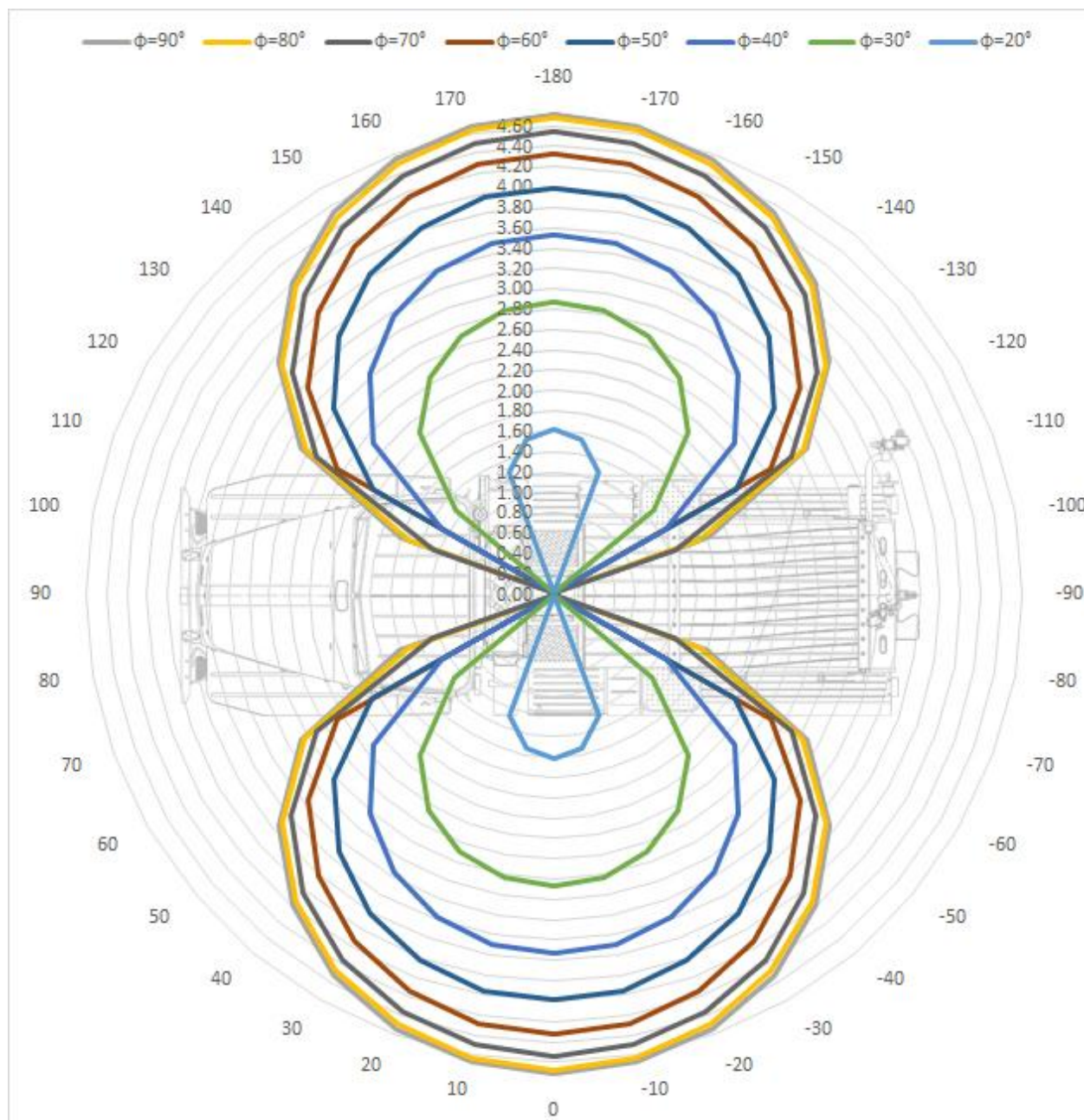


Слика 9.1.1. Критично растојање у функцији ϕ и θ при надземној експлозији

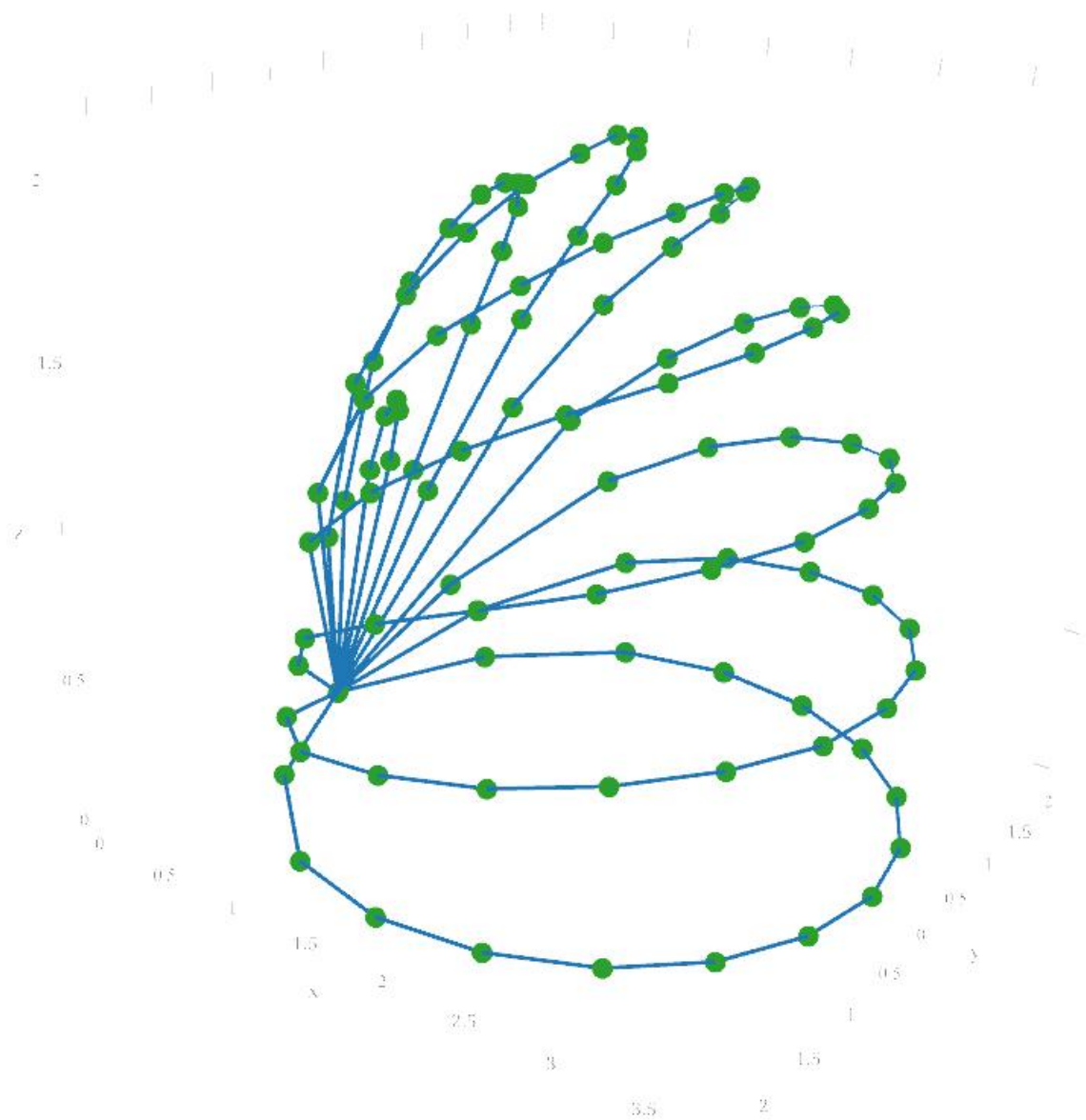


Слика 9.1.2. Тродимензионални преглед критичног растојања у функцији φ и θ при надземној експлозији

Имајући у виду, да је еквивалентна маса експлозива, при површинској експлозији двоструко већа, због полусферног ширења ударног таласа, помножена са коефицијентом тла, добија се за масу