

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Конструкција артиљеријских оруђа

Број индекса: 514/2012

Нина Ј. Живановић

**Анализа рада одводника барутних гасова
код оруђа куполне уградње
дипломски рад**

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Доцент др Александар Кари дипл. инж. - ментор**
- 2. Проф. др Богдан Недић дипл. инж. - председник**
- 3. др Дамир Јерковић дипл. инж. - члан**

Датум
одбране: _____
Оцена: _____

АНАЛИЗА РАДА ОДВОДНИКА БАРУТНИХ ГАСОВА КОД ОРУЂА КУПОЛНЕ УГРАДЊЕ

Тезе:

1. Намена, врсте и начин рада ејектора - одводника барутних гасова
2. Математички модели прорачуна карактеристика одводника барутних гасова
3. Програмско решење за прорачун одводника барутних гасова
4. Анализа утицаја одабраних параметара на функционисање одводника барутних гасова

ОБЈАШЊЕЊЕ РАДА:

- У првом поглављу описати потребу за постојањем одводника или продувника барутних гасова код оруђа куполне уградње и начине решавања проблема недозвољавања истицања барутних гасова у борбено одељење тенка (куполу). Може се дати развој ових уређаја кроз историју са већим бројем илустрација. Затим описати начин функционисања ових уређаја и дефинисати кључне параметре који утичу на њихов рад. Као литературу користити интернет странице које се баве овим проблемима.
- У другом поглављу из дате литературе дефинисати математичке моделе за израчунавање основних карактеристика одводника барутних гасова.
- У трећем поглављу поставити алгоритам решавања проблема израчунавања карактеристика одводника на основу приказаних математичких модела у претходном поглављу. На основу алгоритма израдити програмско решење (симулацију) у програмском пакету MATLAB. Улазне податке узети за неко постојеће решење одводника барутних гасова на оруђу куполне уградње (нпр. Тенк М84 са својим топом 2А46 калибра 125 mm).
- У четвртном поглављу варирати утицајне параметре дефинисане у 2. поглављу и анализирати њихов утицај на излазне карактеристике изабраног одводника.
- У закључку описати шта је све урађено и евентуално дати смернице за даљи рад.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Clarence J. Lang, *Engineering Design Handbook, Guns Series, Muzzle Devices*, FTEADQUARTERS UNITED STATES ARMY MATERIEL COMMAND, WASHINGTON, D.C., 1968.
- [2] З. Ристић, *Прорачун ејекторског уређаја*, ТИШЦ Загреб, 1982.
- [3] Qing-Xiang Pei and Richard Foo, *Modeling and Simulation of the Gas Charging and Discharging Processes on Gun Bore Evacuator*, 19th International Symposium of Ballistics, 7–11 May 2001, Interlaken, Switzerland.
- [4] C. R. Woodley, *Modelling of Fume Extractors*, 19th International Symposium of Ballistics, 7–11 May 2001, Interlaken, Switzerland.
- [5] Техничко упутство ТС-1, *Тенковски топови 100 mm D10-TG и D10-T2S*, Државни секретаријат за народну одбрану - Техничка управа, Београд, 1970.
- [6] Техничко упутство ТУ-1, *Тенковски топ 125 mm 2А46*, Савезни секретаријат за народну одбрану - Техничка управа, Београд, 1984.

МЕНТОР

доцент

др Александар Кари, дипл. инж.

САДРЖАЈ

УВОД	2
1. НАМЕНА, ИСТОРИЈА И НАЧИН РАДА ОДВОДНИКА БАРУТНИХ ГАСОВА	3
1.1. Историјски развој	4
1.2. Начин рада одводника барутних гасова	9
2. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ ПРОРАЧУНА КАРАКТЕРИСТИКА ОДВОДНИКА БАРУТНИХ ГАСОВА	14
2.1. Математички модел дефинисан према литератури [1]	14
2.2. Математички модел према литератури [3]	23
3. ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОРАЧУН ОДВОДНИКА БАРУТНИХ ГАСОВА	29
4. АНАЛИЗА УТИЦАЈА ОДАБРАНИХ ПАРАМЕТАРА НА ФУНКЦИОНИСАЊЕ ОДВОДНИКА БАРУТНИХ ГАСОВА	34
ЗАКЉУЧАК	40
ЛИТЕРАТУРА	41

ABSTRACT

This thesis contains a description of bore evacuator usage on the guns mounted in an armored gun turret and their development through history. The working principle was explained in detail, so were the existing types of evacuators, construction schemes were given and the key parameters that affect operation of the evacuator were defined. Mathematical models were used to present mode of operation and to enable calculation of main characteristics of the bore evacuator. Based on one of the models, an algorithm was created and used to develop a code in software environment MATLAB. The calculation of charging and discharging processes for the bore evacuator mounted on a 76 mm cannon as an example. Analysis of key parameters affecting the evacuator's reliability and work effectiveness was conducted.

Key words: *evacuator, ejector, propellant gases, parameters.*

РЕЗИМЕ

У дипломском раду описана је потреба за коришћењем одводника барутних гасова код оруђа куполне уградње и њихов развој кроз историју. Детаљно је објашњен начин функционисања и постојеће врсте одводника, са приложеним шемама конструкције и дефинисани су кључни параметри који утичу на његов рад. Рад одводника је представљен математичким моделима који омогућавају израчунавање основних карактеристика одводника барутних гасова, као и алгоритам постављен према једном од модела. Дат је пример прорачуна процеса пуњења и процеса пражњења одводника постављеног на топ 76 mm помоћу софтверског решења MATLAB. Анализиран је утицај појединих параметара на поузданост продувавања канала цеви и ефектност рада одводника.

Кључне речи: *одводник, ејектор, барутни гасови, параметри.*

УВОД

Током година, од почетка употребе барута и настанка првог артиљеријског оруђа у четрнаестом веку, њихов принцип рада и конструкцијска решења су се мењала и усавршавала са циљем да се повећа прецизност гађања и стабилност оруђа. Самоходна оруђа и тенкови тек у двадесетом веку привлаче пажњу конструктора и добијају предност у наоружању. Тежња за побољшањем њихових борбених својстава – ватрене моћи, заштите и покретљивости довела је, у последњих двадесет година, до развоја оруђа четврте генерације које одликују цеви великих дужина, све већи калибри и примена специјалне муниције. Модерна самоходна оруђа и тенкове карактерише куполна уградња основног наоружања, као начин заштите посаде и борбеног комплекта на фронту.

Савремена артиљеријска оруђа уграђена у куполе које се налазе на мобилним платформама су сложени системи, намењени за кретање по бојишту, чији сви делови морају бити усаглашени да би испуњавали предвиђену функцију на задовољавајући начин. Посада која њима управља такође мора увек бити потпуно радно способна, односно ништа не сме да нарушава услове рада чланова који се налазе унутар куполе. Мана концепције куполне уградње је од почетка била продирање заосталих барутних гасова у борбено одељење, што је захтевало налажење што ефективнијег начина њихове елиминације из канала цеви. Чишћење канала цеви од барутних гасова је вршено на различите начине током модернизације оруђа куполне уградње, а постајало је све захтевније што су калибри били већи и цеви дуже.

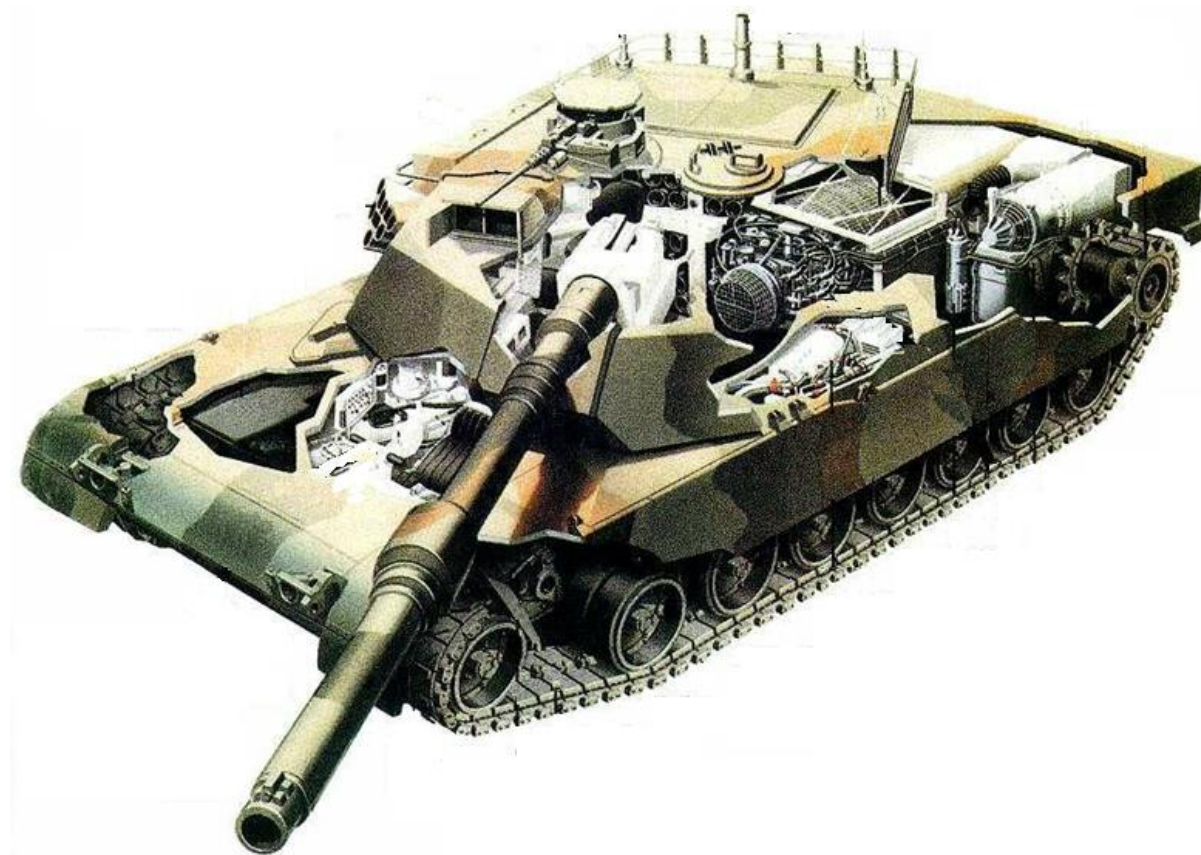
Тема овог рада је проблематиком одвођења барутних гасова из цеви и спречавање њиховог продирања у куполу тенкова. У првом поглављу описана су раније коришћена решења и начин рада конвенционалних уређаја за прочишћење цеви – одводника барутних гасова. Као и код сваког физичког система, рад одводника описују многобројни параметра који стоје у одређеном међусобном односу. Односи изабраних кључних параметара су дефинисани математичким моделима, према датој литератури, чији је циљ да омогуће даљу анализу рада одводника барутних гасова, што је приказано у другом поглављу дипломског рада. Различити математички модели имају различите резултате у зависности који параметри су изабрани као полазни и познати. Следећа два дела представљају пример прорачуна постојећег одводника барутних гасова, чији исход јесте оцена рада одводника на основу поузданости његовог дејства, затим решавање помоћу софтверског решења и анализа утицаја изабраних параметара на рад и ефектност уређаја. Главно питање јесте да ли се проблем недозвољеног истицања барутних гасова ефектно решава уградњом одводника и какво конструкцијско решење треба пројектовати да би што више захтева било задовољено.

1. НАМЕНА, ИСТОРИЈА И НАЧИН РАДА ОДВОДНИКА БАРУТНИХ ГАСОВА

Развој и усавршавање артиљеријских оруђа на борбеним возилима повећало је ватрену моћ и брзину гађања основног наоружања. Већу ватрену моћ карактерише краће време уништавања или неутралисања циљева, при малом утрошку муниције, а заштита зависи и повећава се са повећањем покретљивости и ватрене моћи. Једна од важних карактеристика ватрене моћи је брзина гађања, односно број испљених метака у једном минути, а вероватноћа да ће циљ бити погођен је већа што је брзина гађања већа [2].

Повећање броја испљених метака у одређеном периоду времена је довело до тога да барутни гасови, настали приликом опаљења и заостали у чаури и каналу цеви, не стигну да их напусте пре него што дође до отварања затварача. Ова појава представља проблем код оруђа чији је задњи крај цеви са затварачем смештен у куполи која је истовремено радни простор посаде. Отровни барутни гасови, који да садрже угљен моноксид, азотну киселину и амонијак, продиру у унутрашњост куполе када се отвори затварач да би се извршило поновно пуњење, штетно делујући на здравље и радне способности посаде.

Продирање врућих барутних гасова и несагорелих барутних честица у борбено одељење тенка створило је потребу за конструкцијским решењем које би омогућило да се барутни гасови одводе из њега. Код савремених оруђа, за решење овог проблема, се користе одводници барутних гасова. Оруђа која користе одводник барутних гасова су препознатљива по цилиндричном резервоару постављеном близу средине цеви (слика 1).



Слика 1: Тенк са одводником барутних гасова на цеви топа [8]

Одводници, ејектори или продувници барутних гасова, како се још називају, за продувавање канала цеви користе ефекат избацивања, односно ејекције барутних гасова под притиском. Потреба за овим уређајима је постајала све израженија што је био већи калибар оруђа и дужа цев јер је то отежало да барутни гасови спонтано напусте канал цеви. Намена одводника је да спрече продирање барутних гасова у куполу тенка и да их, заједно са несагорелим честицама барутног пуњења, избаце из канала цеви. Осим што представљају опасност за посаду, несагореле честице могу да изазову спонтано стварање пламена у каналу цеви и око задњег дела оруђа приликом отварања затварача услед контакта са кисеоником. Такозвани „обрнути пламен“ може проузроковати повреде и опекотине посаде и оштећења опреме. Поред ових намена, одводници доприносе расејавању облака дима, који се при опалењу ствара око тенка и смањује видљивост, и убрзавају хлађење цеви [1].

