

НАЦИОНАЛЕН ВОЕНЕН УНИВЕРСИТЕТ "ВАСИЛ ЛЕВСКИ"

ФАКУЛТЕТ „ОБЩОВОЙСКОВИ“

КАТЕДРА „ЗАЩИТА НА НАСЕЛЕНИЕТО И ИНФРАСТРУКТУРАТА”

Петър Валентинов Петлянков

**ИЗСЛЕДВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ВЗРИВНИТЕ РАБОТИ ПРИ
АВАРИЙНО - СПАСИТЕЛНИ ДЕЙНОСТИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
„доктор”**

Област на висшето образование: 5. „Технически науки“

Професионално направление: 5.13. „Общо инженерство“

Научна специалност: „Техника и технология на взривните работи“

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:

доц. д-р Марин Радославов Пашов

ВЕЛИКО ТЪРНОВО

2021 г.

Данни за дисертационният труд:

Брой на страниците - 120

Брой на фигурите - 22

Брой на литературните източници - 62

Брой на публикациите - 4

Брой на таблиците - 12

Защитата на дисертационния труд ще се състои на2021 г. от часа в катедра „Защита на населението и инфраструктурата“ при факултет „Общовойски“ на Национален Военен Университет „Васил Левски“.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в катедра „Защита на населението и инфраструктурата“ при факултет „Общовойски“ на Национален Военен Университет „Васил Левски“.

НАЦИОНАЛЕН ВОЕНЕН УНИВЕРСИТЕТ "ВАСИЛ ЛЕВСКИ"

ФАКУЛТЕТ „ОБЩОВОЙСКОВИ“

КАТЕДРА „ЗАЩИТА НА НАСЕЛЕНИЕТО И ИНФРАСТРУКТУРАТА”

Петър Валентинов Петлянков

**ИЗСЛЕДВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ВЗРИВНИТЕ РАБОТИ ПРИ
АВАРИЙНО -СПАСИТЕЛНИ ДЕЙНОСТИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
„доктор”**

Област на висшето образование: 5. „Технически науки“

Професионално направление: 5.13. „Общо инженерство“

Научна специалност: „Техника и технология на взривните работи“

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:

доц. д-р Марин Радославов Пашов

ВЕЛИКО ТЪРНОВО

2021 г.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита от разширен съвет на катедра „Защита на населението и инфраструктурата” при факултет „Общовойсков” на Национален Военен Университет „В. Левски”.

Докторантът е зачислен в задочна форма на обучение в катедра „Защита на населението и инфраструктурата” при факултет „Общовойсков” на Национален Военен Университет „В. Левски”.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в катедра „Защита на населението и инфраструктурата” при факултет „Общовойсков” на Национален Военен Университет „В. Левски”.

Автор: капитан Петър валеитинов Петлянков

Заглавие: „Изследване ефективността на взривните работи при аварийно-спасителни дейности“

Тираж: 10 броя

Отпечатан на: 2021г.

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на темата

Актуалността на изследването се определя от това, че взривните работи (ВР) отговарят на търсенето и практическата необходимост да се придобият определени способности и да се изпълняват задачи при провеждане на аварийно-спасителни дейности (АСД). Особено важно в настоящия етап при провеждане на операции е повишаването на ефективността за постигане на оптимални резултати.

Природните бедствия възникнали през последните години на територията на р. България, свързани с човешки жертви и огромни материални загуби, определиха необходимостта от засилване на ефективността при справянето с кризи от невоенен характер.

Българската армия изпълнява задачи свързани с участието ѝ в аварийно-спасителни операции, които са определени в „Закон за въоръжените сили на Република България” и „Плана на Българската армия за оказване на помощ на населението при бедствия”. В резултат на извънредни ситуации при бедствия, аварии и катастрофи в населените места и в обектите на икономиката може да има големи унищожени площи от инфраструктурата, пожарни зони, зони на радиоактивно замърсяване, наводнения, снегонавявания и др.

Изпълнението на тези задачи предполага проявата на усилия с висока степен на сложност, риск и значимост и е свързано с отчитане влиянието на множество фактори, с реализацията на професионални умения от различни области на практиката.

Характерната особеност на аварийно-спасителните операции, а по-точно на аварийно-спасителните дейности е, че те трябва да се извършат за кратко време с адекватни действия и системи за логистична и инженерна поддръжка. За спецификата на аварийно-спасителните дейности може да се каже, че те се определят от различни фактори. В един от случаите е адекватното действие след настъпването им, а в други това е необходимостта да се ограничи развитието на бедствието, аварията или катастрофата, за да предотврати евентуалното настъпване на катастрофални последици от възникването на нови пожари, експлозии, наводнения, свличания на земни или снежни маси, унищожаване на материални средства или до човешки загуби. В трети - бързото възстановяване на разрушената комунално-енергетична мрежа (електричество, газ, водопроводи и канализация) вследствие от бедствие, авария или катастрофа. Това се потвърждава с многобройни примери, както у нас така и в световен мащаб.