експлозива 14,108 kg. Помоћу еквивалентне масе експлозива (једначина 4.2.1.) и критичног притиска (једначина 6.7), преко једначине 7.8 прорачуната су критична растојања превртања за независне променљиве ϕ и θ , које се крећу у дијапазону од $20 \div 90$ односно $-70 \div 70$. Добијени резултати приказани су на сликама 9.1.3 и 9.1.4.



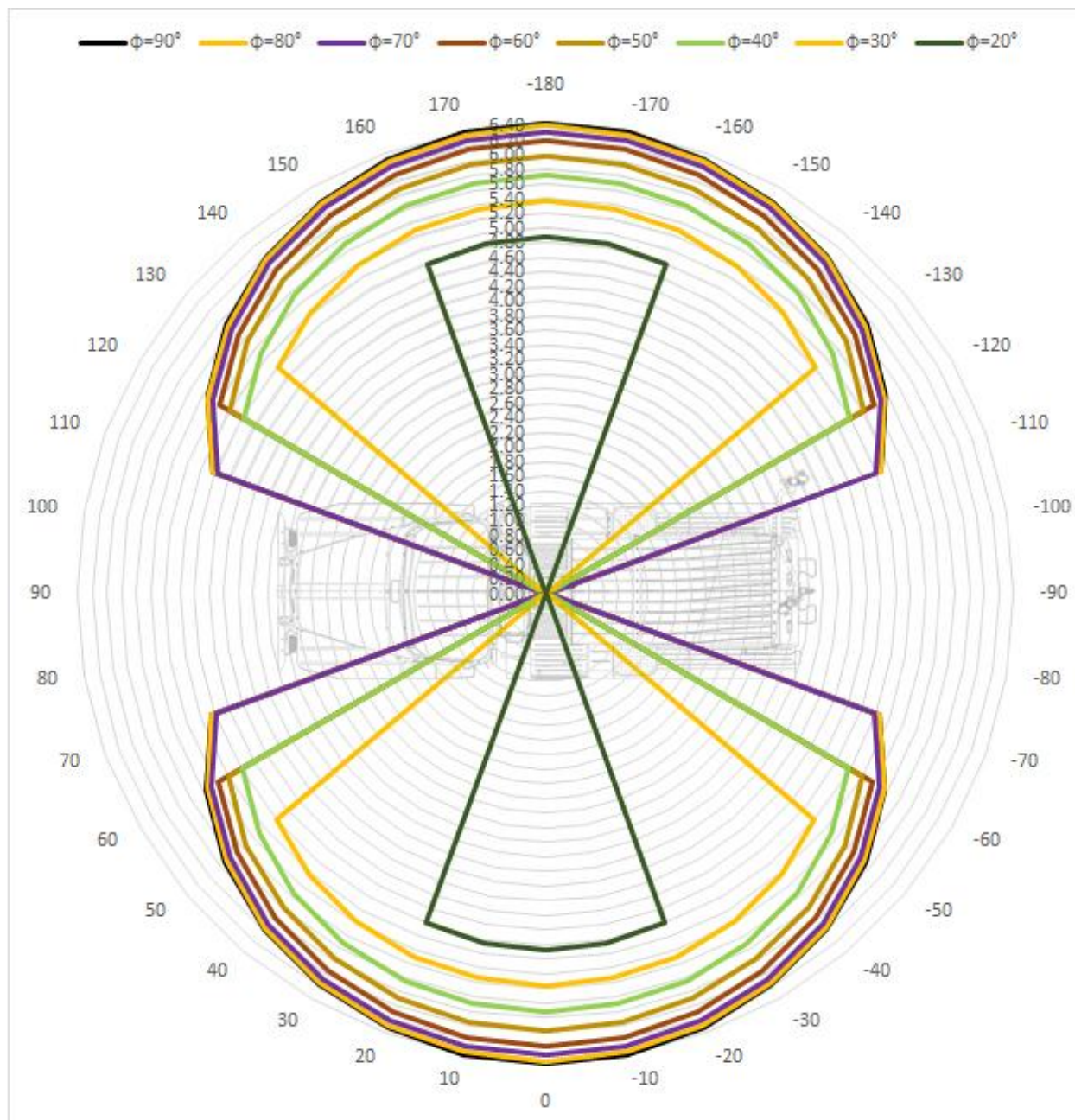
Слика 9.1.3. Критично растојање у функцији ϕ и θ при површинској експлозији