1.1. Историјски развој

Први начини решавања недозвољеног истицања барутних гасова у куполу тенка били су базирани на вентилацији помоћу снажних уређаја. Ово се није показало као задовољавајуће решење јер, да би вентилациони уређаји омогућили интензивну вентилацију борбеног одељења, било је потребно утрошити много електричне енергије, а сами уређаји су били гломазни. Поред тога је и рад посаде био отежан због мало преосталог простора у куполи и јаког струјања ваздуха [1].

Следећа идеја је била да се продирање барутних гасова у борбено одељење спречи, или макар смањи, уређајима за продувавање канала цеви. У тренутку отварања затварача и избацивања чауре у канал цеви се удувавао компримовани ваздух кроз млазницу која се налазила у задњаку. Притисак под којим се компримовани ваздух убацивао је износио од 1 МПа до 4 МПа и омогућавао је да се скоро потпуно барутни гасови избаце из цеви и чауре. Ваздух који се трошио на једно продувавање је износио око 0,4-1,2 од запремине канала цеви, зависно од калибра оруђа [1]. Код тенкова је требало да овакви уређаји раде дужи период времена, што је захтевало да имају велику количину компресованог ваздуха у боцама или да се у току рада мотора тенка гас сабија на одређени притисак помоћу уграђеног компресора. Код овог решења је такође знатан део борбеног одељења био заузет због великих габарита уређаја, а посади је наметнут додатни посао. Овакви уређаји су били примењени на неким моделима артиљеријског оруђа међу којима су топ 152 mm за тешке тенкове, топ једне верзије америчког тенка М60 Патон и топ француског тенка AMX-30 [2].

М60 Патон је амерички основни борбени тенк први пут уведен у употребу 1960. године, као побољшана верзија М48 Патон, али је ипак у току своје употребе подлегао многобројним изменама. Прве изведбе модела М60А2 су биле без одводника барутних гасова на цеви топа. Овај модел је опремљен системом за избацивање гасова док је цев још увек затворена затварачем („closed-breech scavenging system“), услед чега је одводник сувишан [9]. На слици 2 је приказан тенк М60А2 са топом калибра 152 mm који на цеви нема одводник барутних гасова.



Слика 2: Амерички тенк М60А2, верзија са „СВСС“ (на цеви нема одводника барутних гасова) [9]

Због постојања овог система, М60А2 је као додатну опрему имао две боце ваздуха под притиском отприлике 22 МПа, два компресора и осталу потребну опрему, и након опаљења је удувавао три млаза ваздуха под притиском од приближно 6,5 МПа. Систем се активирао трзањем након опаљења. На моделу који има уграђен овакав систем за спречавање продора барутних гасова у куполу, са задње стране се налазила избочина у којој су били делови система, што се види на слици 3.



Слика 3: Амерички тенк М60А2 приказан са задње стране [10]

Тенк М60А2 је 1970. године експериментално уведен у употребу, али се показао као промашај и врло брзо је ова идеја напуштена. Ипак, техничка достигнућа су послужила за развој будућих тенкова [10].

АМХ-30 је тенк француске производње и још један пример са уређајем за продувавање канала цеви помоћу сабијеног ваздуха са циљем да се избаце заостали барутни гасови после опаљења, а одводник на цеви је опет изостављен (слика 4). Тенк АМХ-30 је уведен у употребу француске војске 1966. године. Као главно наоружање имао је топ 105 mm и испаливао је, тада напредне, високо експлозивне противтенковске гранате. Његово споредно наоружање чине аутоматски топ 20 mm и митраљез 7,62 mm [11].



Слика 4: Француски тенк АМХ-30 са топом 105 mm и без одводника [11]

Усавршавањем овог система за избацивање барутних гасова из канала цеви дошло се до потпуно новог решења, које се заснивало на томе да се сами барутни гасови искористе за њихово елиминисање из куполе. Уређаји, који су овако настали, представљају одводнике барутних гасова, ејекторске уређаје који користе ефекат избацивања (ејекције) барутних гасова. Одводници се монтирају на цев оруђа куполне уградње и најчешће се користе код тенковских топова великих калибара и самоходних топова. Принципијелна шема оваквог уређаја је први пут била предложена 1940. године од стране професора Самусенка [1], током двадесетог века је развијана и данас је саставни део већине модерних тенкова.

Британски тенк FV4034 Challenger 2 је у употребу уведен 1998. године и данас спада међу десет најбољих тенкова. Опремљен је тенковским топом L30A1 калибра 120 mm, а на цев му је уграђен одводник барутних гасова (слика 5). Споредно наоружање чине два митраљеза 7,62 mm, један монтиран лево од главног топа, а други на куполи [12].



Слика 5: Британски тенк FV4034 Challenger 2 [12]

М-84АС или М-84АБ1 је најсавременији основни борбени тенк пореклом из Србије показан јавности 2004. године. Модернизована је варијанта југословенског тенка М-84 који је престао да се производи 1992. након распада СФРЈ, а веома је сличан модерном руском борбеном тенку Т-90С. Као основно наоружање поседује глаткоцевни топ 2А46М калибра 125 mm, који је унапређена верзија топа 2А46 истог калибра коришћеног на тенку М-84. Споредно наоружање на оба тенка је исто – спрегнути митраљез 7,62 mm и ПАМ 12,7 mm [13], као и одводник на цеви за спречавање продирања барутних гасова у куполу (слика 6).



Слика 6: Српски савремени тенк М-84АБ1 [13]

Данас, ипак, постоји неколико модерних тенкова који нису опремљени ковенционалним решењем са одвођење барутних гасова. Примери оваквих тенкова су руски тенк Т-14 Armata и француски AMX Leclerc.

T-14 Armata је руски тенк нове (четврте) генерације, са већим бројем иновација које су јавности представљене 2015. године на паради поводом Дана победе у Москви (слика 7). Најважнија карактеристика овог тенка јесте купола без посаде. Наиме, посада је смештена у оклопљеној капсули у предњем делу трупa. Топ 2А46 125 mm је замењен новим 2А82-1М глаткоцевним топом калибра 125 mm који има већу брзину гађања и који би захтевао постојање одводника барутних гасова, међутим чињеница да у куполи нема људи оправдава одсуство овог уређаја. Споредно наоружање овог тенка чине два даљински контролисана митраљеза калибра 7,62 mm и 12,7 mm [14].



Слика 7: Руски тенк T-14 Armata са беспосадном куполом [14]

Други пример тенка без одводника барутних гасова је француски тенк AMX Leclerc (слика 8). У употребу француске војске је ушао 1992. године као замена за AMX-30 платформу. Користи глаткоцевни топ CN120-26 калибра 120 mm, а уместо уобичајеног одводника поседује аутоматизован систем са компресованим ваздухом за избацивање барутних гасова. Два митраљеза калибра 7,62 mm и 12,7 mm представљају његово споредно наоружање [15].



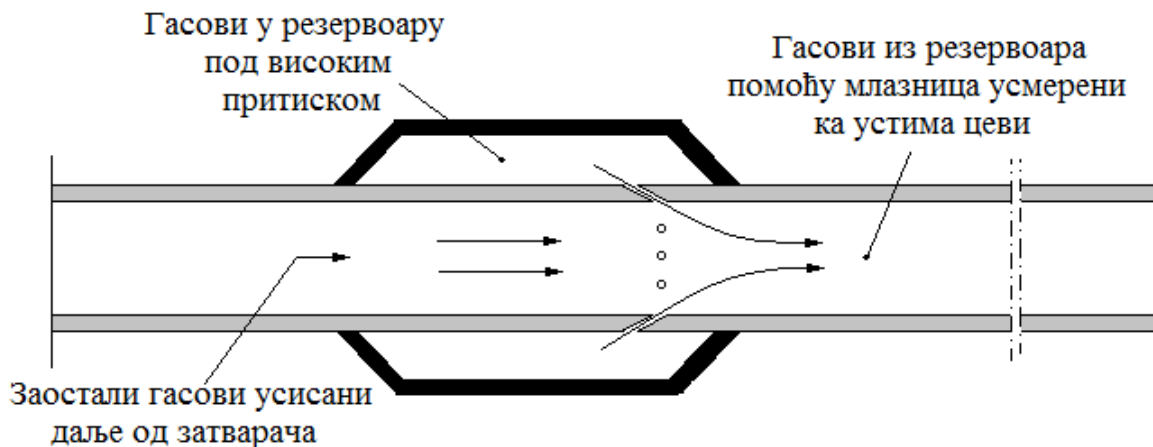
Слика 8: Француски тенк AMX Leclerc без одводника барутних гасова на цеви [15]

Само добро пројектовани одводници барутних гасова значајно смањују могућност да несагореле честице барутног пуњења и барутни гасови продру у борбено одељење тенка. Из овог разлога се посебна пажња придаје конструисању одводника и усклађивању свих параметара како би се добило оптимално конструктивно решење.

1.2. Начин рада одводника барутних гасова

Одводник барутних гасова представља гасни резервоар цилиндричног облика постављен на једном делу цеви артиљеријских оруђа куполне уградње. Резервоар је причвршћен за цев навојном везом, а са каналом цеви може бити повезан преко одређеног броја отвора са млазницама или преко млазница и једног (или два) вентилског отвора. Учвршћивање резервоара за цев навојном везом може бити изведено на неколико начина – навоји могу бити израђени непосредно на цеви или се навојна веза може остварити помоћу спојне навртке и сегментних прстенова који се постављају у урезима на спољној површини цеви. Млазнице могу бити изведене непосредно у зиду цеви, као закошени отвори цилиндричног или профилисаног облика или отвори могу бити навојни у које се увијају млазнице у специјалним улошцима. Вентилски отвори су по правилу цилиндричног облика и израђују се са горње стране цеви оруђа. На излазу из канала вентила у резервоар може постојати урез или конусно проширење да би пуњење гасовима било боље.

Цео процес рада овог уређаја се састоји од два периода – периода пуњења и периода пражњења његовог резервоара. На слици 9 је приказана шема одводника барутних гасова код ког су у зиду цеви пробушени само отвори млазница, ради лакшег представљања начина рада.

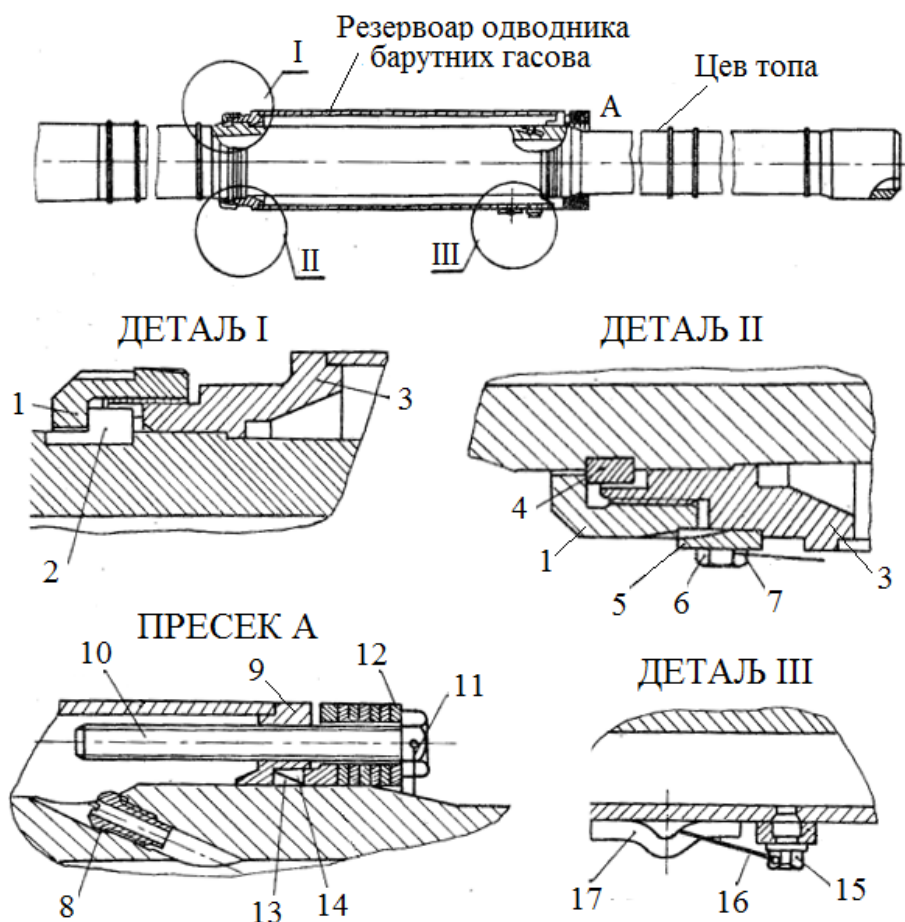


Слика 9: Шема одводника барутних гасова [7]

Пре опаљења у каналу цеви и резервоару одводника влада атмосферски притисак. Приликом опаљења се у каналу цеви иза пројектила стварају барутни гасови високог притиска за врло кратко време. Када водећи прстен пројектила пређе преко отвора који спајају канал цеви и резервоар одводника, почиње процес пуњења резервоара барутним гасовима кроз те отворе и унутар њега се ствара натпритисак. Што је већи калибар оруђа, већи је и натпритисак који се ствара у резервоару одводника. Притисак који је створен у цеви је много већи од максималног притиска који се постиже у резервоару одводника.