Съвременното ниво на развитие на взривната техника и технологии, както и значимото разширяване на употреба на взривното въздействие в различни сфери от материалното настояще и конкретно в областта на аварийно-спасителните дейности, изискват максималното и комплексно оптимизиране на методи, параметри и фактори за повишаване на ефективността ѝ с минимум негативни последици взривна обработка.

Анализът на резултатите от използването на взривни работи при аварийно-спасителни дейности показва приоритетно значение като един от основните способности за събаряне на потенциално опасни сгради и обекти, разчистване на свличане на земни маси, разчистване на натрупвания от несвързана маса и др.

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертационния труд е изследване на факторите, влияещи на ефективността на взривните работи и ограничаващи вредните въздействия на взрива при аварийно-спасителни дейности.

За постигане на формулираната цел са поставени за решаване следните изследователски **задачи**:

1. Изследване характеристиките на използваните взривни вещества, специални заряди и средства за взривяване.
2. Изследване ефективността и безопасността на прилаганите взривни технологии.
3. Организационни и технически мероприятия за ограничаване вредните въздействия на взрива.

Методи на изследването

При разработване на дисертационния труд са използвани следните **методи**: математическо моделиране, експериментален метод, теоретичен (дедуктивен) метод и метод на статистичния подход.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационния труд е в обем от 120 страници, 62 литературни източника и приложения.

Основните резултати от теоретичните и експерименталните изследвания са представени в 12 броя таблици и 22 броя фигури.

Дисертационния труд се състои от увод, три глави, основни изводи, научно-приложни и приложни резултати, списък на използваната литература и приложения.

Номерацията на формулите и фигурите в автореферата е съгласно оригиналния текст в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

УВОД

Уводът включва обща характеристика на дисертационния труд и представя състоянието и степента на разработване на научния проблем, като е обоснована актуалността на темата на изследване.

ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА НА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКАТА ЗАДАЧА

1.1. КЛАСИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ НА ЗАПЛАХИТЕ И ДЕЙНОСТИ ПРИ АВАРИЙНО-СПАСИТЕЛНИ ДЕЙНОСТИ

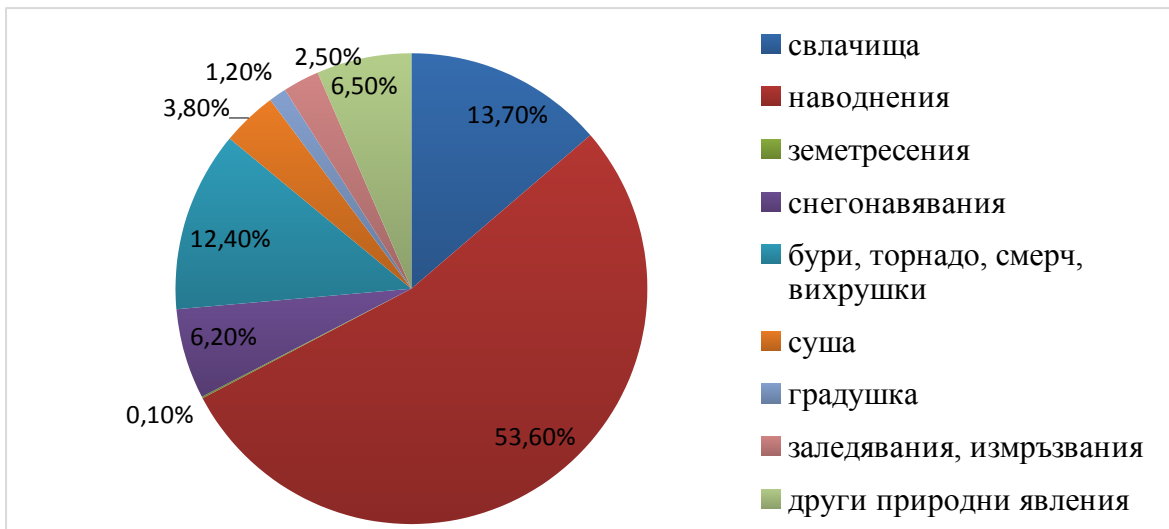
Сложната природо-географска структура на България и местоположението ѝ в област на висока сеизмична активност я прави уязвима към бедствия и аварии от природен и техногенен характер, които могат да предизвикат значителни човешки и материални загуби.

Природните бедствия са следствие от опасни геологически, метеорологически, хидрологически и други процеси.