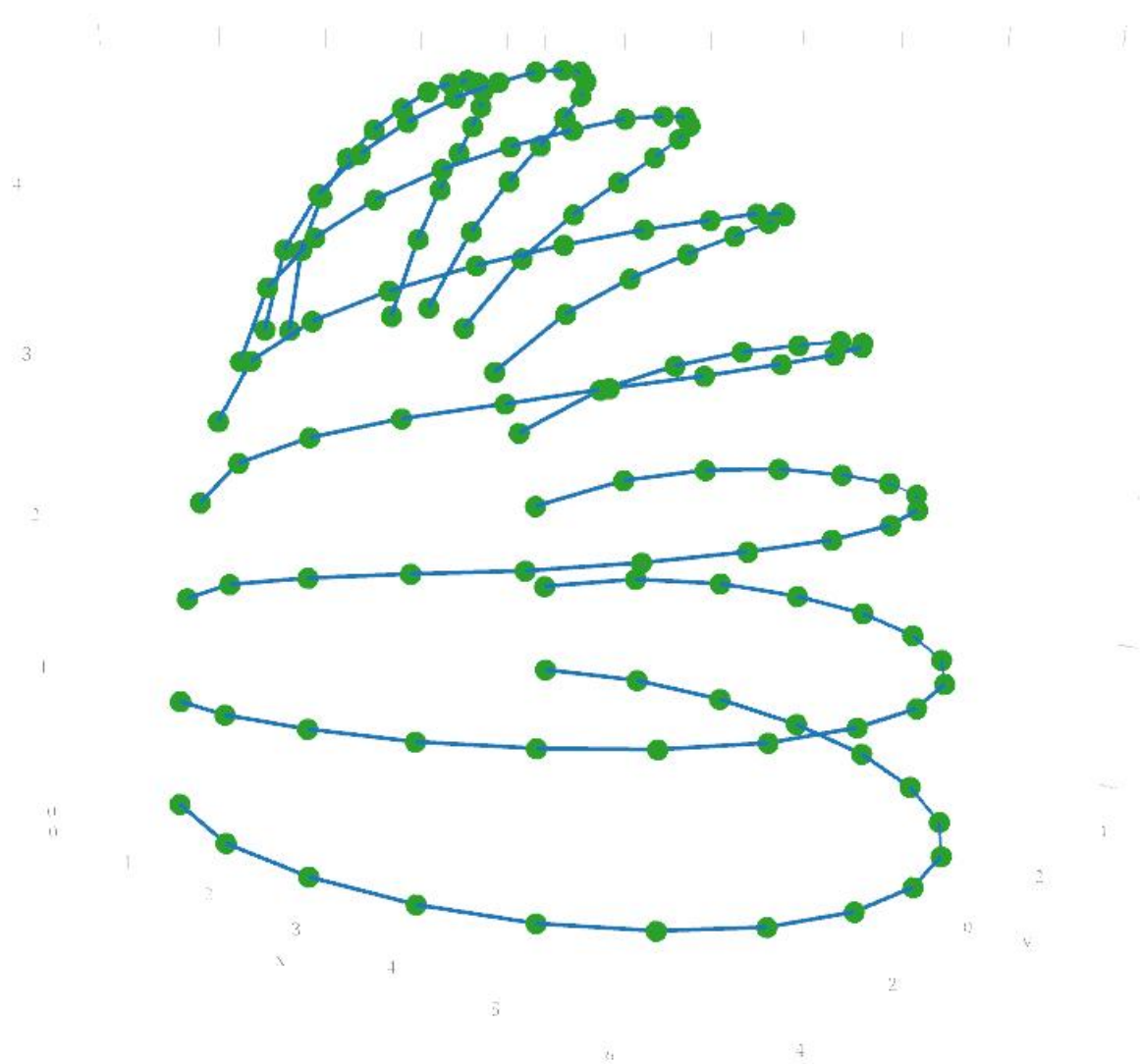
Слика 9.1.4. Тродимензионални преглед критичног растојања у функцији φ и θ при површинској експлозији

9.2. Услов нарушене стабилности ракете унутар лансирне цеви

Сличним поступком као у тачки 9.1, за надземну експлозију прорачуната су критична растојања нарушавања стабилности ракете унутар лансирне цеви. Помоћу еквивалентне масе експлозива (једначина 7.1) и критичног притиска (једначина 6.8), преко једначине 7.8 прорачуната су критична растојања превртања за независне промењиве ϕ и θ , које се крећу у дијапазону од $90 \div 20$ односно $-80 \div 80$. Добијени резултати приказани су на сликама 9.2.1. и 9.2.2.