Након што пројектил напусти цев, у току периода истицања барутних гасова, притисак у цеви почиње да опада, а када опадне до вредности притиска у резервоару, односно када се притисци у резервоару и цеви изједначе, завршава се процес пуњења. Након тога притисак гасова у цеви скоро тренутно опада до атмосферске вредности, док у резервоару притисак много спорије опада. Због те разлике притисака, односно када притисак у резервоару постане већи од оног у цеви, наступа процес пражњења резервоара одводника. Гасови мењају свој смер кретања, истичу из резервоара и продиру у канал цеви кроз отворе млазница чије су осе под одређеним углом нагнуте у односу на осу цеви и усмерени ка устима цеви. Брзина истицања барутних гасова је веома велика јер су отвори млазница малог пречника, а разлика притисака велика. Услед истицања млаза гасова кроз млазнице и ка устима цеви, у делу цеви где је одводник се ствара конус високе депресије, односно делимичан вакуум који усисава заостале барутне гасове из задњег дела цеви и чауре и избацује их кроз уста цеви. Овај процес се може завршити пре него што се затварач отвори или након што се отвори и избаци се чаура. Ако је други случај у питању, осим одвођења гасова из цеви, долази и до извлачења ваздуха из борбеног одељења, што спречава појаву обрнутог пламена. Цео процес рада одводника се дешава веома брзо, а време отварања затварача је од великог утицаја на ефектност уређаја јер се сигурност проветравања канала цеви одређује деловањем одводника барутних гасова после момента потпуног отварања затварача [1].

Овакав одводник барутних гасова, усисно-издувног (ејекционог) типа, који користи само једну врсту отвора (млазнице) за пуњење и пражњење резервоара је примењен на топу тенка М-84, а његова конструкција је приказана на слици 10.



Слика 10: Конструкција одводника барутних гасова 2А46 на цеви топа 125 mm за тенк М-84 [5]

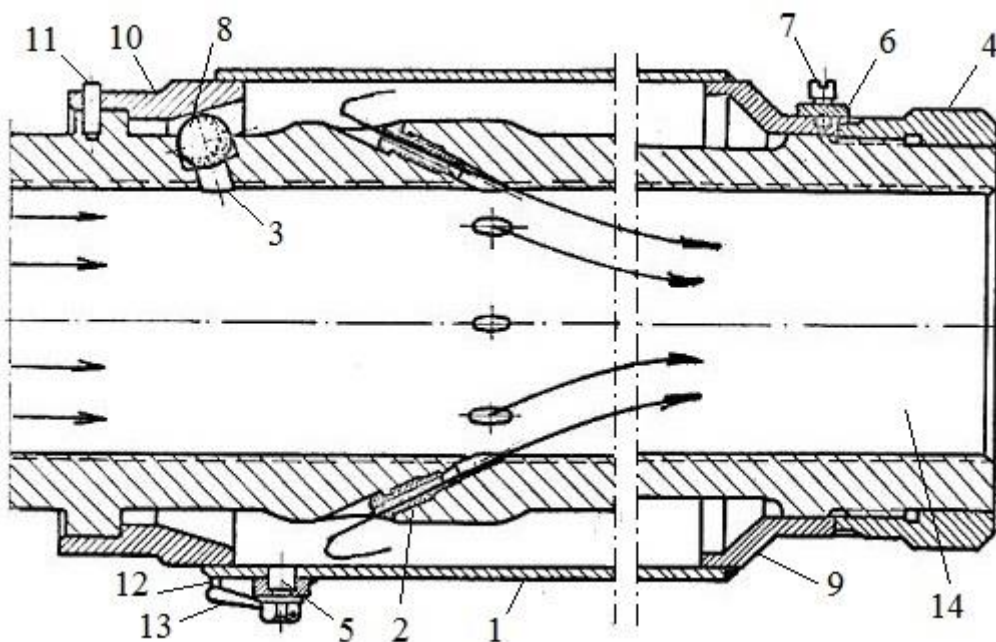
Основни део одводника је резервоар навучен на цев топа, приближно на средини цеви, и навртком (1) је притегнут до ослонаца за ојачање цеви. Навртка се својим унутрашњим пресеком ослања на полупрстенове (4) смештене у лежишту цеви, а осигурана је осигурачем (5) који је помоћу два вијка (6) причвршћен за задњу огрлицу (3). Клин (2) спречава да се резервоар обрће око цеви, а вијци су осигурани челичном жицом (7). Млазнице (8) уврнуте у навоје отвора на цеви повезују унутрашњост резервоара одводника и канала цеви. У предњу огрлицу одводника (9) су уврнута четири вијка (10), осигурана челичном жицом (11), која служе за учвршћивање противтегова (12). Противтегови омогућавају уравнотежење топа онда похабаност унутрашњости цеви достигне одређену меру. На пресеку А постоје и два прстена за заптивање (13, 14), као приказ друге варијанте конструктивног решења одводника барутних гасова. Отвор са доње стране одводника затворен чепом (15) служи за одстрањивање остатака средства за чишћење. Чеп је осигуран челичном жицом (16) и помоћу ушице (17) [5]. На слици 11 је приказан тенк М-84 са оваквим одводником барутних гасова на цеви.



Слика 11: Српски тенк М-84 са одводником барутних гасова на цеви [16]

На слици 12 је приказана шема нешто другачијег одводника барутних гасова примењеног на топу калибра 100 mm за тенк Т-55. Обележени су резервоар (1), млазнице (2), вентилски отвор (3), навртка-утврђивач (4), чеп (5), осигурач (6), вијак (7), куглица (8), предњи (9) и задњи грлић (10), чивија (11), ушица (12) и прирубница (13).

Одводник је усисног типа, односно има млазнице и вентилски отвор, и смештен је на предњи део цеви (14), ослоњен на испуст цеви. Од окретања је осигуран чивијом (11), а спојном навртком (4) је спојен за цев. Окретање спојне навртке је спречено осигурачем (6) који је утврђен помоћу два вијка (7). Жичани осигурачи спречавају самоодвртање вијака. Осам косих отвора са млазницама (28) повезују резервоар (1) са каналом цеви, као и још један вентилски отвор (3) са куглицом (8). Коси отвори са навојима се налазе на предњем делу цеви [4].



Слика 12: Шема одводника барутних гасова тенковског топа Т-55 [4]

Уређај је изведен са вентилским отвором, што значи да се код овог типа одводника пуњење и пражњење резервоара не врши преко истих отвора. Отвор за пуњење је најчешће једносмерни вентил са куглицом која бива потиснута нагоре под притиском барутних гасова који настане у цеви након опаљења. Барутни гасови улазе у резервоар и кроз отворе млазница, али у малој количини, јер је укупна површина отвора свих млазница углавном знатно мања у односу на површину вентилског отвора. Када се притисци у цеви и резервоару изједначе, куглица под дејством своје тежине пада надоле и затвара вентилски отвор, спречавајући да гасови прођу назад у цев кроз њега, па је пражњење резервоара могуће само кроз закошене отворе млазница. На слици 13 је приказан одводник барутних гасова усисног типа монтиран на цев тенковског топа 100 mm уграђеног у тенк Т-55.

Одводник барутних гасова, иако данас широко распрострањено решење за елиминацију барутних гасова из цеви, има и лоших особина. Потребно је очистити одводник након сваке употребе и исправно га одржавати да би његов рад био ефектан и поуздан. Такође, његов положај на цеви га чини метом непријатељске ватре, јер његовим оштећењем цело оруђе тренутно постаје нефункционално.

Параметри који су кључни за прорачун одводника барутних гасова су растојање отвора за пуњење и пражњење од уста цеви, угао нагиба оса млазница према оси цеви, пречник отвора млазница и њихов број, запремина резервоара, његов пречник и дужина, пречник вентилских отвора, угао нагиба оса вентилских отвора према оси цеви и притисак на устима цеви. Ефектност одводника се оцењује на основу коефицијента поузданости проветравања канала цеви.



Слика 11: Совјетски тенк Т-55 са одводником барутних гасова на цави [17]

Још један важан параметар који служи за оцену рада одводника је време његовог ефективног деловања које највише зависи од времена пражњења резервоара и тренутка отварања затварача. Време истицања барутних гасова из резервоара, тј. време пражњења резервоара, треба да буде што дуже, поготово дуже од периода накнадног дејства барутних гасова и протегне се на период враћања све до избацивања чауре из цеви. Ово време треба повећати ако је мање од збира времена трзања и дела времена враћања до избацивања чауре.

Број параметара који утичу на рад и ефектност ових уређаја показује колико је сложен задатак њиховог пројектовања. Математички модели којима се израчунавају основне карактеристике одводника барутних гасова треба да обухвате све ове параметре и омогуће постављање добре основе за избор оптималног решења. У следећем делу биће разматрани неки од математичких модела за прорачун параметара одводника барутних гасова.

2. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ ПРОРАЧУНА КАРАКТЕРИСТИКА ОДВОДНИКА БАРУТНИХ ГАСОВА

Рад одводник барутних гасова, као физичког система, може бити представљен математичким моделима. Овакав начин представљања процеса који се у њему одвијају, процеса пуњења и пражњења, омогућава математичко описивање процеса, анализу рада и особина одводника. Да би математички модел послужио својој сврси, треба да обухвати све утицајне параметре и буде довољно једноставан, како не би било потребно много времена за спровођење анализа. Углавном се не може формирати математички модел који је апсолутно тачан, па се прибегава апроксимацијама или занемаривању величина које не утичу много на крајње резултате.

Математички модели, којима се описују процеси пуњења и пражњења одводника барутних гасова код оруђа куполне уградње, углавном узимају у обзир сличне параметре – запремину одводника, његов положај на цеви, положај отвора млазница, угао нагиба осе млазница према оси цеви... Занемарује се углавном утицај састава барутних гасова, њихова токсичност, пластичне деформације око отвора млазница на зиду цеви...

Формулација ових математичких модела је базирана на термодинамици и једначини стања гаса. Анализе које се спроводе на основу модела треба да омогуће инжењерима да оцене ефектност одводника барутних гасова различитих конструкцијских параметара и изаберу оптимално решење.

2.1. Математички модел дефинисан према литератури [1]

Ефектност рада одводника се оцењује на основу коефицијента поузданости проветравања канала цеви који се може израчунати уколико је познат проток ваздуха кроз канал цеви у периоду проветравања G_1 и време ефективног рада до краја отварања затварача t_e , за стандардну густину ваздуха ρ_v и израчунату запремину калана цеви W_k :

$$n = \frac{\int_0^{t_e} G_1 dt}{\rho_v \cdot (W_k + W_p)} \geq 1,3$$

Према датој литератури [1] целокупан процес рада одводника се састоји од два периода – периода пуњења и периода пражњења. Помоћу математичког представљања ових процеса могу се одредити непознате величине и утврдити да ли конструкцијско решење одводника испуњава услов да коефицијент поузданости (сигурности) проветравања буде већи од задате вредности (1,3).

ПЕРИОД ПУЊЕЊА: При прорачуну овог периода потребно је одредити максимални притисак барутних гасова у резервоару p_{o2} и маса барутних гасова на крају периода пуњења ω_{o2} . Ове величине се одређују помоћу једначине о очувању енергије барутних гасова у резервоару, чији општи облик је:

$$G \cdot c_p \cdot T_k - \alpha \cdot F \cdot (T - T_s) = \frac{1}{\kappa_2 - 1} \cdot W_p \cdot p'_t \quad (1)$$

Искоришћене величине су:

$$G = A_1 \cdot F^* \cdot \frac{p_k}{\sqrt{R \cdot T_k}}$$

- проток барутних гасова из канала цеви у резервоар одводника, kg/m³

$$A_1 = \sqrt{\kappa \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}}$$

- константа губитака барутних гасова

Где је $\kappa = c_p/c_v$ коефицијент адијабате за барутне гасове у резервоару, однос специфичне топлоте при константном притиску c_p [J/kg·K] и специфичне топлоте при константној запремини c_v [J/kg·K]. Ознака R [J/kg·K] је гасна константа, а између ових величина важи зависност:

$$c_p = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot R$$

Коефицијент адијабате κ зависи од хемијског састава барутних гасова и температуре и мења своју вредност у зависности од тога на који се период у току опаљења односи. За период кретања пројектила по каналу цеви $\kappa = 1,2$; за период накнадног дејства барутних гасова $\kappa = 1,25$; за период пражњења резервоара $\kappa = 1,3$; а за период заједничког протока ејектираних гасова и ваздуха је $\kappa = 1,35$ (за ваздух је $\kappa = 1,4$).

$$F^* = \mu_v \cdot f_v + \mu_m \cdot f_m$$

- укупна површина пресека вентила и млазница кроз које се врши пуњење резервоара, m²

$$\mu_v = \frac{1}{1 + \kappa[1 + \cos(180^\circ - \psi_v)]}$$

- коефицијент губитака барутних гасова кроз вентилске отворе, ψ_v је угао нагиба осе вентила према оси канала цеви

$$\mu_m = \frac{1}{1 + \kappa[1 + \cos(180^\circ - \psi_m)]}$$

- коефицијент губитака барутних гасова кроз млазнице, ψ_m је угао нагиба осе млазнице према оси канала цеви

Најмања површина критичног пресека канала вентила је f_v , а укупна површина критичног пресека млазница је f_m .

Ознаке p_k и T_k представљају притисак и температуру барутних гасова у каналу цеви, на делу где је постављен одводник.

$$\alpha = \sigma \cdot \rho$$

- коефицијент прелаза топлоте између барутних гасова и зидова резервоара, W/kg·K

$$\sigma \left[\frac{\text{J} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{K}} \right]$$

- константа коефицијента прелаза топлоте, које је једнака нули у случају занемаривања прелаза топлоте

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad - \text{густина барутних гасова у резервоару}$$

$$F = \pi \cdot l_p \cdot (d_p + d_2) + \frac{\pi}{2} \cdot (d_p^2 - d_2^2) \quad - \text{површина унутрашњег простора резервоара}$$

При чему је l_p – дужина резервоара, d_p – спољни пречник резервоара и d_2 – спољни пречник цеви.

Температура барутних гасова у резервоару је обележена са T , температура зидова резервоара је T_s , W_p је запремина резервоара, а p'_t представља промену притиска барутних гасова у резервоару.