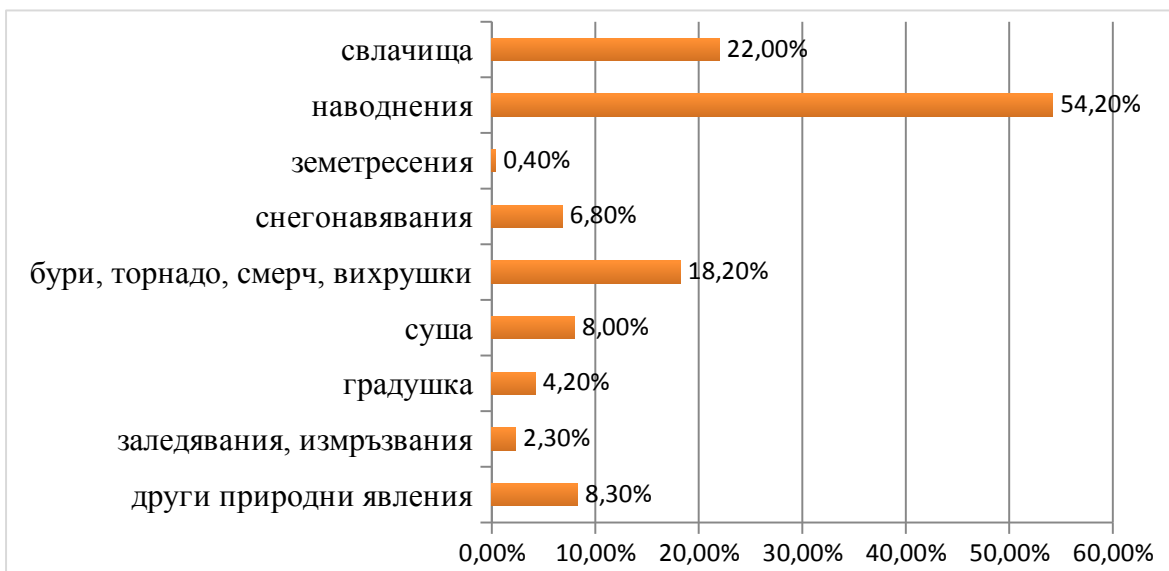
Техногенните рискове са резултат от дейността на съществуващи обекти с промишлено предназначение, ново промишлено строителство, разрушаващо природни екосистеми и негативно въздействие на консервирани обекти с потенциално опасни свойства.

Статистиката показва голяма честота на различните видове бедствия, засегнали страната ни през последното десетилетие, поради което България е в категорията на териториите, характеризиращи се с особено висока степен на риск в тази сфера.

Процентното разпределение на природните бедствия в общините и относителния дял на засегнатите общини от природни бедствия през 2016 г. са показани на фигура 1.1 и фигура 1.2.



Фиг. 1.1 Природни бедствия в общините през 2016г.



Фиг. 1.2 Относителен дял на природните бедствия, засегнали общините през 2016 г.

Опасностите според характера на пораждащите ги причини се подразделят на: антропогенни, природни и комбинирани. Антропогенните са предизвикани от непреднамерена и преднамерена човешка дейност. Изследванията на обществените процеси показват, че в последните десетилетия нараства непредсказуемостта на човешкото мислене и поведение и тя става съпоставима с поведението на природните стихии.

Задълбоченото изучаване на проблематиката спомага заплахите да се сведат до следните групи: природни, антропогенни, екологични, биологични, и социални.

Спасителните и неотложните аварийно-възстановителни работи представляват комплекс от многообразни процеси и операции, чието провеждане цели намаляване и предотвратяване на жертвите сред населението и материалните загуби в огнища на поражения, възникнали при терористични актове с употреба на оръжия за масово поразяване, стихийни природни бедствия, големи производствени аварии и мащабни транспортни катастрофи.

Основните задачи на спасителните и неотложните аварийно-възстановителни работи са провеждане на спасителни мероприятия и неотложни аварийно-възстановителни работи.

Изводът от анализа на рисковете и заплахите от бедствия за населението и околната среда в Република България е, че е възможно възникване на различни по вид бедствия, които могат да предизвикат значителни загуби на човешки и материални ресурси и да окажат неблагоприятно влияние на националната сигурност и стабилност в района. Прогнозата на възможните събития показва, че тяхното проявление ще доведе до сериозни затруднения в нормалната работа на инфраструктурата в районите на бедствия, ще се нарушат жизненоважни системи за управление и нормалното функциониране на националното стопанство и условията за живот на населението.

1.2. АНАЛИЗ НА ТЕОРИЯТА НА ВЗРИВНИТЕ РАБОТИ

В литературата под явлението взрив се разбира много бързо превръщане на дадено вещество или смес от вещества от едно състояние в друго, което се съпровожда с отделяне на топлина и образуване на газове и пари, способни да извършват механична работа по разрушаването и преместване на околната среда.