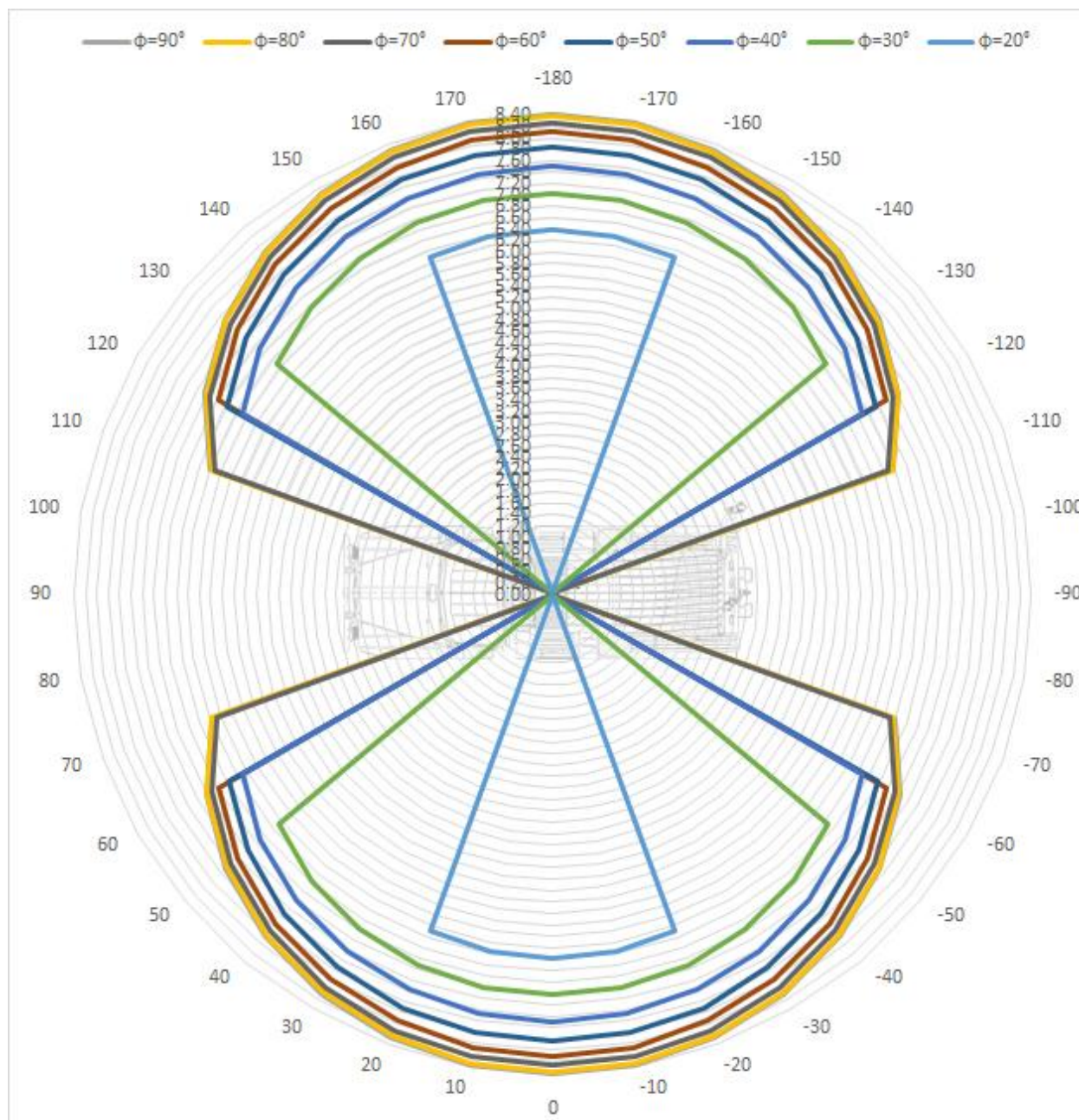


Слика 9.2.1. Критично растојање нарушене стабилности ракете у функцији ϕ и θ при надземној експлозији

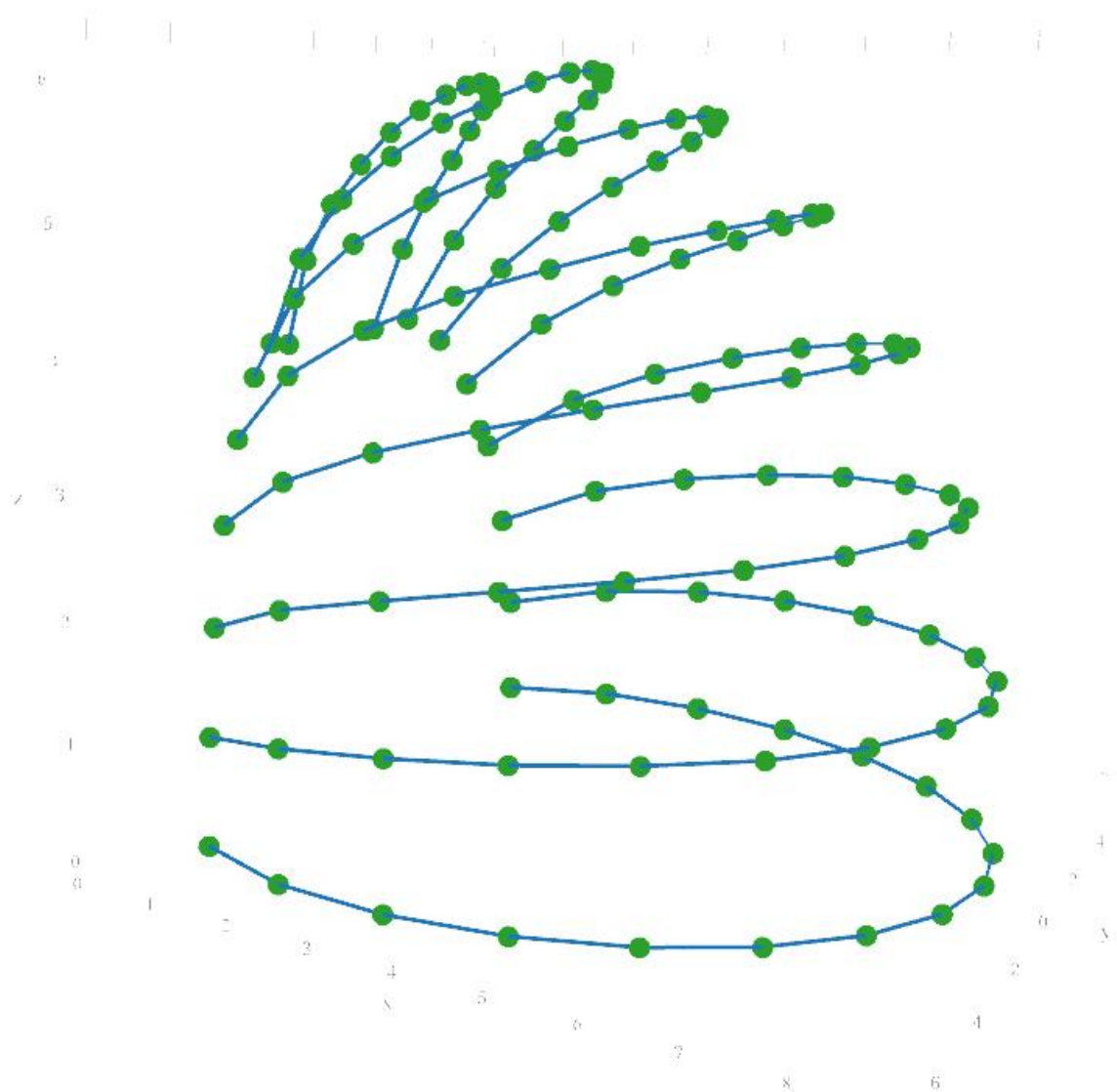


Слика 9.2.2. Тродимензионални преглед критичног растојања из услова нарушене стабилности ракете у функцији ϕ и θ при надземној експлозији

Имајући у виду да је еквивалентна маса експлозива при површинској експлозији двоструко већа, због полусферног ширења ударног таласа, помножена са коефицијентом тла, добија се за масу експлозива 14,108 kg. Помоћу еквивалентне масе експлозива (једначина 4.2.1) и критичног притиска (једначина 6.8), преко једначине 7.8 прорачуната су критична растојања превртања за независне промењиве ϕ и θ , које се крећу у дијапазону од $90 \div 20$ односно $-80 \div 80$. Добијени резултати приказани су на сликама 9.2.3 и 9.2.4.



Слика 9.2.3. Критично растојање нарушене стабилности ракете у функцији ϕ и θ при површинској експлозији



Слика 9.2.4. Тродимензионални преглед критичног растојања из услова нарушене стабилности ракете за површинску експлозију у функцији φ и θ при површинској експлозији

10. ЗАКЉУЧАК

Анализом резултата утврђено је да при надземној експлозији, минимално растојање, при којем неће доћи до превртања ракетног система БМ-21 Град (систем на возилу Урал-375Д), износи 3,6 метара, односно 4,71 метара за површинску експлозију (Слика 9.1.1 и 9.1.2).

Као допуна мастер рада, урађен је прорачун критичног растојања експлозије, које би нарушило стабилност ракете унутар лансирне цеви. Стабилност ракете унутар лансирне цеви, дефинисана је максималном силом од 3g.