Узимајући у обзир све наведене величине и једначину стања $p \cdot V = G \cdot R \cdot T$, сменом се од једначине (1) добија једначина промене притиска у резервоару:

$$A_1 \cdot F^* \cdot \frac{p_k}{\sqrt{R \cdot T_k}} \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot R \cdot T_k = \sigma \cdot F \cdot (T - T_s) \cdot \frac{p}{R \cdot T} + \frac{1}{\kappa_2 - 1} \cdot W_p \cdot p'_t$$

Релативни пад температуре гасова у резервоару је $\nu = \frac{T - T_s}{T} = 1 - \frac{T_s}{T} \approx 0,7$, па претходна једначина добија облик:

$$\kappa \cdot A_1 \cdot F^* \cdot p_k \cdot \sqrt{R \cdot T_k} = (\kappa - 1) \cdot \sigma \cdot \nu \cdot \frac{F \cdot p}{R} + W_p \cdot p'_t \quad (2)$$

p – тренутна вредност притиска барутних гасова у резервоару.

Да би се одредио максимални притисак у резервоару потребно је дефинисати промене притиска у каналу цеви до тренутка када се пројектил нађе на устима цеви и у периоду накнадног дејства барутних гасова, када је пројектил већ напустио цев. При прорачуну за време кретања пројектила у цеви се могу узети средње вредности притиска и температуре гасова уколико је одводник постављен на устима цеви, јер је код уста цеви њихова промена занемарљива. Уколико је одводник постављен на средини цеви морају се узети стварне вредности притиска и температуре које се могу добити УБ прорачуном. Овде је разматран случај када је одводник постављен на устима цеви и средње вредности притиска и температуре:

$$p_{kl} = \frac{\varphi \cdot m \cdot (v_u^2 - v^2)}{2 \cdot S \cdot l}$$

$$R \cdot T_{kl} = \frac{p_{kl}}{\omega} \cdot \left(W_k - \frac{S \cdot l}{2} \right)$$

$$l = \frac{l_v + l_m}{2}$$

У претходним једначинама φ је коефицијент фиктивности, m [kg] је маса пројектила, v_u [m/s] је брзина пројектила на устима цеви, v [m/s] брзина пројектила у пресеку цеви где су отвори за пуњење и пражњење одводника, S [m²] је површина попречног пресека канала цеви, W_k [m³] је запремина канала цеви, ω [kg] је маса барутног пуњења, l [m] је

растојање канала одводника од уста цеви (l_v [m] – растојање од уста до вентилских отвора, l_m [m] – растојање од уста до отвора млазница).

Када се једначине за средњи притисак и температуру уврсте у једначину (2) следи:

$$\kappa \cdot A_1 \cdot F^* \cdot \frac{\varphi \cdot m \cdot (v_u^2 - v^2)}{2 \cdot S \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{\varphi \cdot m \cdot (v_u^2 - v^2)}{2 \cdot S \cdot l} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot \left(W_k - \frac{S \cdot l}{2}\right)} \\ = (\kappa - 1) \cdot \sigma \cdot v \cdot \frac{F \cdot p}{R} + W_p \cdot p'_t$$

Ради једноставнијег рачуна обележићемо делове претходне једначине као:

$$a_1 = \kappa \cdot A_1 \cdot F^* \cdot \frac{\varphi \cdot m \cdot (v_u^2 - v^2)}{2 \cdot S \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{\varphi \cdot m \cdot (v_u^2 - v^2)}{2 \cdot S \cdot l} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot \left(W_k - \frac{S \cdot l}{2}\right)} \\ b_1 = (\kappa - 1) \cdot \sigma \cdot v \cdot \frac{F}{R}$$

Из овога следи једначина (2) написана у новом облику:

$$a_1 = b_1 \cdot p + W_p \cdot p'_t \quad \text{при чему је} \quad p'_t = \frac{dp}{dt}$$

Одвајањем променљивих добија се коначан облик:

$$\frac{dt}{W_p} = \frac{dp}{a_1 - b_1 \cdot p} \quad (3)$$

Интеграљењем ове једначине добија се закон промене притиска у резервоару до тренутка излетања пројектила из канала цеви. Прорачун се може вршити без и са занемаривањем преноса топлоте између барутних гасова и зидова резервоара. Уколико се не занемарује размена топлоте решење је:

$$p_1 = \frac{a_1}{b_1} \cdot (1 - e^{-b \cdot t_1}) + p_a \cdot e^{-b \cdot t_1} \cong p_\infty \cdot (1 - e^{-b \cdot t_1})$$

Где су непознате величине:

$$b = \frac{b_1}{W_p} \quad \text{- експонент интензивности пуњења резервоара} \\ t_1 = \frac{2 \cdot l}{v + v_u} \quad \text{- време кретања пројектила до крајњег пресека цеви}$$

Други сабирак, у коме фигурише атмосферски притисак p_a , се може занемарити јер је много мањи од првог сабирка.

Уколико је размена топлоте занемарена, онда се из једначине (3) добија:

$$p_{zt} = p_a + \frac{a_1}{W_p} \cdot t = p_a + \beta_2 \cdot t$$

β_2 – коефицијент интензивности пуњења резервоара.

Следи дефинисање промене притиска и температуре у периоду накнадног дејства барутних гасова, при чему се користе релације:

$$\begin{aligned} p_{kII} &= p_u \cdot e^{-\beta \cdot t} \\ R \cdot T_{kII} &= R \cdot T_u \cdot \frac{1}{\kappa} \end{aligned} \quad (4)$$

Ознаке p_u и T_u представљају притисак и температуру барутних гасова на устима цеви. Коефицијент интензивности истицања гасова из канала цеви је:

$$\beta = \sqrt{\kappa} \frac{v_u}{l_o \cdot (1 + \lambda)} + (\kappa - 1) \cdot \frac{v \cdot \sigma}{R} \cdot \frac{F}{W_k}$$

Израз $l_o \cdot (1 + \lambda)$ је укупна дужина канала цеви са барутном комором, где је $\lambda = l_o/l_u$ степен ширења барутних гасова у каналу цеви, l_u је укупан пут пројектила у каналу цеви. Обично се узима да је однос $F/W_k \cong 4/d$, где је d пречник канала цеви.

Аналогно претходном делу, у једначину промене притиска у резервоару (2) уврштавају се једначине за притисак и температуру (4) у посматраном периоду. Након сређивања се добија једначина:

$$a_2 \cdot e^{-\beta \cdot t} = b \cdot p + \frac{dp}{dt}$$

Интеграљењем претходне једначине се добија њено решење, укупни притисак барутних гасова у резервоару за време пуњења, без занемаривања преноса топлоте:

$$p = \frac{a_2}{\beta - b} \cdot (e^{-b \cdot t} - e^{-\beta \cdot t}) + p_1 \cdot e^{-b \cdot t} \quad (5)$$

При чему су означени делови једначине ради поједностављења:

$$a_2 = \kappa \cdot A_1 \cdot F^* \cdot p_u \cdot e^{-\beta \cdot t} \cdot \sqrt{R \cdot T_u} \cdot \frac{p_u}{W_p} \quad \text{или}$$

$$a_2 = \kappa \cdot \frac{n_F}{n_W} \cdot \frac{v_u}{l_o} \cdot \frac{p_u}{1 + l_u}$$

$$b = \xi \cdot \frac{\kappa - 1}{d_2 - d_1} \cdot \frac{4 \cdot \sigma \cdot v}{R}$$

При томе је $n_F = F^*/S = 0,015 \div 0,03$ бездимензионална величина за површину отвора млазница и $n_W = W_p/W_k = 0,1 \div 0,25$ бездимензионална величина за запремину резервоара.

Где су d_1 и d_2 спољни пречници цеви и резервоара, респективно, $\xi = 1,1 \div 1,2$ је коефицијент, а у изразу:

$$R \cdot T_u = f \cdot \left(1 - \frac{\varphi \cdot m \cdot v_u^2}{2 \cdot A \cdot Q \cdot \omega} \right)$$

Ознака f [J/kg] представља силу барута, односно специфични рад барутних гасова, док је $A \cdot Q = f / (\kappa - 1)$ [J/kg] енергија барутних гасова.

Занемаривањем преноса топлоте, закон пораста притиска у резервоару према (5) је:

$$p_{zt} = \frac{a_2}{\beta_1} \cdot (1 - e^{-\beta_1 \cdot t}) + p_1$$

Где коефицијент интензивности истицања гасова из канала цеви има нову вредност и важи:

$$\beta_1 = \sqrt{\kappa} \frac{v_u}{l_o(1 + \lambda)}$$

$$\frac{a_2}{\beta_1} = \sqrt{\kappa} \cdot \frac{n_F}{n_W} \cdot p_u$$

Време пада притиска барутних гасова у каналу цеви до величине p_{o2} је:

$$t_2 = \frac{1}{\beta} \cdot \ln \frac{p_u}{p_{o2}}$$

Када се изрази за a_2 и t_2 уврсте у једначину (5) без занемаривања преноса топлоте добија се израз за максимални притисак у резервоару, који је једнак притиску барутних гасова у каналу цеви у тренутку завршетка периода пуњења резервоара:

$$p_{o2} = p_u \cdot \left(\frac{\overline{p_1} + \bar{n} \cdot \overline{\beta_1}}{1 + \bar{n} \cdot \overline{\beta_1}} \right)^{\bar{\beta}} \quad (6)$$

Бездимензионалне величине су:

$$\overline{p_1} = \frac{p_1}{p_u}$$

$$\bar{n} = \frac{n_F}{n_W}$$

$$\overline{\beta_1} = \frac{\beta_1}{\beta - b_2}$$

$$\bar{\beta} = \frac{\beta}{\beta - b_2}$$

Уколико је пренос топлоте занемарен, максимални притисак је:

$$p_2 = p_u \cdot \frac{\overline{p_1} + \bar{n}}{1 + \bar{n}}$$

Укупно време пуњења резервоара t_p је једнако збиру времена кретања пројектила до крајњег пресека цеви t_1 и времена потребног да притисак у каналу цеви падне до вредности p_{o2} , након што је пројектил напустио цев t_2 :

$$t_p = t_1 + t_2 = \frac{2 \cdot l}{v + v_u} + \frac{1}{\beta} \cdot \ln \frac{p_u}{p_{o2}}$$

Маса барутних гасова у резервоару на крају његовог пуњења је:

$$\omega_{02} = \frac{p_{02} \cdot W_p}{R \cdot T_{02}}$$

Где је:

$$R \cdot T_{02} = R \cdot T_2 \cdot \frac{p_{02}}{p_2}$$

$$R \cdot T_2 = (\kappa - 1) \cdot A \cdot Q \cdot \left(1 - \frac{\varphi \cdot m \cdot v_u^2}{2 \cdot A \cdot Q \cdot \omega}\right)$$

Вредности притиска и температуре се могу узети без и са занемаривањем преноса топлоте.

ПЕРИОД ПРАЖЊЕЊА: Максимални притисак у резервоару одводника барутних гасова је уједно и почетни притисак за процес пражњења. Дакле, на основу прорачунатих вредности p_{02} и ω_{02} у периоду пуњења резервоара, може се представити зависност опадања вредности притиска приликом периода пражњења:

$$p = p_{02} \cdot e^{-\beta_2 \cdot t}$$

Где су ознаке:

$$\beta_2 = b_{sr} \cdot \sqrt{\kappa} \cdot \frac{G_{02}}{\omega_{02}} \quad \text{- коефицијент интензивности истицања гасова из резервоара у канал цеви}$$

$$b_{sr} = (0,4 \div 0,5) \quad \text{- теоријска вредност коефицијента, s}^{-1}$$

$$G_{02} = A_1^* \cdot F_m^* \cdot \frac{p_{02}}{\sqrt{R \cdot T_{02}}} \quad \text{- почетни проток гасова из резервоара}$$

A_1^* је константа губитака барутних гасова у процесу пражњења резервоара, а $F_m^* = \mu'_m \cdot f_m$ је укупна површина пресека млазница преко које се врши пражњење резервоара, која не урачунава површину пресека вентила јер су они затворени при пражњењу.

Време пражњења резервоара је:

$$t_3 \cong \frac{1}{\beta_2} \cdot \ln \frac{p_{02}}{p_2^*}$$

Где је p_2^* критични притисак у резервоару:

$$p_2^* \cong p_a \cdot \left(\frac{\kappa_2 + 1}{2}\right)^{\frac{\kappa_2}{\kappa_2 - 1}}$$

Ефективно време рада одводника барутних гасова или укупно време проветравања канала цеви је:

$$t_e \cong t_3 - (t_{0z} - t_2)$$

t_{0z} – време од почетка пражњења резервоара до тренутка отварања затварача.

Да би се постигле оптималне вредности свих параметара потребно је да се задовољи услов да време које протекне од почетка пражњења до наредног опаљења t_o буде веће од времена пражњења резервоара t_3 , а оно веће од времена које протекне од почетка пражњења до отварања затварача t_{oz} . Дакле, време пражњења резервоара треба да се протегне на период враћања све док се не избаци чаура из цеви, а услов потпуног пражњења резервоара је:

$$t_{oz} < t_3 < t_o$$

За сигурно проветравање канала цеви потребна је одређена количина ваздуха:

$$\omega = n \cdot \rho_v \cdot (1 + \lambda) \cdot l_o \cdot S$$

Где је $\rho_v = 1,226 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ густина ваздуха, а $n = (1,3 \div 2)$ коефицијент сигурности проветравања. На основу претходног, у току времена пражњења резервоара, количина ваздуха која се усиса у канал цеви преко задњег пресека се може израчунати као:

$$\omega = \int_0^{t_3} G_1 dt$$

Да би се одредио потребан проток ваздуха G_1 решава се систем једначина које представљају основне једначине гасодинамике, о очувању масе (7), о очувању импулса протока (8) и о очувању енергије (9):

$$G_3 = G_1 + G_2 \quad (7)$$

$$R_3 = R_1 + R_2 \cdot \cos \psi_m \quad (8)$$

$$J_3 \cdot G_3 = J_1 \cdot G_1 + J_2 \cdot G_2 \quad (9)$$

Индекс „1“ се односи на проток ваздуха кроз задњи пресек цеви, индекс „2“ на проток ејектираних гасова у пресеку млазница, а индекс „3“ на заједнички проток ваздуха и барутних гасова од пресека млазница до уста цеви. У систему једначина су познати параметри G_2 , R_1 , R_2 , J_1 и J_2 , непознати су G_1 , G_3 , R_3 и J_3 .