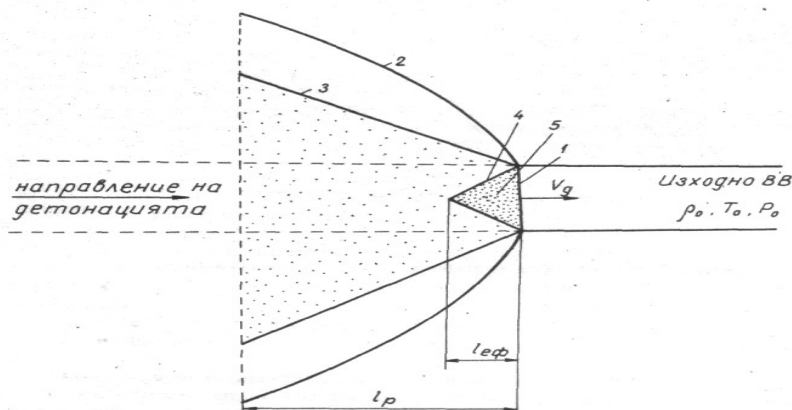
Известни са различни случаи на допуснати човешки грешки при изпълнение на взривни работи и съхраняване на взривни вещества и материали:

- аварии в складови райони на формированията на Българската армия и на фирмите, произвеждащи и складиращи взривоопасни материали;
- недостатъчна прецизност (неточност) при определяне количеството на взривните вещества взривни вещества;
- неспазване на безопасното разстояние при разлитане на късове и пораженията на въздушно-ударната вълна;
- отравяне с токсични газове, пари, аерозоли и прахове и летален изход за хората в опасната зона след провеждане на взривни работи;
- неподходящи материали при направа на покритие за ограничаване на разлитането на късове;
- нарушаване на мерките за безопасност при извършване на взривни работи в неподходящи метеорологични условия;
- чести случаи на отказали заряди поради продължителен престой на взривни работи в обводнена среда или липса на дублиращи (осигуряващи) мрежи;
- неправилно разчитане на последователността на взривяване на зарядите вследствие на което се получава голямо количество осколки и силна въздушно-ударна вълна;
- неточности при изготвянето на проекти за пробивно-взривни работи.

Съгласно хидродинамичната теория детонация е бързото химическо превръщане, което се съпровожда с разпространение на ударна вълна във взривните вещества. На фронта на ударната вълна рязко се увеличават: плътността (ρ), налягането (p) и температурата (T).

При детонацията е позната освен ударна и детонационна вълна.

Под детонационна вълна се разбира съвкупността на ударната вълна и прилягащата към нея зона на реакцията на взривното химическо превръщане. На фиг.1.3 е дадена схема на детонацията на открит заряд.



Фиг. 1.3. Схема на детонация на открит заряд

1 - фронт на детонационната пълна; 2 фронт на ударната вълна; 3 - фронт на разширение на продуктите на взрива; 4 - фронт на вълната на разреждане; 5 - неразширил се обем на газовете; - зона на химическата реакция; - ефективна част на зоната на химическата реакция.

Прието е да се говори за технология на различните начини на взривяване, като технология, това е комплекс от операции, които се извършват в определена последователност.

Изборът на начина на взривяване зависи от изискванията на Правилника по безопасността на труда при взривните работи чл. 95 и наличните средства за взривяване (електродетонатори, детониращ шнур или капсул детонатори и вълноводи).

1.3. СЪЩЕСТВУВАЩИ МОДЕЛИ ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ В ТВЪРДА СРЕДА

1.3.1. СЪЩЕСТВУВАЩИ МОДЕЛИ ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ В ПОЧВИ

Взривните работи в почви се извършват чрез:

- разрушаване и изхвърляне на почвите;
- раздробяване на почвите без изхвърляне;
- образуване на дупки (кухини в почвите).

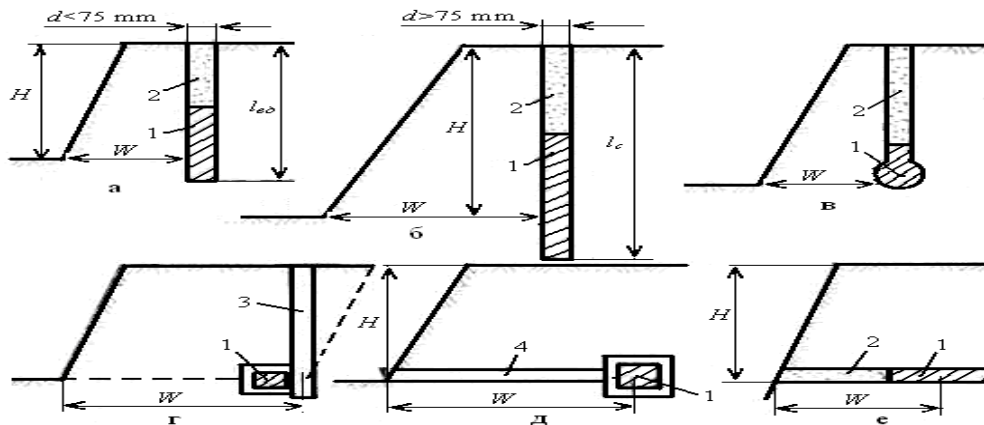
В съответствие с изброените начини за извършване на взривни работи в почви използваните за тази цел взривни заряди се делят на следните видове:

- заряди за изхвърляне;
- заряди за раздробяване;
- камуфлети (заряди за образуване на дупки).