Анализом резултата утврђено је да при надземној експлозији, минимално растојање, при којем неће доћи до нарушене стабилности ракете унутар лансирне цеви, износи 6,42 метара, односно 8,41 метара за површинску експлозију (Слика 9.2.1 и 9.2.2).

Овај математички модел је груба апроксимација реалног стања. За унапређење модела потребно је узети у обзир начин ослањања и осциловање лансера.

Наведени резултати су графички приказани у поглављу 8 и табеларно у прилогу 1 и 2.

11. СПИСАК КОРИШЋЕНИХ СКРАЋЕНИЦА

TNT	- Тринитротолуен [15, 16, 17]
RDX	- 1,3,5-тринитро-2,4,6-триазадициклохексан
PENT	- Пентаеритритол тетранитрат
Oktol 72/25	- Смеша TNT - октогена.
Tetril	- Тетра нитрамин, тетралил
Tritonal	- Смеша TNT - 80% и 20% прашкастог алуминијума
Pentolit	- Смеша TNT- 50% - 50% пентрита
Torpex	- Смеша RDX - 42% TNT - 40% и 18% прашкастог алуминијума
AP	- Ацетон пероксид
NBX-3	- Смеша Композисија В - 52% TNT- 8% прашкастог алуминијума - 35% D-2 флегматизатор - 5% калијум хлорид 0,5%
TX	- TNT/RDX
Композисија В	- Смеша RDX - 60%, TNT - 40%, церезин или восак - 1%.
Композисија С3	- Смеша RDX - 77%–85% и гела нитро једињења - 15%–23%.
Композисија С4	- Смеша RDX - 91%, везиво -2,1% полиизобутилен Vistanex, пластификатор 6,9 % смеша DOS/DOA (EHS) и м. уља SAE-10.
ЕП	- Експлозивно пуњење

12. СПИСАК КОРИШЋЕНЕ ЛИТЕРАТУРЕ

- [1] Јованчић Синиша, Самоходна вишецевна ракетна артиљерија, Војнотехнички институт, Београд, 2014.
- [2] https://bs.wikipedia.org/wiki/БМ-21_Grad, 07.06.2017
- [3] https://sr.wikipedia.org/sr-el/БМ-21_Град, 07.06.2017
- [4] <http://mechajournal.com/2016/01/бм-21-град-несколько-ракетная/>, 07.06.2017
- [5] Александар Кари, Момчило Милиновић, Борбено оптерећење вишецевног лансера услед дејства ударног таласа, Војнотехнички гласник, Београд, 2008
- [6] http://www.vias.org/calculus/12_multiple_integrals_07_03.html, 07.06.2017
- [7] Радун Јеремић, Експлозивни процеси, Београд, 2002.
- [8] Момчило Милиновић, Основи пројектовања ракета и лансера, ПОГЛАВЉА ИЗ ПРОЈЕКТОВАЊА ЛАНСЕРА, Машински факултет, Београд, Октобар 2002
- [9] <http://www.smcars.net/threads/ural-4320-bm-21-1-grad.33182/>, 07.06.2017
- [10] Душан Симић, Моторна возила, ИРО “Научна књига”, Београд, 1988.
- [11] Блаж Михелић, Прилог формулама које се користе у управљању муницијом, Крагујевац, 2013.
- [12] Табела 1. ПРЕДЛОГ класификације појединих артикала УБС
- [13] <http://forum.matemanija.com/viewtopic.php?f=2&t=186>, 07.06.2017
- [14] Александар Стаматовић, Конструисање пројектила, ”Ivexu” р.о. Београд, 1995.
- [15] Петар В. Максимовић, Експлозивне материје, Војнотехнички завод, Београд, 1985.
- [16] Петар В. Максимовић, Технологија, експлозивних материја, Војнотехнички завод, Београд, 1972.
- [17] <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/135175.pdf>, 15.06.2017

ПРИЛОГ 1

Параметри надземне експлозије, за услов превртања лансера

φ [°]	θ [°]	p [Pa]	m [kg]	k_1	k_2	k_3	r [m]
90	-70	5087247	9,405	0,85	3	8	1,23
90	-60	1080994	9,405	0,85	3	8	2,19
90	-50	634327	9,405	0,85	3	8	2,70
90	-40	468702	9,405	0,85	3	8	3,05
90	-30	387301	9,405	0,85	3	8	3,30
90	-20	343593	9,405	0,85	3	8	3,47
90	-10	321464	9,405	0,85	3	8	3,57
90	0	314654	9,405	0,85	3	8	3,60
90	10	321464	9,405	0,85	3	8	3,57
90	20	343593	9,405	0,85	3	8	3,47
90	30	387301	9,405	0,85	3	8	3,30
90	40	468702	9,405	0,85	3	8	3,05
90	50	634327	9,405	0,85	3	8	2,70
90	60	1080994	9,405	0,85	3	8	2,19
90	70	5087247	9,405	0,85	3	8	1,23
80	-70	5798219	9,405	0,85	3	8	1,17
80	-60	1123298	9,405	0,85	3	8	2,15
80	-50	652685	9,405	0,85	3	8	2,67
80	-40	480502	9,405	0,85	3	8	3,02
80	-30	396332	9,405	0,85	3	8	3,27
80	-20	351260	9,405	0,85	3	8	3,43
80	-10	328473	9,405	0,85	3	8	3,53
80	0	321464	9,405	0,85	3	8	3,57
80	10	328473	9,405	0,85	3	8	3,53
80	20	351260	9,405	0,85	3	8	3,43
80	30	396332	9,405	0,85	3	8	3,27
80	40	480502	9,405	0,85	3	8	3,02
80	50	652685	9,405	0,85	3	8	2,67
80	60	1123298	9,405	0,85	3	8	2,15
80	70	5798219	9,405	0,85	3	8	1,17
70	-70	9917149	9,405	0,85	3	8	0,97
70	-60	1271189	9,405	0,85	3	8	2,05
70	-50	714144	9,405	0,85	3	8	2,57
70	-40	519396	9,405	0,85	3	8	2,92
70	-30	425875	9,405	0,85	3	8	3,17
70	-20	376238	9,405	0,85	3	8	3,34
70	-10	351260	9,405	0,85	3	8	3,43
70	0	343593	9,405	0,85	3	8	3,47