За решавање система са четири непознате потребна је четврта једначина. Како је статички притисак, при протоку ваздуха брзином мањом од звучне, у каналу цеви константан узима се:

$$p_1 = p_3$$

Пошто је брзина истицања гасова мања од брзине звука, $\lambda_1 < 1$, може се написати:

$$\lambda_1 \cdot G_3 \cdot a_3^* = \lambda_3 \cdot G_1 \cdot a_1^* \quad (10)$$

Где су λ_1 и λ_3 бездимензионалне брзине одговарајућих протока, а критичне брзине звука у струји су:

$$a_1^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa_1}{\kappa_1 + 1} \cdot R_1 \cdot T_{01}}$$

$$a_3^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa_3}{\kappa_3 + 1} \cdot R_3 \cdot T_{03}}$$

Коефицијент κ_1 се односи на проток ваздуха и износи 1,4, а коефицијент κ_3 на заједнички проток ваздуха и барутних гасова и износи 1,35. Температура атмосферског ваздуха је $T_{01} = T_a = 293 \text{ K} = 273^\circ\text{C}$, док је $R_1 = 287 \text{ [J/kg} \cdot \text{K]}$ гасна константа ваздуха. Енталпије одговарајућих протока су:

$$J_1 = \frac{\kappa_1}{\kappa_1 - 1} \cdot R_1 \cdot T_a$$

$$J_2 = \frac{\kappa_2}{\kappa_2 - 1} \cdot R_2 \cdot T_{2sr}$$

$$J_3 = \frac{\kappa_3}{\kappa_3 - 1} \cdot R_3 \cdot T_{03}$$

При чему се $R_2 \cdot T_{2sr}$ израчунава на следећи начин:

$$R_2 \cdot T_{2sr} = R \cdot T_{02} \cdot \frac{1 - \frac{p_2^*}{p_{02}}}{\ln \frac{p_{02}}{p_2^*}}$$

Сменом једначине (7) у једначини (9) и искоришћењем израза за енталпију J_3 добија се:

$$R_3 \cdot T_{03} = \frac{\kappa_3 - 1}{\kappa_3} \cdot \frac{J_1 \cdot G_1 + J_2 \cdot G_2}{G_1 + G_2}$$

Сада се критична брзина звука у заједничкој струји може написати у облику:

$$a_3^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa_3}{\kappa_3 + 1} \cdot \frac{R_1 \cdot G_1 \cdot T_a + R_2 \cdot G_2 \cdot T_{2sr}}{G_1 + G_2}}$$

Из једначина (8) и (10) се добијају, респективно, следећи изрази:

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_1}{G_1} \cdot \sqrt{(G_1 + G_2) \cdot \frac{R_1 \cdot G_1 \cdot T_a + R_2 \cdot G_2 \cdot T_{2sr}}{R_1 \cdot T_a}} \quad (11)$$

$$\frac{\kappa_1 + 1}{2 \cdot \kappa_1} \cdot \frac{G_1 \cdot a_1^*}{\lambda_1} \cdot (1 + \lambda_1^2) + G_2 \cdot a_2^* \cdot \lambda_2 \cos \psi_m = \frac{\kappa_3 + 1}{2 \cdot \kappa_3} \cdot \frac{G_3 \cdot a_3^*}{\lambda_3} \cdot (1 + \lambda_3^2) \quad (12)$$

На сличан начин се долази и до израза за проток ваздуха:

$$G_1 = \rho_v \cdot \left(1 - \frac{\kappa_1 - 1}{\kappa_1 + 1} \cdot \lambda_1^2\right)^{\frac{1}{\kappa_1 - 1}} \cdot \lambda_1 \cdot S \cdot a_1^* \quad (13)$$

Нумеричким или графичким решавањем система једначина (11), (12) и (13) добијају се величине a_3^* , λ_1 , λ_3 и коначно G_1 , помоћу које се израчунава коефицијент поузданости проветравања канала цеви.

2.2. Математички модел према литератури [3]

Следећи математички модел се користи при прорачуну параметара ејектора који се постављају на оруђа која имају могућност гађања у покрету. За почетак прорачуна, познати подаци су укупна запремина цеви V_t , која обухвата запремину канала цеви и запремину барутне коморе, притисак на устима цеви при излетању пројектила p_o , површина попречног пресека канала цеви A , маса барутног пуњења W_c и брзина пројектила на устима цеви v_o . Треба нагласити да се у овом математичком моделу примењују јединице дефинисане америчким мерним системом.

За спровођење прорачуна ејекторског уређаја потребно је, најпре, одредити опште параметре, који не зависе од његових карактеристика. Време потребно да притисак падне до 0,06% вредности p_o је:

$$\theta = \frac{2}{A \cdot \kappa \cdot (\gamma - 1)} \sqrt{\frac{W_c \cdot V_t}{g \cdot p_o}}$$

Где је g убрзање Земљине теже, а коефицијент κ се израчунава помоћу односа топлотних капацитета γ :

$$\kappa = \sqrt{\gamma} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{2 \cdot (\gamma-1)}}$$

Тренутак када се затварач отвара треба одложити све док притисак у цеви не падне до вредности атмосферског притиска, како не би дошло до стварања обрнутог пламена. Минимално време до отварања затварача се рачуна према следећем изразу:

$$\theta_m = \theta \cdot \left[R_p^{\left(\frac{1-\gamma}{2 \cdot \gamma} \right)} - 1 \right]$$

Где је $R_p = p_a/p_o$ однос атмосферског притиска према притиску на устима цеви.

Прорачунава се и еквивалентна дужина цеви:

$$L_e = \frac{V_t}{A}$$

Осим ових општих параметара, постоји и неколико емпиријски одређених параметара који су такође потребни за прорачун. Место постављања млазница на цеви оруђа се пажљиво одређује. Млазнице би требало да буду постављене тако да се постигне што већа ефикасност пуњења и пражњења ејектора, тј. да се обезбеди довољно времена за потпуно искоришћење капацитета резервоара. Према томе се дефинише растојање отвора млазница од уста цеви, које треба да буде у опсегу $0,1 \cdot L_e \leq L_n \leq 0,2 \cdot L_e$.

Угао под којим су осе млазница нагнуте према оси цеви знатно утиче на ефикасност рада продувника барутних гасова. Најбољи резултати се постижу када је угао мањи од 30° (млазнице усмерене ка устима цеви), међутим израда таквог решења је веома тешка, па се препоручује угао $\phi = 30^\circ$ као минимални могућ за израду.

Речено је већ да је овај модел намењен за оруђе које може да гађа своје циљеве из покрета, према томе, у обзир се мора узети утицај ветра на уста цеви. У пракси се усваја брзина ветра $v_w = 75 \text{ [ft/s]} \approx 23 \text{ [m/s]}$ као вредност која користи у прорачуну за предузимање мера како би се неутралисао утицај ветра. Поставља се однос динамичког притиска према статичком:

$$W_w = \frac{\rho_a \cdot v_w^2}{2 \cdot p_a}$$

Где је $\rho_a = \sigma/g$ густина ваздуха.

Параметри који су директно везани за прорачун продувника су површина отвора млазница, запремина резервоара, његова дужина и пречник, време пражњења резервоара, а све су међусобно зависне. Ејекторски уређај може имати фиксне млазнице неповратни вентил или њихову комбинацију у зависности од потребног времена пражњења резервоара. Фиксне млазнице углавном представљају отвор пробушен у зиду цеви, без делова који се померају и логичан су избор уколико се пуњење и пражњење резервоара може вршити преко отвора исте површине. Неповратни вентил има делове који се померају да би се регулисао проток, површина отвора приликом пуњења резервоара је већа, а приликом пражњења је мања или је вентил потпуно затворен, а пражњење се врши само преко млазница.

Уколико се и пуњење и пражњење резервоара врши преко истих отвора, нема разлике између параметара ових процеса. Однос површине отвора млазница и површине канала цеви се може изразити помоћу величина W_w , γ и ϕ , па тако зависи само од усвојене вредности брзине ветра, која се мења са климатским условима:

$$\omega = \frac{W_w}{(\gamma + 1) \cdot \cos\phi}$$

Потребна укупна површина свих отвора млазница је:

$$A_n = \omega \cdot A$$

и очигледно зависи од усвојене брзине ветра и површине попречног пресека канала цеви. Уколико је познат број млазница n и њихов пречник D_n , може се написати:

$$A_n = \frac{n \cdot \pi \cdot D_n^2}{4}$$

Вредност ω је потребна да би се израчунала запремина резервоара. Унутрашња површина резервоара и површина отвора млазница су повезане следећим односом:

$$\omega/\lambda = \frac{2,5 \cdot R_p}{\chi^{1,46}}$$

Где је $\lambda = V_r/V_t$ однос запремине резервоара и укупне запремине цеви, а $\chi = 0,5$ је вредност фактора преноса топлоте која се користи у пракси:

$$\omega/\lambda = \frac{2,5 \cdot R_p}{0,364} = 6,87 \cdot R_p$$

Као мера сигурности се вредност претходног израза удвостручи, па се приликом прорачуна користи нова вредност:

$$(\omega/\lambda)_d = 2 \cdot (\omega/\lambda) = \frac{5 \cdot R_p}{\chi^{1,46}}$$

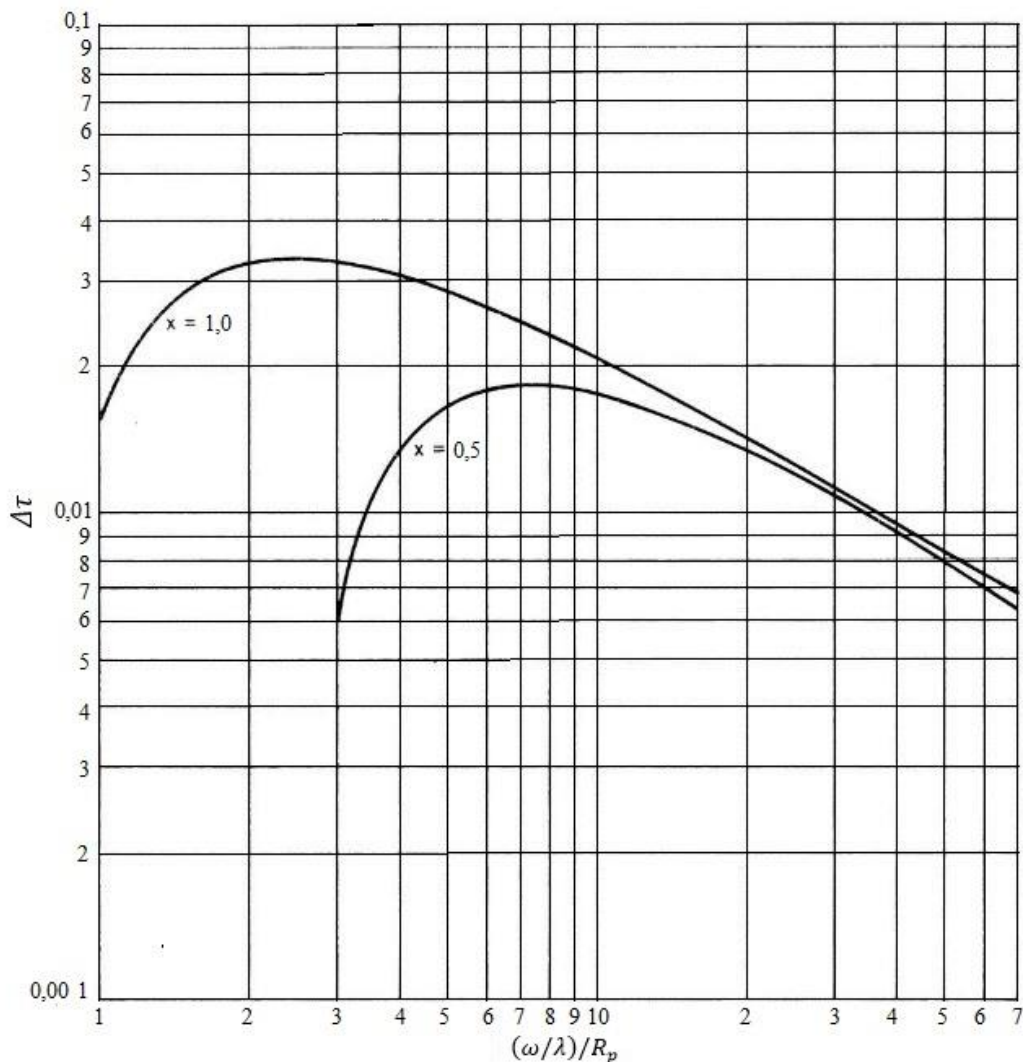
Максимални теоријски притисак у резервоару се добија прорачуном са 50% губитка топлоте, тј, $\chi = 0,5$:

$$p_r = p_o \cdot \chi \cdot (\omega/\lambda)_d = \frac{1}{2} \cdot p_o \cdot (\omega/\lambda)_d$$

У пракси, зидови резервоара морају да издрже и притисак који би се створио при пуњењу ако не би било губитака топлоте, па се усваја:

$$p_{rd} = 2 \cdot p_r$$

Фактор времена пражњења $\Delta\tau$, потребан за даљи прорачун, се читава са графичког приказа зависности фактора $\Delta\tau$ од вредности $(\omega/\lambda)/R_p$, односно $(\omega/\lambda)_d/R_p$ (слика 14).