В литературата са познати мероприятия, свързани с подготовката и зареждането на зарядната празнина. Тя може да бъде взривна дупка, сондаж, котлова и камерна кухи-

на. В зависимост от вида и формата на зарядната празнина известни са следните методи (фиг. 1.4):

- метод на зарядите поставени във взривни дупки;
- метод на зарядите поставени в сондажи;
- метод на зарядите поставени в котли (гърнета);
- метод на зарядите поставени в камери;
- метод на открития заряд.



Фиг. 1.4. Схеми на заряди в зависимост от формата на зарядната празнина
 а/ заряд във взривна дупка; б/ заряд в сондаж; в/ заряд в котловидна
 празнина; г, д/ заряд в камера; е/ заряд в малка камера; 1-заряд; 2-забивка;
 3-отвесен изкоп; 4-галерия

1.3.2. СЪЩЕСТВУВАЩИ МОДЕЛИ ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ ЗА РАЗРУШАВАНЕ НА ТУХЛЕНИ БЕТОННИ И СТОМАНОБЕТОННИ КОНСТРУКЦИИ

В литературата според вида и технологията, приета за разрушаването им са познати четири основни метода за разрушаване:

- външни и вътрешни заряди;
- контактни и неконтактни заряди;
- метод на зарядите във взривни дупки;
- метод на малките заряди.

Методът на разрушаване се определя от материалът, дебелина, взривните материали, наличните средства за пробиване и условията, при които ще се извърши взривяването.

Методът на съсредоточените външни контактни заряди, се прилага рядко при разрушаване на тухлени конструкции с дебелина по-малка от 0,5 m и конструкции от бетон и стоманобетон с дебелина по-малка от 0,4 m.

Зарядите се поставят до основата в един ред, а разстоянието между тях a не трябва да превишава удвоената дебелина на стената b_{cm} , т.е. $a \leq 2 \cdot b_{cm}$.

Метод на зарядите във взривни дупки се характеризира с по-голямо разпръскване на раздробения материал и по-голям разход на експлозив, отколкото методът на малките заряди. При него се използват взривни дупки с диаметър до 52 mm и дълбочина до 3 m.

Параметри на пробивно-взривните работи са: линия на най-малкото

съпротивление W , разстояние между взривните дупки в ред a , разстояние между редовете b , дължина на взривната дупка $l_{\text{вд}}$, маса на заряда Q и др. Нормалната дълбочина на пробиване на взривната дупка $l_{\text{вд}}$ е $2/3$ от дебелината на стената.

При метода на малките заряди разстоянията между взривните дупки и редовете е ограничено и намалено. Времето за действие на взривния процес е увеличено чрез използване на т.н. малки заряди и разредоточената конструкция на зарядите.

Методът намира приложение при взривни работи в населени места, промишлени и жилищни сгради и в близост до обекти, комуникации и техника. Взривните работи се изпълняват с особена прецизност, а параметрите се моделират с голяма точност.

Параметри на пробивно-взривните работи са: линия на най-малкото съпротивление W , разстояние между взривните дупки в ред a , разстояние между редовете b , дължина на взривната дупка $l_{\text{вд}}$, маса на заряда Q , брой на зарядите и др.

1.4. ИЗВОДИ, ЦЕЛ, ЗАДАЧИ, ОГРАНИЧЕНИЯ И МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО ОТ ГАВА ПЪРВА

ИЗВОДИ ОТ ГАВА ПЪРВА

Проведения анализ на аварийно-спасителните дейности и взривните работи позволява да се направят следните изводи:

1. В известните източници съществува ограничена информация за изследвания на използването на взривни вещества с цел повишаване ефективността на взривните работи при аварийно-спасителни дейности.
2. В анализирания източници съществува ограничена информация за предлаганите методи при ликвидиране на последствията от бедствия, аварии и катастрофи с използване на взривни материали.
3. В недостатъчна степен са предложени методи за ограничаване на ударната вълна и разлитането на късове при използване на взривни работи в аварийно-спасителни дейности.

ГЛАВА 2. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ВЗРИВНИ ВЕЩЕСТВА, СПЕЦИАЛНИ ЗАРЯДИ И СРЕДСТВА ЗА ВЗРИВЯВАНЕ ПРИ АВАРИЙНО-СПАСИТЕЛНИ ДЕЙНОСТИ

2.1. ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ОБЕМА И ХАРАКТЕРА НА РАЗРУШЕНИЯТА ПРИ БЕДСТВИЯ, АВАРИИ И КАТАСТРОФИ

Основната задача на този етап е да се определят обемът и характерът на затрупванията, от които зависят видът и броят на средствата за механизирани на СНАВР. В резултат на пълно разрушаване на жилищни сгради на всеки 1000 m^3 строителен обем се образуват $350 - 500 \text{ m}^3$ затрупвания, а при промишлени сгради $50 - 200 \text{ m}^3$. Съставът им зависи от материала на конструкцията и типа на сградата, а структурата им – и от големината на налягането на разрушителната (ударна или сеизмична) вълна. В зависимост от съдържанието на основната маса от отломки затрупванията се свеждат до три основни типа:

Първи тип: Затрупвания, които се състоят от отломки на стоманообетонни и бетонни елементи и конструкции (стманобетонни затрупвания).