70	10	351260	9,405	0,85	3	8	3,43
70	20	376238	9,405	0,85	3	8	3,34
70	30	425875	9,405	0,85	3	8	3,17
70	40	519396	9,405	0,85	3	8	2,92
70	50	714144	9,405	0,85	3	8	2,57
70	60	1271189	9,405	0,85	3	8	2,05
70	70	9917149	9,405	0,85	3	8	0,97
60	-60	1620256	9,405	0,85	3	8	1,87
60	-50	844313	9,405	0,85	3	8	2,41
60	-40	598791	9,405	0,85	3	8	2,76
60	-30	485129	9,405	0,85	3	8	3,00
60	-20	425875	9,405	0,85	3	8	3,17
60	-10	396332	9,405	0,85	3	8	3,27
60	0	387301	9,405	0,85	3	8	3,30
60	10	396332	9,405	0,85	3	8	3,27
60	20	425875	9,405	0,85	3	8	3,17
60	30	485129	9,405	0,85	3	8	3,00
60	40	598791	9,405	0,85	3	8	2,76
60	50	844313	9,405	0,85	3	8	2,41
60	60	1620256	9,405	0,85	3	8	1,87
50	-60	2587671	9,405	0,85	3	8	1,57
50	-50	1123298	9,405	0,85	3	8	2,15
50	-40	756457	9,405	0,85	3	8	2,51
50	-30	598791	9,405	0,85	3	8	2,76
50	-20	519396	9,405	0,85	3	8	2,92
50	-10	480502	9,405	0,85	3	8	3,02
50	0	468702	9,405	0,85	3	8	3,05
50	10	480502	9,405	0,85	3	8	3,02
50	20	519396	9,405	0,85	3	8	2,92
50	30	598791	9,405	0,85	3	8	2,76
50	40	756457	9,405	0,85	3	8	2,51
50	50	1123298	9,405	0,85	3	8	2,15
50	60	2587671	9,405	0,85	3	8	1,57
40	-60	9917149	9,405	0,85	3	8	0,97
40	-50	1902129	9,405	0,85	3	8	1,76
40	-40	1123298	9,405	0,85	3	8	2,15
40	-30	844313	9,405	0,85	3	8	2,41
40	-20	714144	9,405	0,85	3	8	2,57
40	-10	652685	9,405	0,85	3	8	2,67
40	0	634327	9,405	0,85	3	8	2,70
40	10	652685	9,405	0,85	3	8	2,67

40	20	714144	9,405	0,85	3	8	2,57
40	30	844313	9,405	0,85	3	8	2,41
40	40	1123298	9,405	0,85	3	8	2,15
40	50	1902129	9,405	0,85	3	8	1,76
40	60	9917149	9,405	0,85	3	8	0,97
30	-50	9917149	9,405	0,85	3	8	0,97
30	-40	2587671	9,405	0,85	3	8	1,57
30	-30	1620256	9,405	0,85	3	8	1,87
30	-20	1271189	9,405	0,85	3	8	2,05
30	-10	1123298	9,405	0,85	3	8	2,15
30	0	1080994	9,405	0,85	3	8	2,19
30	10	1123298	9,405	0,85	3	8	2,15
30	20	1271189	9,405	0,85	3	8	2,05
30	30	1620256	9,405	0,85	3	8	1,87
30	40	2587671	9,405	0,85	3	8	1,57
30	50	9917149	9,405	0,85	3	8	0,97
20	-20	9917149	9,405	0,85	3	8	0,97
20	-10	5798219	9,405	0,85	3	8	1,17
20	0	5087247	9,405	0,85	3	8	1,23
20	10	5798219	9,405	0,85	3	8	1,17
20	20	9917149	9,405	0,85	3	8	0,97

Параметри површинске експлозије, за услов превртања лансера

φ [°]	θ [°]	p [Pa]	m [kg]	η	k_1	k_2	k_3	r [m]
90	-70	5087247	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,61
90	-60	1080994	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,87
90	-50	634327	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,53
90	-40	468702	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,99
90	-30	387301	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,32
90	-20	343593	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,54
90	-10	321464	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,67
90	0	314654	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,71
90	10	321464	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,67
90	20	343593	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,54
90	30	387301	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,32
90	40	468702	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,99
90	50	634327	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,53
90	60	1080994	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,87
90	70	5087247	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,61
80	-70	5798219	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,54
80	-60	1123298	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,82

80	-50	652685	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,49
80	-40	480502	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,95
80	-30	396332	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,28
80	-20	351260	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,50
80	-10	328473	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,63
80	0	321464	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,67
80	10	328473	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,63
80	20	351260	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,50
80	30	396332	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,28
80	40	480502	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,95
80	50	652685	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,49
80	60	1123298	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,82
80	70	5798219	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,54
70	-70	9917149	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,27
70	-60	1271189	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,69
70	-50	714144	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,37
70	-40	519396	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,83
70	-30	425875	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,15
70	-20	376238	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,37
70	-10	351260	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,50
70	0	343593	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,54
70	10	351260	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,50
70	20	376238	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,37
70	30	425875	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,15
70	40	519396	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,83
70	50	714144	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,37
70	60	1271189	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,69
70	70	9917149	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,27
60	-60	1620256	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,46
60	-50	844313	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,15
60	-40	598791	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,61
60	-30	485129	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,94
60	-20	425875	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,15
60	-10	396332	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,28
60	0	387301	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,32
60	10	396332	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,28
60	20	425875	14,108	0,75	0,97	3,93	12	4,15
60	30	485129	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,94
60	40	598791	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,61
60	50	844313	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,15
60	60	1620256	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,46

50	-60	2587671	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,06
50	-50	1123298	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,82
50	-40	756457	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,29
50	-30	598791	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,61
50	-20	519396	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,83
50	-10	480502	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,95
50	0	468702	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,99
50	10	480502	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,95
50	20	519396	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,83
50	30	598791	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,61
50	40	756457	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,29
50	50	1123298	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,82
50	60	2587671	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,06
40	-60	9917149	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,27
40	-50	1902129	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,31
40	-40	1123298	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,82
40	-30	844313	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,15
40	-20	714144	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,37
40	-10	652685	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,49
40	0	634327	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,53
40	10	652685	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,49
40	20	714144	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,37
40	30	844313	14,108	0,75	0,97	3,93	12	3,15
40	40	1123298	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,82
40	50	1902129	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,31
40	60	9917149	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,27
30	-50	9917149	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,27
30	-40	2587671	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,06
30	-30	1620256	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,46
30	-20	1271189	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,69
30	-10	1123298	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,82
30	0	1080994	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,87
30	10	1123298	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,82
30	20	1271189	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,69
30	30	1620256	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,46
30	40	2587671	14,108	0,75	0,97	3,93	12	2,06
30	50	9917149	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,27
20	-20	9917149	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,27
20	-10	5798219	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,54
20	0	5087247	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,61
20	10	5798219	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,54

20	20	9917149	14,108	0,75	0,97	3,93	12	1,27
----	----	---------	--------	------	------	------	----	------