Слика 14: Зависност фактора времена пражњења $\Delta\tau$ од $(\omega/\lambda)/R_p$ [3]

Један од најкритичнијих параметара је време пражњења резервоара T_j које мора надмашити време које протекне до тренутка отварања затварача толико да се омогући ефективно продување канала цеви:

$$T_j = \frac{\Delta\tau \cdot \theta}{R_p}$$

Вредности ω_d и λ_d су меродавне за коришћење у пракси:

$$\omega_d = \frac{n \cdot \pi \cdot D_n^2}{4 \cdot A}$$

$$\lambda_d = \frac{\omega_d}{(\omega/\lambda)_d}$$

Ове вредности се прорачунавају опет уколико је потребно повећати пречнике млазница реди добијања погоднијих вредности времена пражњења. Запремина резервоара се рачуна као:

$$V_r = \lambda_d \cdot V_t$$

Величина резервоара, тј. његова запремина треба да буде што мања, а да не спречава ефикасно продување канала цеви. Запремина резервоара и површина отвора млазница су у директној вези, што значи да онда и пречник млазница треба бити што мањи.

Уколико је време пражњења кроз фиксне млазнице краће од времена отварања затварача, потребно га је продужити коришћењем неповратног вентила. Дуже време пражњења се постиже мањим површинама отвора за пражњење или повећањем површина отвора за пуњење, што доводи до веће запремине резервоара. Обрнуто сразмеран однос ових величине је представљен изразом:

$$\frac{\omega_c}{\omega_{dc}} = \frac{T_{jc}}{T_j}$$

Где су:

ω_c – однос површине отвора за пуњење према површини попречног пресека канала цеви,

ω_{dc} – однос површине отвора за пражњење према површини попречног пресека канала цеви,

T_{jc} – време пражњења при коришћењу неповратног вентила,

T_j – време пражњења при коришћењу фиксних млазница.

Време пражњења је за 25% дуже од времена отварања затварача, као мера предострожности $T_{jc} = 1,25 \cdot T_b$, а вредности ω_{dc} и ω_c/λ_c су једнаке онима код ејектора са фиксним млазницама:

$$\omega_{dc} = \omega$$

$$\omega_c/\lambda_c = (\omega/\lambda)_d$$

Следе једнакости:

$$\omega_c = \omega_{dc} \cdot \frac{T_{jc}}{T_j}$$

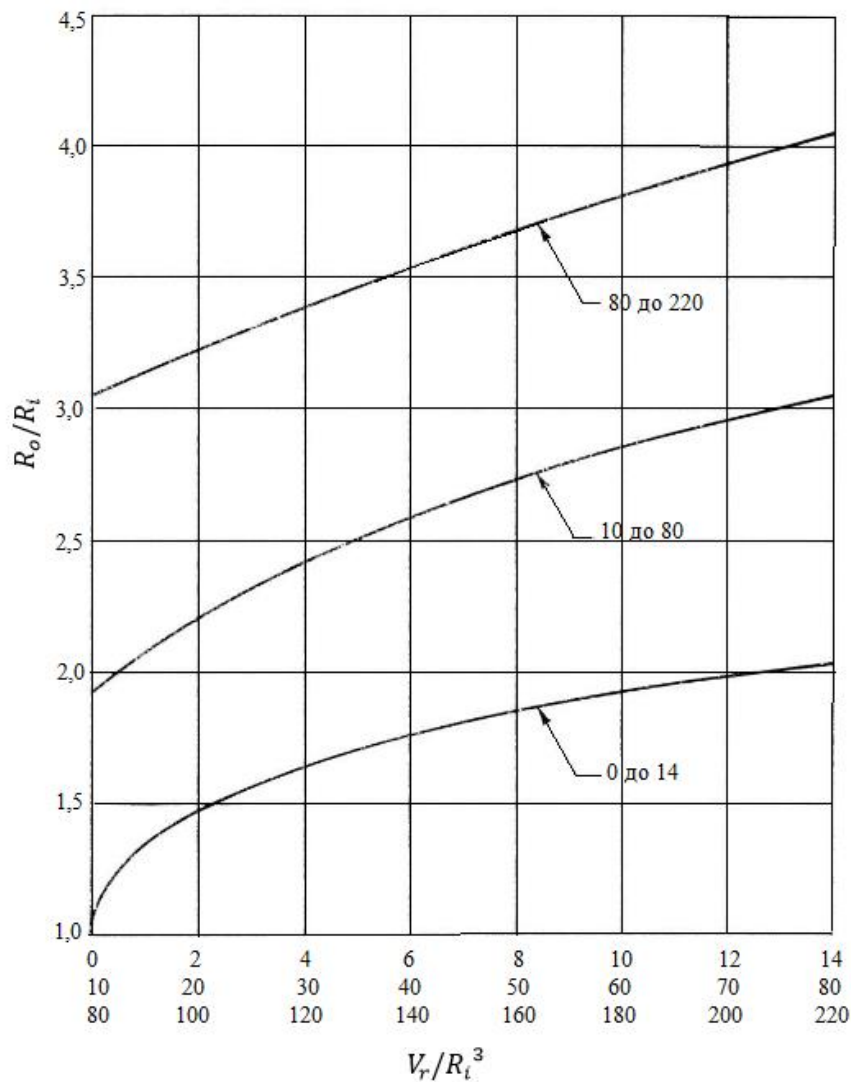
$$\lambda_c = \frac{\omega_c}{(\omega_c/\lambda)}$$

Према већ датим изразима, а са новим вредностима, се рачунају укупна површина отвора преко којих се врши пуњење резервоара и запремина резервоара:

$$A_n = \omega_c \cdot A$$

$$V_r = \lambda_c \cdot V_t$$

Последњи корак је прорачун полупречника резервоара и његове дужине, како би се што више смањили топлотни губици. Познате су вредности запремине резервоара V_r и унутрашњи полупречник резервоара R_i , који је заправо спољни полупречник цеви. На слици 15 је графички приказ зависности односа запремине и полупречника V_r/R_i^3 и однос полупречника резервоара R_o/R_i , помоћу кога се очитава вредност R_o/R_i .



Слика 15: Зависност R_o/R_i од односа V_r/R_i^3 [3]

Након израчунатих свих потребних величина, спољни пречник резервоара и његова дужина се рачунају према следећим изразима:

$$R_o = R_i \cdot (R_o/R_i)$$

$$L = \frac{V_r}{\pi \cdot (R_o^2 - R_i^2)}$$

На овај начин добијају се све димензије одводника барутних гасова, које углавном не дају најбоље резултате. Оптимално конструктивно решење се добија спровођењем темељнијих прорачуна и варирањем свих параметара који утичу на ефикасност одводника док се не постигну жељени резултати.

3. ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОРАЧУН ОДВОДНИКА БАРУТНИХ ГАСОВА

На основу математичког модела приказаног у претходном поглављу, а дефинисаног према литератури [1], приступа се решавању проблема израчунавања поузданости продувавања канала цеви помоћу одводника барутних гасова. Поступак за решавање овог проблема се састоји из следећих корака:

- дефинишу се полазни подаци који представљају конструктивне параметре оруђа и одводника барутних гасова и остале балистичке карактеристике потребне за даљи прорачун,

- на основу полазних података се прорачунавају одређене величине које описују процесе пуњења и пражњења одводника барутних гасова,

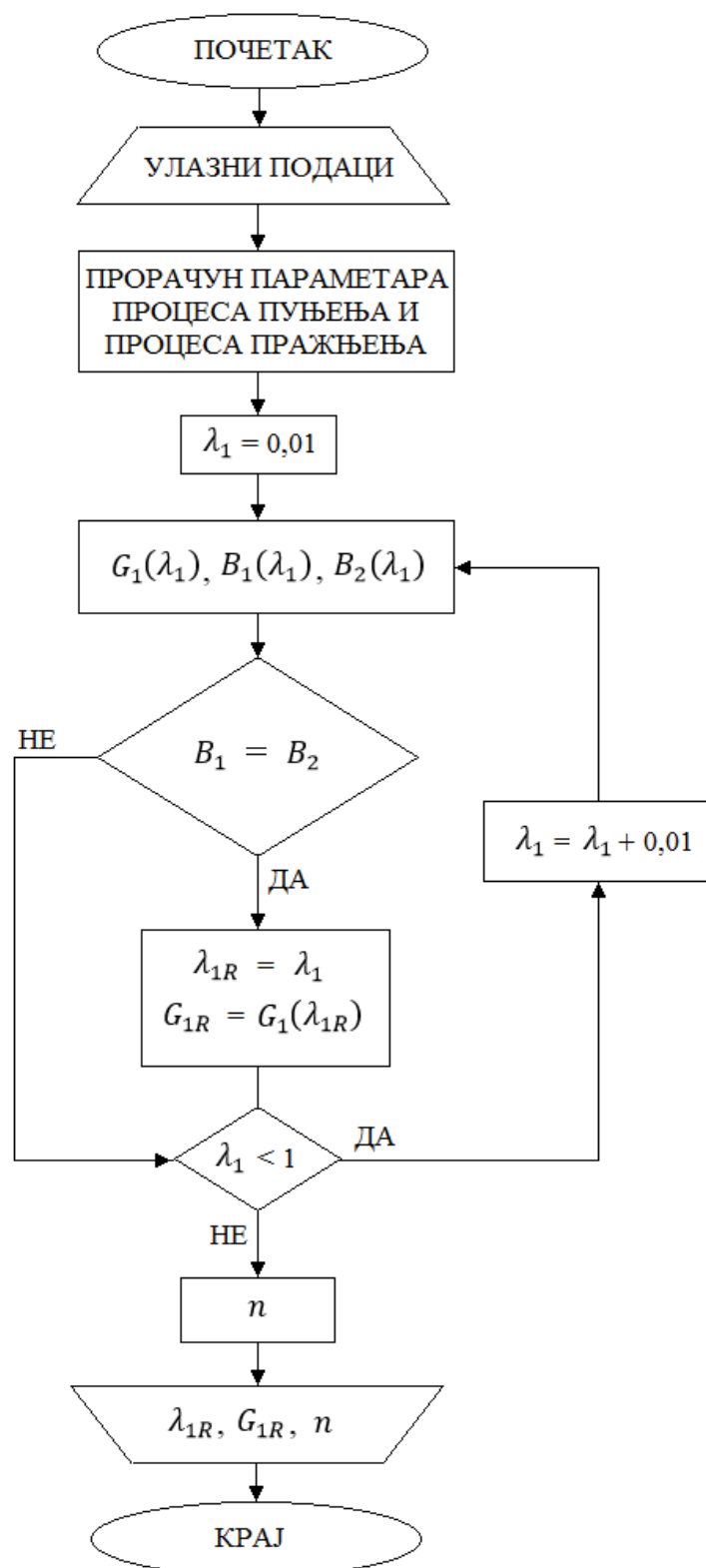
- прорачун се завршава решавањем система једначина, графоаналитичком или нумеричком методом, којим се добијају вредности свих потребних величина за израчунавање коефицијента поузданости продувавања канала цеви,

- на крају се израчунава коефицијент поузданости продувавања канала цеви и анализира се резултат, односно испуњење задатог захтева за његову вредност, а на тај начин се оцењује и ефектност рада одводника барутних гасова.

Графоаналитичка метода подразумева задавање вредности за λ_1 у опсегу $(0,1;1,0)$ и рачунање преосталих непознатих величина за ту вредност. Графички се представља зависност параметара G_1 , B_1 и B_2 од λ_1 у погодnoj размери. Пресечна тачка кривих $B_1(\lambda_1)$ и $B_2(\lambda_1)$ одређује тражену вредност за бездимензионалну брзину струјања ваздуха λ_1 , а на основу ње се читава вредност G_1 – проток ваздуха кроз канал цеви у периоду његовог продувавања. Одређивање ове вредности омогућава рачунање коефицијента поузданости продувавања канала цеви.

У овом раду је приступљено нумеричком решавању система једначина помоћу рачунара, а програмско решење се формира на основу математичког модела и алгоритма. Коришћење софтверског решења, у овом случају програмског пакета MATLAB, омогућава једноставније и брже решавање система једначина нумеричком методом. Алгоритам за израчунавање коефицијента поузданости према математичком моделу дефинисаном у делу 2.1. се може приказати дијаграмом тока, датом на слици 16.

Дијаграм тока показује да се тражене вредности параметара λ_1 и G_1 налазе када је испуњен услов једнакости израза $B_1(\lambda_1)$ и $B_2(\lambda_1)$, а да се прорачун свих ових вредности врши до испуњења услова $\lambda_1 = 1$ ради формирања графичког приказа промене ових параметара у зависности од λ_1 .



Слика 16: Алгоритам за израчунавање коефицијента поузданости продувавања приказан дијаграмом тока

Полазни подаци према дефинисаном моделу обухватају конструктивне и балистичке параметре оруђа и параметре одводника.

Конструктивни параметри оруђа и параметри прорачунати на основу њих:

- d - калибар оруђа [m],
- S - површина попречног пресека канала цеви [m²],
- l_u - дужина канала цеви [m],
- l_o - дужина барутне коморе [m],
- W_o - запремина барутне коморе [m³],
- W_k - запремина канала цеви [m³],
- d_2 - спољни пречник цеви, уједно и унутрашњи пречник одводника [m],
- t_{oz} - време од почетка пражњења до тренутка отварања затварача [s],

Балистичке карактеристике оруђа:

- v_u - брзина пројектила на устима цеви [m/s],
- v - брзина пројектила у пресеку одводних канала одводника [m/s],
- m - маса пројектила [kg],
- ω - маса барутног пуњења [kg],
- p_u - притисак на устима цеви [Pa],
- φ - коефицијент фиктивности [/].