Втори тип: Затрупвания, които се състоят от отломки на стоманобетонни и бетонни елементи, примесени с отломъци от разрушени тухлени стени (смесени затрупвания).

Трети тип: Затрупвания, които се състоят от тухлени блокове, тухлени отломки с дървени, метални и други съставки (тухлени затрупвания).

В таблица 2.1 са представени данни за състава на затрупванията при разрушаване на някои типове сгради.

В зависимост от структурата затрупванията се класифицират също на три типа (таблица 2.2). В таблица 2.3 са дадени данни за структурата на затрупванията в зависимост от налягането на ударната вълна. Обемната маса на затрупванията зависи от материала на конструкцията на сградите, както и от структурата им. Тя може да се изменя от 1,1 до 1,6 t/m³

Състав на затрупванията в зависимост от типа на сградата

Таблица 2.1

Състав на затрупванията	Съдържание на елементите на затрупванията при разрушаване на различни сгради (% от общия обем)			
	тухлени		едропанелни	дървени
	жилищни	промишлени		
Тухлени блокове, раздробени тухли	50	25	-	13
Отломъци от стоманобетонни и бетонни елементи	15	62	80	-
Дървени елементи	30	3	18	85
Метални конструкции	5	10	2	2

Класификация на затрупването в зависимост от структурата на разрушенията

Таблица 2.2

Тип	Съдържание на отломъци (% от общия обем) в зависимост от обема на елементите на затрупването				Плътност, %
	по-голям от 0,8 m ²	0,5 - 0,8 m ²	0.1—0,5 m ²	по-малък от 0.1 m ²	
Първи	5 - 10	45 - 55	25 - 35	5 - 15	60 - 70
Втори	5	25 - 35	25 - 35	30 - 40	45 - 55
Трети	-	5 - 10	15 - 25	60 - 80	40

Основните параметри на затрупванията са височината и разстоянието на разлитане на отломки. Данни за тези параметри са дадени в таблица 2.4. От нея се вижда, че при налягане 40 - 50 кРа разстоянието на разлитане е приблизително половината от височината на сградата. При налягане от 100 - 120 кРа това разстояние се увеличава с 2,5 до 3 пъти, а височината на затрупванията за еднотипни сгради намалява с 1,75 до 2 пъти. Данните от таблица 2.4 са за жилищни сгради. Тази височина при разрушаване на промишлени сгради е 1,5 - 2 пъти по-малка.

Структура на затрупванията в зависимост от налягането на ударната вълна

Таблица 2.3

Налягане, кРа	Съдържание на отломъците с различен в затрупванията обем		
	> 0,5 m ³	0.1 - 0,5, m ³	<0.1 m ³
10 - 30	50	40	10
30 - 100	30	40	30
Повече от 100	10	20	70

Параметри на затрупването при разрушаване на жилищни сгради

Таблица 2.4

Брой на етажите	Разстояние на излитане (в числителя), m, на отломъците и височината на затрупването (в знаменателя), m, при налягане, кРа							
	40	60	80	100	40	60	80	100
	тухлени сгради				едропанелни сгради			
	<i>По направление на ударната вълна</i>							
2 - 3	$\frac{7}{3}$	$\frac{10}{2}$	$\frac{13.5}{2}$	$\frac{13}{2}$				
4 - 6	$\frac{10}{5}$	$\frac{15}{4}$	$\frac{21}{3}$	$\frac{28}{3}$	$\frac{13.5}{4}$	$\frac{21.5}{3}$	$\frac{28}{3}$	$\frac{40}{2}$
8 - 10	$\frac{14}{7}$	$\frac{22}{5}$	$\frac{30}{4}$	$\frac{41}{4}$	$\frac{21}{5}$	$\frac{31}{4}$	$\frac{41}{4}$	$\frac{56}{3.5}$
	<i>Перпендикулярно по направлението на действие на ударната вълна</i>							
2 - 3	$\frac{6.5}{3}$	$\frac{9}{2.5}$	$\frac{10.8}{2}$	$\frac{12.5}{2}$	-	-	-	-
4 - 6	$\frac{8.5}{5}$	$\frac{11.5}{4.5}$	$\frac{14}{4}$	$\frac{16}{4}$	$\frac{11}{5}$	$\frac{14}{4}$	$\frac{16}{4}$	$\frac{18}{3}$
8 - 10	$\frac{11}{8}$	$\frac{14}{7}$	$\frac{16}{6}$	$\frac{18}{6}$	$\frac{13.5}{7}$	$\frac{16.5}{6}$	$\frac{18}{6}$	$\frac{21}{5}$

Непрекъснати затрупвания с приблизително еднаква височина се образуват при налягане, по-високо от 100 - 120 кРа. В таблица 2.5 са представени данни за височината на непрекъснати затрупвания, които се образуват при разрушаване на тухлени сгради в

зони с налягане, по-голямо от 100 кРа. В райони с висока плътност на застрояване такива затрупвания се образуват и при по-малко налягане. В този случай височината на затрупването е променлива, като максималните стойности се наблюдават в границите на контурите на разрушените сгради.