ПРИЛОГ 2

Параметри надземне експлозије, за услов нарушене стабилности ракете, унутар лансирне цеви

φ [°]	θ [°]	m kg	k_1	k_2	k_3	p [Pa]	r [m]
90	-80	9,405	0,85	3	8	231358	4,11
90	-70	9,405	0,85	3	8	158322	4,87
90	-60	9,405	0,85	3	8	128687	5,36
90	-50	9,405	0,85	3	8	112388	5,72
90	-40	9,405	0,85	3	8	102317	5,99
90	-30	9,405	0,85	3	8	95845	6,18
90	-20	9,405	0,85	3	8	91779	6,32
90	-10	9,405	0,85	3	8	89526	6,39
90	0	9,405	0,85	3	8	88803	6,42
90	10	9,405	0,85	3	8	89526	6,39
90	20	9,405	0,85	3	8	91779	6,32
90	30	9,405	0,85	3	8	95845	6,18
90	40	9,405	0,85	3	8	102317	5,99
90	50	9,405	0,85	3	8	112388	5,72
90	60	9,405	0,85	3	8	128687	5,36
90	70	9,405	0,85	3	8	158322	4,87
90	80	9,405	0,85	3	8	231358	4,11
80	-80	9,405	0,85	3	8	233387	4,09
80	-70	9,405	0,85	3	8	159662	4,85
80	-60	9,405	0,85	3	8	129759	5,34
80	-50	9,405	0,85	3	8	113315	5,70
80	-40	9,405	0,85	3	8	103157	5,96
80	-30	9,405	0,85	3	8	96629	6,16
80	-20	9,405	0,85	3	8	92528	6,29
80	-10	9,405	0,85	3	8	90255	6,37
80	0	9,405	0,85	3	8	89526	6,39
80	10	9,405	0,85	3	8	90255	6,37
80	20	9,405	0,85	3	8	92528	6,29
80	30	9,405	0,85	3	8	96629	6,16
80	40	9,405	0,85	3	8	103157	5,96
80	50	9,405	0,85	3	8	113315	5,70
80	60	9,405	0,85	3	8	129759	5,34
80	70	9,405	0,85	3	8	159662	4,85
80	80	9,405	0,85	3	8	233387	4,09
70	-80	9,405	0,85	3	8	239726	4,05

70	-70	9,405	0,85	3	8	163842	4,79
70	-60	9,405	0,85	3	8	133101	5,28
70	-50	9,405	0,85	3	8	116208	5,63
70	-40	9,405	0,85	3	8	105774	5,89
70	-30	9,405	0,85	3	8	99071	6,08
70	-20	9,405	0,85	3	8	94860	6,21
70	-10	9,405	0,85	3	8	92528	6,29
70	0	9,405	0,85	3	8	91779	6,32
70	10	9,405	0,85	3	8	92528	6,29
70	20	9,405	0,85	3	8	94860	6,21
70	30	9,405	0,85	3	8	99071	6,08
70	40	9,405	0,85	3	8	105774	5,89
70	50	9,405	0,85	3	8	116208	5,63
70	60	9,405	0,85	3	8	133101	5,28
70	70	9,405	0,85	3	8	163842	4,79
70	80	9,405	0,85	3	8	239726	4,05
60	-80	9,405	0,85	3	8	251222	3,96
60	-70	9,405	0,85	3	8	171406	4,70
60	-60	9,405	0,85	3	8	139143	5,17
60	-50	9,405	0,85	3	8	121432	5,51
60	-40	9,405	0,85	3	8	110500	5,77
60	-30	9,405	0,85	3	8	103480	5,95
60	-20	9,405	0,85	3	8	99071	6,08
60	-10	9,405	0,85	3	8	96629	6,16
60	0	9,405	0,85	3	8	95845	6,18
60	10	9,405	0,85	3	8	96629	6,16
60	20	9,405	0,85	3	8	99071	6,08
60	30	9,405	0,85	3	8	103480	5,95
60	40	9,405	0,85	3	8	110500	5,77
60	50	9,405	0,85	3	8	121432	5,51
60	60	9,405	0,85	3	8	139143	5,17
60	70	9,405	0,85	3	8	171406	4,70
60	80	9,405	0,85	3	8	251222	3,96
50	-80	9,405	0,85	3	8	269666	3,84
50	-70	9,405	0,85	3	8	183495	4,55
50	-60	9,405	0,85	3	8	148783	5,01
50	-50	9,405	0,85	3	8	129759	5,34
50	-40	9,405	0,85	3	8	118028	5,59
50	-30	9,405	0,85	3	8	110500	5,77
50	-20	9,405	0,85	3	8	105774	5,89
50	-10	9,405	0,85	3	8	103157	5,96

50	0	9,405	0,85	3	8	102317	5,99
50	10	9,405	0,85	3	8	103157	5,96
50	20	9,405	0,85	3	8	105774	5,89
50	30	9,405	0,85	3	8	110500	5,77
50	40	9,405	0,85	3	8	118028	5,59
50	50	9,405	0,85	3	8	129759	5,34
50	60	9,405	0,85	3	8	148783	5,01
50	70	9,405	0,85	3	8	183495	4,55
50	80	9,405	0,85	3	8	269666	3,84
40	-80	9,405	0,85	3	8	298725	3,68
40	-70	9,405	0,85	3	8	202431	4,36
40	-60	9,405	0,85	3	8	163842	4,79
40	-50	9,405	0,85	3	8	142746	5,11
40	-40	9,405	0,85	3	8	129759	5,34
40	-30	9,405	0,85	3	8	121432	5,51
40	-20	9,405	0,85	3	8	116208	5,63
40	-10	9,405	0,85	3	8	113315	5,70
40	0	9,405	0,85	3	8	112388	5,72
40	10	9,405	0,85	3	8	113315	5,70
40	20	9,405	0,85	3	8	116208	5,63
40	30	9,405	0,85	3	8	121432	5,51
40	40	9,405	0,85	3	8	129759	5,34
40	50	9,405	0,85	3	8	142746	5,11
40	60	9,405	0,85	3	8	163842	4,79
40	70	9,405	0,85	3	8	202431	4,36
40	80	9,405	0,85	3	8	298725	3,68
30	-80	9,405	0,85	3	8	346665	3,45
30	-70	9,405	0,85	3	8	233387	4,09
30	-60	9,405	0,85	3	8	188360	4,50
30	-50	9,405	0,85	3	8	163842	4,79
30	-40	9,405	0,85	3	8	148783	5,01
30	-30	9,405	0,85	3	8	139143	5,17
30	-20	9,405	0,85	3	8	133101	5,28
30	-10	9,405	0,85	3	8	129759	5,34
30	0	9,405	0,85	3	8	128687	5,36
30	10	9,405	0,85	3	8	129759	5,34
30	20	9,405	0,85	3	8	133101	5,28
30	30	9,405	0,85	3	8	139143	5,17
30	40	9,405	0,85	3	8	148783	5,01
30	50	9,405	0,85	3	8	163842	4,79
30	60	9,405	0,85	3	8	188360	4,50