Параметри одводника:

- W_p - запремина резервоара одводника барутних гасова [m³],
- f_m - укупна површина свих отвора млазница [m²],
- f_v - укупна површина свих вентилских отвора [m²],
- ψ_m - угао под којим су нагнуте осе млазница према оси цеви [°],
- ψ_v - угао под којим је нагнута оса вентилског отвора према оси цеви [°],
- l - растојање од уста цеви до канала за пуњење и пражњење одводника [m],
- l_p - дужина одводника барутних гасова [m],
- d_p - пречник одводника барутних гасова (спољни) [m],
- λ_2 - бездимензионална брзина протока на излазу из млазница [/],

Следећи корак је прорачун величина које описују процесе пуњења и пражњења. Процес пуњења резервоара карактеришу: максимални притисак барутних гасова у резервоару p_{o2} , маса барутних гасова у резервоару на крају његовог пуњења ω_{o2} и укупно време пуњења резервоара t_p . Процес пражњења резервоара карактеришу: критични притисак у резервоару p_2^* , бездимензионалне брзине протока $\lambda_{1,2,3}$, величине протока кроз различите делове цеви $G_{1,2,3}$, критичне брзине протока $a_{1,2,3}^*$ и време ефективног рада продувника t_e . Након овога су непознате величине у систему једначина остају G_1 , a_3^* , λ_1 и λ_3 . Величине ε , B_1 и B_2 представљају помоћне изразе.

При нумеричком решавању система једначина коришћење рачунара у многоме олакшава рад. Биће дат пример једног прорачуна поузданости продувавања, за топ 76 mm, према описаном математичком моделу, ради детаљнијег објашњења.

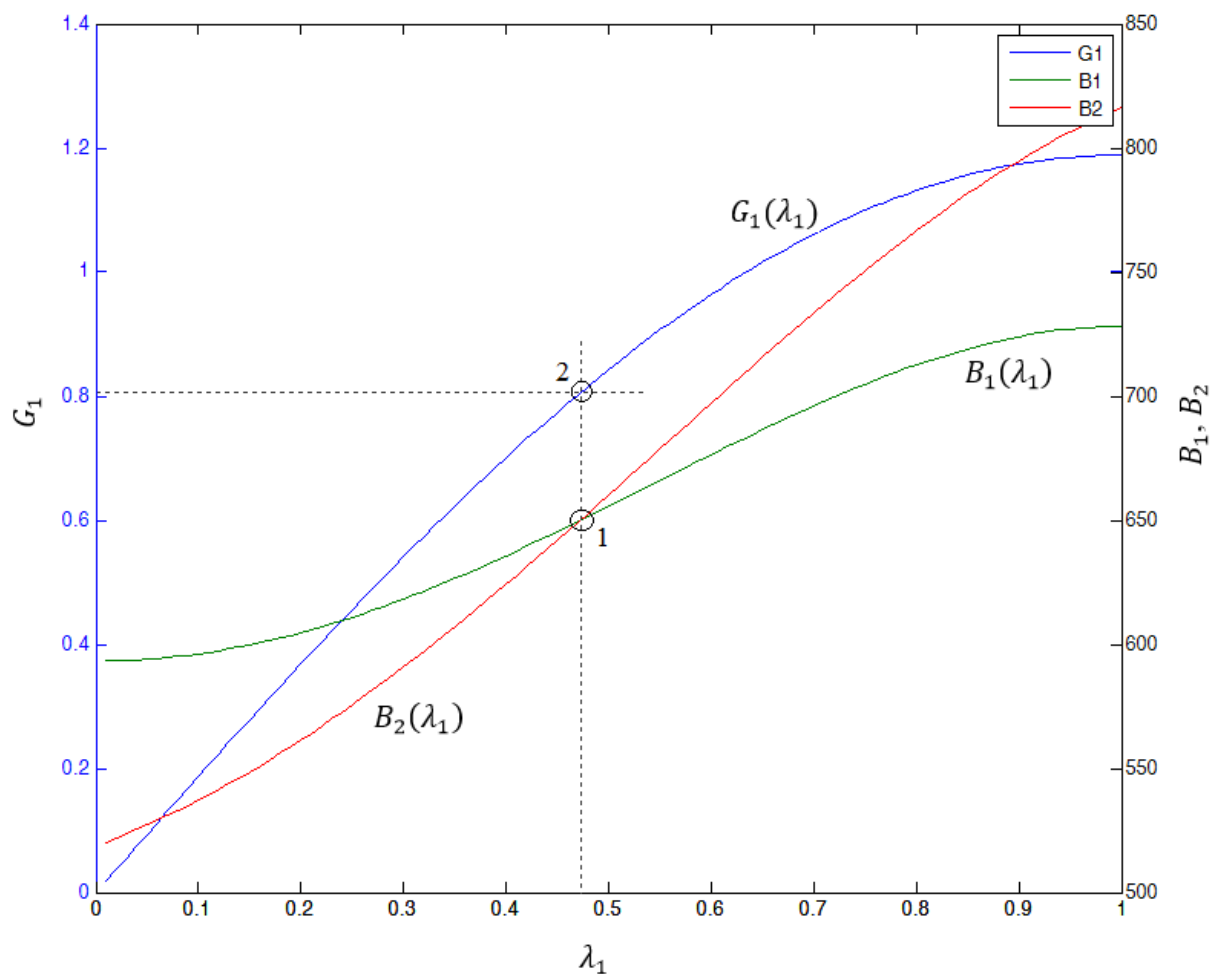
Улазни подаци:

$d = 76,2 \text{ mm}$	$v_u = 662 \text{ m/s}$	$W_p = 3,9 \text{ dm}^3$	$d_2 = 112 \text{ mm}$
$S = 0,463 \text{ dm}^2$	$v = 640 \text{ m/s}$	$f_m = 18,84 \text{ mm}^2$	$t_{oz} = 0,5 \text{ s}$
$l_u = 25,87 \text{ dm}$	$m = 6,5 \text{ kg}$	$f_v = 78,5 \text{ mm}^2$	$l_p = 500 \text{ mm}$
$l_o = 4,1 \text{ dm}$	$\omega = 1,08 \text{ kg}$	$\psi_m = 155^\circ$	$d_p = 150 \text{ mm}$
$W_o = 1,92 \text{ dm}^3$	$p_u = 57 \text{ MPa}$	$\psi_v = 105^\circ$	$\lambda_2 = 2,22$
$W_k = 14,07 \text{ dm}^3$	$\varphi = 1,08$	$l = 7,14 \text{ dm}$	

Програмско решење у софтверском пакету MATLAB прорачунава све потребне величине и као излаз даје следеће вредности:

$\lambda_1 = 0,47$	- бездимензионална брзина струје ваздуха кроз задњи пресек цеви
$G_1 = 0,8024 \text{ kg/m}^3$	- проток ваздуха кроз канал цеви у периоду продувавања
$n = 3,2919$	- коефицијент поузданости одводника барутних гасова

Графички приказ зависности израчунатих величина се такође може добити коришћењем програмског решења. На слици 17 је приказана зависност $G_1(\lambda_1)$, $B_1(\lambda_1)$ и $B_2(\lambda_1)$, при чему су на апсциси обележене вредности λ_1 , на левој ординати вредности G_1 , а на десној ординати вредности B_1 и B_2 . Програмско решење налази пресечну тачку 1 кривих $B_1(\lambda_1)$ и $B_2(\lambda_1)$, вредност λ_1 се читава са апсцисе за ту тачку, а затим се за читану вредност λ_1 , са ординате одређује проток G_1 . Након тога се, према једноставном обрасцу израчунава коефицијент поузданости продувника барутних гасова n .



Слика 17: Графички приказ зависности $G_1(\lambda_1)$, $B_1(\lambda_1)$ и $B_2(\lambda_1)$ са обележеним пресечним тачкама; 1 – одређује вредност λ_1 , 2 – одређује вредност G_1

Коефицијент поузданости за представљени пример има вредност $n = 3,2919$ и задовољава услов да његова минимална вредност треба бити $n = (1,3 - 2)$. Другим речима, за дефинисане параметре одводника постављеног на топ 76 mm, ефективно се врши продувавање канала цеви.

4. АНАЛИЗА УТИЦАЈА ОДАБРАНИХ ПАРАМЕТАРА НА ФУНКЦИОНИСАЊЕ ОДВОДНИКА БАРУТНИХ ГАСОВА

Једна од највећих предности коришћења програмских решења за прорачуне и решења различитих математичких проблема јесте могућност једноставне промене параметара са циљем брзог добијања нових резултата. Нове вредности једног, више или свих улазних параметара изазваће промену излазних параметара, односно утицаће на коефицијент поузданости проветравања, у случају раније дефинисаног математичког модела. Употреба програма омогућава неограничен број промена вредности улазних параметара, тј. њихово варирање, све док се конструкцијским решењем одводника не постигне жељена ефектност уређаја. На тај начин се, такође, може утврдити који параметри највише утичу на рад одводника и којима треба посветити највише разматрања.

У другом поглављу су дефинисани кључни параметри који утичу на рад одводника – растојање канала за пуњење и пражњење резервоара одводника од уста цеви l , угао нагиба оса млазница према оси цеви ψ_m , пречник отвора млазнице, тј. укупна површина отвора млазница f_m , угао нагиба оса вентилских отвора према оси цеви ψ_v , пречник вентилских отвора, тј. укупна површина вентилских отвора f_v , запремина резервоара W_p , његов пречник d_p и дужина l_p и притисак на устима цеви p_u , који се може променити уколико се искористи други барут или повећа количина барутног пуњења. Променом вредности сваког од ових параметара у програмском решењу за 10% биће показан њихов утицај на ефектност одводника барутних гасова. Такође, вредности ових параметара морају да задовоље и вредност потребног времена пражњења и ефективног рада одводника.

Некада се одводник барутних гасова постављао на устима, а данас најчешће ближе средини цеви. Његова позиција на цеви зависи од захтеваног растојања отвора за пуњење и пражњење резервоара од уста цеви. Искуство је показало да је најповољнији положај млазница на растојању $(8 \div 10)$ калибара од уста цеви. Отвори млазница и вентилски отвори треба да буду постављени на довољном растојању од уста цеви да би се обезбедило довољно време да се резервоар испуни барутним гасовима, а да се приликом пражњења канал цеви очисти од њих. Ако је растојање мање, не искоришћава се у потпуности енергија струје барутних гасова који истичу. Такође се повећава маса делова оруђа који су близу уста цеви, а даље од ослоних тачака, што нарочито није добро код тенковских и самоходних артиљеријских оруђа. Већа растојања (више од десет калибара) доводе до смањења ефективног дејства због повећања отпора кретању струје гасова јер се повећава стуб ваздуха и гасова који треба да се савлада. Смањује се и отпорност цеви због постављања отвора млазница у пресеку цеви који је изложен већем притиску који настаје при опаљењу. Оправдано је поставити отворе млазница до $(15 \div 20)$ калибара од уста цеви, у случају да је потребно потпуно неутралисати појаву обрнутог пламена.

У датом примеру вредност растојања канала од уста цеви је $l = 0,714 \text{ m} \approx 9,4 \cdot d$. У табели 1 је приказана промена излазних параметара до које долази уколико се вредност растојања l повећа и смањи за 10%. Коефицијент поузданости n се повећава са смањењем растојања и обрнуто, а при томе не долази до промене вредности бездимензионалне брзине струје ваздуха кроз задњи пресек цеви и протока ваздуха кроз канал цеви у периоду продувавања.

Табела 1: Промена излазних параметара у зависности од параметра l

Параметар	Основна вредност	+ 10%	- 10%
Растојање отвора за пуњење и пражњење од уста, l [m]	0,714	0,7854	0,6426
Коефицијент поузданости продувавања, n [/]	3,2919	3,2381	3,3507
Промена n у процентима	0	- 1,6%	+ 1,8%
Бездимензионална брзина струје ваздуха, λ_1	0,47	0,47	0,47
Проток ваздуха, G_1 [kg/m ³]	0,8024	0,8024	0,8024
Ефективно време рада одводника, t_e [s]	0,9351	0,9198	0,9518

Угао под којим су осе млазница нагнуте у односу на осу цеви би требало да буде 10°-15°, због што ефикаснијег дејства, али пошто је отежана израда отвора под тако малим угловима, усвајају се углови 20°-25° као минимални који се могу изградити [КАО]. Изабрана вредност у примеру, код топа 76 mm, је $\psi_m = 155^\circ$ (позитиван математички угао, коришћен у прорачуну), односно $\psi_m = 25^\circ$. Без обзира на могућност израде, вредност је смањена до угла $\psi_m = 9,5^\circ$ (170,5°) да би се сагледао утицај ове величине на излазне параметре. Подаци у табели 2 показују колико је утицајан овај угао на поузданост продувавања канала цеви.

Табела 2: Промена излазних параметара у зависности од параметра ψ_m

Параметар	Основна вредност	+ 10%	- 10%
Угао нагиба оса млазница према оси цеви, ψ_m [°]	155	170,5	139,5
Коефицијент поузданости продувавања, n [/]	3,2919	4,0785	2,0201
Промена n у процентима	0	+ 23,9%	- 38,6%
Бездимензионална брзина струје ваздуха, λ_1	0,47	0,63	0,27
Проток ваздуха, G_1 [kg/m ³]	0,8024	0,9955	0,4910
Ефективно време рада одводника, t_e [s]	0,9351	0,9338	0,9377

Укупна површина отвора млазница f_m зависи од броја млазница и њиховог пречника. Број млазница представља компромис између два супротна захтева. Већи број млазница је пожељан са аспекта формирања конуса истичућих гасова и бољи ефекат избацивања барутних гасова под притиском. Мањи број млазница погодује очувању чврстоће цеви,

тј. њене отпорности. Када су млазнице постављене у истом пресеку, по кружном ободу, што је углавном случај, коефицијент сигурности цеви се смањује за 15% ÷ 20%, па се зид цеви израђује са већом дебљином на местима где је постављен одводник.

У пракси је најбоље користити емпиријски израз за одређивање највећег дозвољеног броја млазница:

$$n = \frac{\pi \cdot d_1}{2,5 \cdot d_{om}}$$

Где је d_1 – унутрашњи пречник цеви мерен на дну жљебова и d_{om} – пречник отвора испод млазница. Добијени резултат се заокружује на први мањи цео број. Пречник млазница је најчешће 2 mm ÷ 4 mm, а могу имати и дифузор са ширењем до $v = 10$ [Z.R.].