Височина на непрекъснати затрупвания

Таблица 2.5

Брой на етажите	Височина на непрекъснати затрупвания, m, в жилищни квартали (в числителя) и промишлени обекти (в знаменателя) при			
	Плътност на застрояване, %			
	40	60	80	100
$\frac{7}{6-7}$	$\frac{0,9}{0,4-0,6}$	$\frac{1,1}{0,6-0,7}$	$\frac{1,4}{0,7-0,9}$	$\frac{1,8}{0,9-1,2}$
$\frac{14}{12-15}$	$\frac{1,9}{0,9-1,3}$	$\frac{2,1}{1,1-1,4}$	$\frac{2,7}{1,4-1,8}$	$\frac{3,9}{1,9-2,6}$
$\frac{20}{20-24}$	$\frac{2,7}{1,4-1,8}$	$\frac{3,1}{1,5-2,0}$	$\frac{3,9}{1,9-2,6}$	$\frac{5,7}{2,8-3,5}$

Характерът на затрупванията на улиците зависи от големината на налягането на ударната вълна, ширината им, броя на етажите на сградите, типа им и ориентацията по отношение на центъра на взрива. Ориентировъчна оценка на степента на затрупване на улиците може да се направи по данните от таблица 2.5. В нея са посочени усреднени значения на налягането на ударната вълна, при които се образуват непрекъснати натрупвания. В зоните, където налягането във фронта на ударната вълна е по-малко от това, което е посочено в таблица 2.6, е възможно да се образуват местни затрупвания на улиците, ако сградите получат разрушения от средна и по-висока степен.

Налягане на ударната вълна, при което се образуват непрекъснати затрупвания

Таблица 2.6

Брой на етажите на сградите по направление на улиците	Средна големина на налягането на ударната вълна, при която се получават непрекъснати затрупвания, кРа		
	вътрешно квартални улици с ширина 10 - 20 m	районни магистрални улици с ширина 20 - 35 m	градски магистрални улици с ширина 40 - 60 m
2 - 3	50	90	120
4 - 5	40	70	110
6 - 7	30	50	110
8 - 10	25	40	110

При различни видове бедствия, аварии и катастрофи не всички сгради са окончателно разрушени. Остават отделни елементи или цели сгради с нарушена здравина на конструкцията, които са потенциално опасни. Същите е необходимо да бъдат разрушени своевременно с прилагане на взривна технология.

2.2. МЕТОДИ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ В ТВЪРДА СРЕДА

2.2.1. МЕТОДИ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ ПРИ КОНСТРУКЦИИ ОТ ТУХЛИ, КАМЪК, БЕТОН И СТОМАНОбЕТОН

В литературата според вида и технологията, приета за раздробяването и разрушаването на тухлени, бетонни и стоманобетонни конструкции са познати четири основни метода за разрушаване:

- външни и вътрешни заряди;
- контактни и неконтактни заряди;
- метод на зарядите във взривни дупки;
- метод на малките заряди.

Методът на разрушаване се определя от материалът, дебелината, взривните материали, наличните средства за пробиване и условията, при които ще се извърши взривяването.

Методът на съсредоточените външни контактни заряди, се прилага при разрушаване на тухлени конструкции с дебелина по-малка от 0,5 m и конструкции от бетон и стоманобетон с дебелина по-малка от 0,4 m.

Зарядите се поставят до основата в един ред, а разстоянието между тях a не трябва да превишава удвоената дебелина на стената b_{cm} , т.е. $a \leq 2 \cdot b_{cm}$.

За забивка може да се използват чували, напълнени с пръст и други помощни материали.

Масата на зарядите Q се определя по формулите:

- за тухлени стени

$$(2.1) \quad Q_m = 1,2 \cdot \beta \cdot b_{cm}, \text{ kg}$$

- стени от бетон

$$(2.2) \quad Q_o = 1,5 \cdot \beta \cdot b_{cm}, \text{ kg}$$

- стени от стоманобетон

$$(2.3) \quad Q_{cmo} = 5,5 \cdot \beta \cdot b_{cm}, \text{ kg}$$

където β е коефициент, зависещ от забивката (при заряди със забивка

$\beta = 5$, а без забивка $\beta = 9$);

b_{cm} – дебелина на стената, m.

При дебелина на стените по-вече от 0,5 m, за да се намали количеството взривни материали е целесъобразно съсредоточените заряди да се поставят в ниши и взривни дупки, а удължените заряди – в улеи (бразди).

Масата на зарядите, поставени в ниши и улеи, се изчисляват по формулите:

- за съсредоточени заряди

$$(2.7) \quad Q = 1,2 \cdot \beta \cdot b_{cm}, \text{ kg}$$

- за удължени заряди

$$(2.8) \quad Q_y = 0,5 \cdot 5 \cdot 0, \beta \cdot b_{cm} \cdot l_{cm}, \text{ kg}$$

И за двата вида заряди се приема $\beta = 3,5$.