30	70	9,405	0,85	3	8	233387	4,09
30	80	9,405	0,85	3	8	346665	3,45
20	-80	9,405	0,85	3	8	436645	3,14
20	-70	9,405	0,85	3	8	290628	3,72
20	-60	9,405	0,85	3	8	233387	4,09
20	-50	9,405	0,85	3	8	202431	4,36
20	-40	9,405	0,85	3	8	183495	4,55
20	-30	9,405	0,85	3	8	171406	4,70
20	-20	9,405	0,85	3	8	163842	4,79
20	-10	9,405	0,85	3	8	159662	4,85
20	0	9,405	0,85	3	8	158322	4,87
20	10	9,405	0,85	3	8	159662	4,85
20	20	9,405	0,85	3	8	163842	4,79
20	30	9,405	0,85	3	8	171406	4,70
20	40	9,405	0,85	3	8	183495	4,55
20	50	9,405	0,85	3	8	202431	4,36
20	60	9,405	0,85	3	8	233387	4,09
20	70	9,405	0,85	3	8	290628	3,72
20	80	9,405	0,85	3	8	436645	3,14

Параметри површинске експлозије, за услов нарушене стабилности ракете, унутар лансирне цеви

φ [°]	θ [°]	m [kg]	η	k_1	k_2	k_3	p [Pa]	r [m]
90	-80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	231358	5,38
90	-70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	158322	6,38
90	-60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	128687	7,03
90	-50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	112388	7,49
90	-40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	102317	7,84
90	-30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	95845	8,10
90	-20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	91779	8,27
90	-10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	89526	8,37
90	0	14,108	0,75	0,97	3,93	12	88803	8,41
90	10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	89526	8,37
90	20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	91779	8,27
90	30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	95845	8,10
90	40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	102317	7,84
90	50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	112388	7,49
90	60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	128687	7,03
90	70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	158322	6,38
90	80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	231358	5,38
80	-80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	233387	5,36

80	-70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	159662	6,35
80	-60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	129759	7,00
80	-50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	113315	7,46
80	-40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	103157	7,81
80	-30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	96629	8,06
80	-20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	92528	8,24
80	-10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	90255	8,34
80	0	14,108	0,75	0,97	3,93	12	89526	8,37
80	10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	90255	8,34
80	20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	92528	8,24
80	30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	96629	8,06
80	40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	103157	7,81
80	50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	113315	7,46
80	60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	129759	7,00
80	70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	159662	6,35
80	80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	233387	5,36
70	-80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	239726	5,30
70	-70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	163842	6,28
70	-60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	133101	6,91
70	-50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	116208	7,37
70	-40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	105774	7,72
70	-30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	99071	7,97
70	-20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	94860	8,14
70	-10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	92528	8,24
70	0	14,108	0,75	0,97	3,93	12	91779	8,27
70	10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	92528	8,24
70	20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	94860	8,14
70	30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	99071	7,97
70	40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	105774	7,72
70	50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	116208	7,37
70	60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	133101	6,91
70	70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	163842	6,28
70	80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	239726	5,30
60	-80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	251222	5,19
60	-70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	171406	6,15
60	-60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	139143	6,77
60	-50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	121432	7,22
60	-40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	110500	7,55
60	-30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	103480	7,80
60	-20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	99071	7,97
60	-10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	96629	8,06

60	0	14,108	0,75	0,97	3,93	12	95845	8,10
60	10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	96629	8,06
60	20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	99071	7,97
60	30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	103480	7,80
60	40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	110500	7,55
60	50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	121432	7,22
60	60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	139143	6,77
60	70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	171406	6,15
60	80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	251222	5,19
50	-80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	269666	5,04
50	-70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	183495	5,97
50	-60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	148783	6,56
50	-50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	129759	7,00
50	-40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	118028	7,32
50	-30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	110500	7,55
50	-20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	105774	7,72
50	-10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	103157	7,81
50	0	14,108	0,75	0,97	3,93	12	102317	7,84
50	10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	103157	7,81
50	20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	105774	7,72
50	30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	110500	7,55
50	40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	118028	7,32
50	50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	129759	7,00
50	60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	148783	6,56
50	70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	183495	5,97
50	80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	269666	5,04
40	-80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	298725	4,82
40	-70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	202431	5,71
40	-60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	163842	6,28
40	-50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	142746	6,69
40	-40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	129759	7,00
40	-30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	121432	7,22
40	-20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	116208	7,37
40	-10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	113315	7,46
40	0	14,108	0,75	0,97	3,93	12	112388	7,49
40	10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	113315	7,46
40	20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	116208	7,37
40	30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	121432	7,22
40	40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	129759	7,00
40	50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	142746	6,69
40	60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	163842	6,28

40	70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	202431	5,71
40	80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	298725	4,82
30	-80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	346665	4,52
30	-70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	233387	5,36
30	-60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	188360	5,90
30	-50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	163842	6,28
30	-40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	148783	6,56
30	-30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	139143	6,77
30	-20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	133101	6,91
30	-10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	129759	7,00
30	0	14,108	0,75	0,97	3,93	12	128687	7,03
30	10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	129759	7,00
30	20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	133101	6,91
30	30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	139143	6,77
30	40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	148783	6,56
30	50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	163842	6,28
30	60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	188360	5,90
30	70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	233387	5,36
30	80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	346665	4,52
20	-80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	436645	4,11
20	-70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	290628	4,88
20	-60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	233387	5,36
20	-50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	202431	5,71
20	-40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	183495	5,97
20	-30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	171406	6,15
20	-20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	163842	6,28
20	-10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	159662	6,35
20	0	14,108	0,75	0,97	3,93	12	158322	6,38
20	10	14,108	0,75	0,97	3,93	12	159662	6,35
20	20	14,108	0,75	0,97	3,93	12	163842	6,28
20	30	14,108	0,75	0,97	3,93	12	171406	6,15
20	40	14,108	0,75	0,97	3,93	12	183495	5,97
20	50	14,108	0,75	0,97	3,93	12	202431	5,71
20	60	14,108	0,75	0,97	3,93	12	233387	5,36
20	70	14,108	0,75	0,97	3,93	12	290628	4,88
20	80	14,108	0,75	0,97	3,93	12	436645	4,11