Укупна површина отвора млазница се рачуна као производ броја млазница и површине њихових отвора, при чему је у овом примеру број млазница $n = 6$, а пречник отвора млазнице је $d_{om} = 2$ mm. У табели 3 је приказана значајна промена излазних параметара са променом ове површине. Треба напоменути да смањење вредности f_m за 10% није изводљиво, тј. ограничено је технолошким могућностима, јер се најмања вредност f_m постиже избором минималног пречника отвора млазница, што је овде већ усвојено за основну вредност.

Табела 3: Промена излазних параметара у зависности од параметра f_m

Параметар	Основна вредност	+ 10%	- 10%
Укупна површина отвора млазница, f_m [mm ²]	18,84	20,724	16,956
Коефицијент поузданости продувавања, n [/]	3,2919	2,9180	3,7972
Промена n у процентима	0	- 11,4%	+ 15,3%
Бездимензионална брзина струје ваздуха, λ_1	0,47	0,47	0,48
Проток ваздуха, G_1 [kg/m ³]	0,8024	0,8024	0,8161
Ефективно време рада одводника, t_e [s]	0,9351	0,8289	1,0605

Мања површина отвора млазница за пражњење доводи до повећања времена пражњења, али ако се не може израдити мањи отвор, дуже време пражњења се постиже повећањем вентилских отвора за пуњење, што узрокује повећање димензија резервоара.

Одводник барутних гасова у описаном примеру има један вентилски отвор пречника $d_{ov} = 5$ mm, иако их може бити више. Површина тог отвора, или укупна површина свих вентилских отвора f_v зависи од њиховог пречника и броја отвора. Величина параметра f_v утиче на дужину времена пражњења резервоара, тј. када је потребно продужити време продувавања додаје се још један вентилски отвор са куглицом за пуњење резервоара, који се при пражњењу затвара. Дуже време продувавања доприноси поузданости

проветравања канала цеви. У табели 4 су приказане промене вредности излазних параметара при промени површине f_v .

Табела 4: Промена излазних параметара у зависности од параметра f_v

Параметар	Основна вредност	+ 10%	- 10%
Укупна површина вентилских отвора, f_v [mm ²]	78,5	86,35	70,65
Коефицијент поузданости продувавања, n [/]	3,2919	3,3769	3,2534
Промена n у процентима	0	+ 2,6%	- 1,2%
Бездимензионална брзина струје ваздуха, λ_1	0,47	0,47	0,48
Проток ваздуха, G_1 [kg/m ³]	0,8024	0,8024	0,8161
Ефективно време рада одводника, t_e [s]	0,9351	0,9593	0,9086

Вентилски отвори се израђују тако да им је оса нагнута под углом 60°-80° у односу на осу цеви, односно 120°-100° изражено као позитиван математички угао [КАО]. У примеру је вредност угла осе вентилског отвора $\psi_v = 105^\circ$. Промена излазних параметара зависно од промене овог угла је приказана у табели 5.

Табела 5: Промена излазних параметара у зависности од параметра ψ_v

Параметар	Основна вредност	+ 10%	- 10%
Угао нагиба осе вентилског отвора према оси цеви, ψ_v [°]	105	115,5	94,5
Коефицијент поузданости продувавања, n [/]	3,2919	3,2771	3,3723
Промена n у процентима	0	- 0,4%	+ 2,4%
Бездимензионална брзина струје ваздуха, λ_1	0,47	0,48	0,47
Проток ваздуха, G_1 [kg/m ³]	0,8024	0,8161	0,8024
Ефективно време рада одводника, t_e [s]	0,9351	0,9153	0,9579

О димензијама резервоара, односно целог одводника, треба посебно водити рачуна, јер веће димензије резервоара повећавају масу осцилирајућег склопа оруђа и могу довести до неуравнотежења. Осим тога, уколико је одводник постављен ближе устима цеви, а његове димензије веће од потребних, може се десити да омета нишањење. С друге стране, запремина резервоара W_p се мора повећати уколико је потребно смањити

притисак у њему ради повећања времена дејства одводника t_e , за исте пречнике млазница (уколико не могу бити мањи). Запремина резервоара се може повећати или смањити променом његовог спољног пречника или његове дужине. У табели 6 је приказана промена излазних параметара за различите запремине резервоара добијене променом вредности спољног пречника резервоара d_p . Промене коефицијента n су веома велике при промени пречника, чак је, за његово исто повећање и смањење, двоструко већи утицај приликом смањења ове величине. Такође, при промени пречника резервоара највећа је промена ефективног времена рада одводника.

Табела 6: Промена излазних параметара у зависности од параметара d_p и W_p

Параметар	Основна вредност	+ 10%	- 10%
Спољни пречник резервоара одводника, d_p [mm]	150	165	135
Промена запремине резервоара W_p [dm ³] због d_p	3,9	5,8	2,2
Коефицијент поузданости продувавања, n [/]	3,2919	4,2014	1,7427
Промена n у процентима	0	+ 27,6%	- 47,1%
Бездимензионална брзина струје ваздуха, λ_1	0,47	0,48	0,43
Проток ваздуха, G_1 [kg/m ³]	0,8024	0,8161	0,7456
Ефективно време рада одводника, t_e [s]	0,9351	1,2975	0,4824

У табели 7 је приказана промена излазних параметара за различите запремине резервоара добијене променом вредности дужине резервоара l_p . Повећање или смањење запремине резервоара, услед промене његове дужине, не утиче на поузданост продувавања у мери у којој утиче промена његовог спољног пречника, али је ипак веома важан параметар.

Табела 7: Промена излазних параметара у зависности од параметара l_p и W_p

Параметар	Основна вредност	+ 10%	- 10%
Дужина резервоара одводника, l_p [mm]	150	165	135
Промена запремине резервоара W_p [dm ³] због l_p	3,9	4,3	3,5
Коефицијент поузданости продувавања, n [/]	3,2919	3,5857	3,0234
Промена n у процентима	0	+ 8,9%	- 8,2%

Бездимензионална брзина струје ваздуха, λ_1	0,47	0,48	0,47
Проток ваздуха, G_1 [kg/m ³]	0,8024	0,8161	0,8024
Ефективно време рада одводника, t_e [s]	0,9351	1,0238	0,8397

Повећање времена дејства одводника се може остварити на рачун смањења притиска у резервоару, повећањем његове запремина, а тиме и масе. Ово се постиже без обзира да ли се запремина резервоара повећава променом његовог спољног пречника или дужине, што се уочава у табелама 6 и 7. Ипак треба нагласити да мора постојати разуман однос између ова два параметра и да је бољи случај повећања запремине повећањем његове дужине, него пречника. Димензије одводника који је тако пројектован, мање мењају изглед цеви и доприносе равномернијој расподели масе дуж цеви.

Резултати у табели 8 показују утицај вредности притиска на устима цеви оруђа при опаљењу p_u на коефицијент поузданости продувавања канала цеви и остале излазне параметре. Веће или мање вредности овог параметра се могу остварити коришћењем јачих или слабијих барута или веће, односно мање, количине барутног пуњења. Очигледно, промена за 10% од првобитне вредности не утиче у великој мери на излазне параметре.

Табела 8: Промена излазних параметара у зависности од параметра p_u

Параметар	Основна вредност	+ 10%	- 10%
Притисак на устима цеви при опаљењу, p_u [MPa]	57	62,7	51,3
Коефицијент поузданости продувавања, n [/]	3,2919	3,3109	3,2721
Промена n у процентима	0	+ 0,6%	- 0,6%
Бездимензионална брзина струје ваздуха, λ_1	0,47	0,47	0,47
Проток ваздуха, G_1 [kg/m ³]	0,8024	0,8024	0,8024
Ефективно време рада одводника, t_e [s]	0,9351	0,9405	0,9295

Постоји још параметара, осим наведених, који утичу на крајње резултате, од којих се не могу сви узети у обзир, што због недовољног познавања њиховог утицаја, превише компликоване математичке формулације или немогућности да се брзо и лако прорачуна утицај таквих параметара. Подаци у табелама показују да неки параметри директно утичу на коефицијент поузданости продувавања n , док су неки обрнуто сразмерни. Повећањем ψ_m , f_v , d_p , l_p , W_p и p_u коефицијент n се такође повећава, док повећање параметара l , f_m и ψ_v доводи до смањења коефицијента n .

ЗАКЉУЧАК

Усавршавање оруђа куполне уградње и самоходних топова, као и њихових борбених својстава, обухвата и побољшање услова у којима се налази посада како њихова радна способност не би била нарушена. Велики проблем код оруђа куполне уградње великих калибара представљају барутни гасови који продиру у борбено одељење. Њихова елиминација код савремених борбених машина је остварена постављањем одводника барутних гасова на цев, који омогућава продување канала цеви и његово чишћење од заосталих барутних гасова и несагорелих честица. Скоро сва савремена оруђа овакве градње имају одводник барутних гасова као стандардни уређај.

Пројектовање ефектног одводника је сложен задатак, јер његов рад зависи од великог броја параметара, од којих не могу сви бити узети у обзир. Међу утицајним параметрима могу се издвојити они кључни - растојање отвора за пуњење и пражњење од уста цеви, угао нагиба оса млазница према оси цеви, укупна површина отвора млазница, запремина резервоара, његов пречник и дужина, површина вентилских отвора, угао нагиба оса вентилских отвора према оси цеви и притисак на устима цеви. Математичким моделом се дефинише однос између параметара коришћењем закона термодинамике и описује рад одводника, а анализе које се спроводе на основу њега омогућавају оцену ефектности одводника барутних гасова.

Примена програмских решења за спровођење математичких прорачуна представља лак, брз и једноставан начин за варирање улазних података са циљем да се добију захтеване излазне величине, што је у раду и показано. Повећањем и смањењем првобитне вредности кључних параметара за 10% стечен је увид у важност и утицајност сваког од њих. Највеће утицаје на поузданост продувавања имају угао под којим су осе млазница нагнуте према оси цеви, површина отвора млазница и димензије одводника барутних гасова. Затим следе растојање отвора за пуњење и пражњење од уста цеви, површина вентилских отвора, угао њихове осе према оси цеви и притисак на устима цеви. Сви ови параметри, као и они који нису овде разматрани, имају међусобан утицај, односно смањење или повећање једног параметра захтева промену другог.

Промена излазних параметара до захтеваних вредности варирањем појединачно сваког од кључних параметара није веома сложен задатак, међутим, у стварности, постизање жељених резултата представља компликовано усаглашавање свих кључних параметара. Треба напоменути да се вредности неких параметара при пројектовању усвајају на основу искуства или спроведених експеримената, као и да некада није технолошки могуће реализовати конструктивно решење предвиђених димензија. Контрадикторност у постављеним захтевима је узрочник компликованог тражења компромиса међу параметрима. Апроксимације, одступања и ограничења која намећу технологија и знање, спречавају производњу идеалног одводника барутних гасова, па се зато врши усаглашавање наведених параметара како би се изабрало оптимално решење.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] З. Ристић, *Прорачун ејекторског уређаја*, ТИШЦ Загреб, 1982.
- [2] З. Ристић, М. Јаковљевић, *Основи наоружања – Артиљеријска оруђа*, Војна академија, Београд, 2001.
- [3] Clarence J. Lang, *Engineering Design Handbook, Guns Series, Muzzle Devices*, FTEADQUARTERS UNITED STATES ARMY MATERIEL COMMAND, WASHINGTON, D.C., 1968.
- [4] Техничко упутство ТС-1, *Тенковски топови 100 mm D10-TG и D10-T2S*, Државни секретаријат за народну одбрану - Техничка управа, Београд, 1970.
- [5] Техничко упутство ТУ-1, *Тенковски топ 125 mm 2A46*, Савезни секретаријат за народну одбрану - Техничка управа, Београд, 1984.
- [6] Qing-Xiang Pei and Richard Foo, *Modeling and Simulation of the Gas Charging and Discharging Processes on Gun Bore Evacuators*, 19th International Symposium of Ballistics, 7–11 May 2001, Interlaken, Switzerland.
- [7] C. R. Woodley, *Modelling of Fume Extractors*, 19th International Symposium of Ballistics, 7–11 May 2001, Interlaken, Switzerland.
- [8] Предавања из предмета *Конструкција артиљеријских оруђа*, школска 2015/16, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.
- [9] D. Bocquet, *M60 Patton*, интернет адреса: http://www.tanks-encyclopedia.com/coldwar/US/M60_Patton.php, приступљено 05.09.2016.
- [10] C. Conners, *125 mm Gun Tank M60A2*, интернет адреса: <http://afvdb.50megs.com/usa/pics/m60.html>, приступљено 05.09.2016.
- [11] D. Bocquet, *AMX-30*, интернет адреса: <http://www.tanks-encyclopedia.com/coldwar/France/AMX-30.php>, приступљено 06.09.2016.
- [12] *Challenger 2*, интернет адреса: https://en.wikipedia.org/wiki/Challenger_2, приступљено 08.09.2016.
- [13] *M-84AS*, интернет адреса: <https://sr.wikipedia.org/wiki/M-84AS>, приступљено 08.09.2016.
- [14] *T-14 Armata*, интернет адреса: https://en.wikipedia.org/wiki/T-14_Armata, приступљено 08.09.2016.
- [15] *Leclerc*, интернет адреса: https://en.wikipedia.org/wiki/AMX_Leclerc, приступљено 08.09.2016.
- [16] *M-84*, интернет адреса: <https://sr.wikipedia.org/wiki/M-84>, приступљено 10.09.2016.
- [17] *Main Battle Tank T-55A*, интернет адреса: <http://www.exarmyvehicles.com/offer/tracked-vehicles/tanks/main-battle-tank-t-55a>, приступљено 10.09.2016.