Метод на зарядите във взривни дупки се характеризира с по-голямо разпръскване на раздробения материал и по-голям разход на експлозив, отколкото методът на малките заряди. При него се използват взривни дупки с диаметър до 52 mm и дълбочина до 3 m.

Параметри на пробивно-взривните работи са: линия на най-малкото съпротивление W , разстояние между взривните дупки в ред a , разстояние между редовете b , дължина на взривната дупка $l_{вд}$, маса на заряда Q и др.

Нормалната дълбочина на пробиване на взривната дупка $l_{вд}$ е $2/3$ от дебелината на стената.

Линията на най-малкото съпротивление W се приема

$$(2.9) \quad W = 0,5 \cdot b_{cm} \quad , \text{ m}$$

Масата на заряда $Q_{вд}$ се определя по формулата

$$(2.10) \quad Q_{вд} = q \cdot W^3, \text{ kg}$$

където W е линията на най-малко съпротивление, m;

q – относителен разход на експлозива, kg/m^3 (табл. 5.6).

За тухлени и бетонни стени разстоянието между взривните дупки a е

$$(2.11) \quad a_m = a_{\sigma} = l_{вд} \quad , \text{ m}$$

а разстоянието между редовете b е

$$(2.12) \quad b_{m,\sigma} = a_{m,\sigma}, \text{ m}$$

При стоманобетонни стени

$$(2.13) \quad a_{cm\sigma} = b_{cm\sigma} = (0,5 - 0,7) \cdot l_{вд}, \text{ m}$$

Дължината на заряда l_z се определя от зависимостта

$$(2.14) \quad l_z = (2/3 - 1/2) \cdot l_{вд}, \text{ m}$$

Фактичката дължина на взривната дупка $l_{вд\phi}$ е

- за свободно стоящи стени

$$(2.15) \quad l_{вд\phi} = \dot{\iota} \frac{l_z + b_{cm}}{2}, \text{ m}$$

- за едностранно запънати стени

$$(2.16) \quad l_{вд\phi} = \dot{\iota} \frac{b_{cm}}{2} + l_z, \text{ m}$$

Стойности на относителният разход на експлозива q

Таблица 2.8

Дебелина на разрушаваната стена b_{cm} , m	Дълбочина на взривната дупка $l_{вд}$, m	Стойности на относителният разход на експлозива q , kg/m^3 (за амонит №6)		
		за тухлени стени	за стени от бетон	за стени от стоманобетон
0,45	0,30	2,20	2,40	2,60
0,50	0,33	1,98	2,16	2,34
0,60	0,40	1,65	1,80	1,95
0,70	0,47	1,43	1,56	1,69
0,80	0,57	1,10	1,20	1,30
0,90	0,60	1,00	1,08	1,17
1,00-1,30	0,67-0,87	0,80	0,96	1,04
1,30-1,50	0,87-1,00	0,77	0,84	0,91
1,50-1,70	1,07-1,13	0,72	0,78	0,80
1,70-1,90	1,20-1,27	0,55	0,60	0,65

Дебелина на разрушаваната стена b_{cm} , m	Дълбочина на взривната дупка $l_{вд}$, m	Стойности на относителният разход на експлозива q , kg/m ³ (за амонит №6)		
		за тухлени стени	за стени от бетон	за стени от стоманобетон
1,90-2,50	1,27-1,67	0,44	0,48	0,48

При метода на малките заряди разстоянията между взривните дупки и редовете е ограничено и намалено. Времето за действие на взривния процес е увеличено чрез използване на т.н. малки заряди и разсредоточената конструкция на зарядите.

Методът намира приложение при взривни работи в населени места, промишлени и жилищни сгради и в близост до обекти, комуникации и техника. Взривните работи се изпълняват с особена прецизност, а параметрите се моделират с голяма точност.

Параметри на пробивно-взривните работи са: линия на най-малкото съпротивление W , разстояние между взривните дупки в ред a , разстояние между редовете b , дължина на взривната дупка $l_{вд}$, маса на заряда Q , брой на зарядите и др.

Линията на най-малкото съпротивление W се приема

$$(2.17) \quad W = 0,5 \cdot b_{cm} \quad , \text{ m}$$

Разстояние между взривните дупки a е препоръчително да бъде

$$(2.18) \quad a = 0,5 \text{ m} \div 2 \cdot W, \text{ m}$$

Разстояние между редовете b се определя от зависимостта

$$(2.19) \quad b = 0,866 \cdot a \quad , \text{ m}$$

Максималните стойности за b при стоманобетонни стени са 0,43 m, а за тухлени и бетонни стени – 0,85 m.

За пълно раздробяване на стени взривните дупки се разполагат в няколко реда шахматно, а за непълно разрушаване на стени взривните дупки се разполагат в един ред.

Дължината на взривната дупка $l_{вд}$ се приема така, че зарядът да се постави в средата на стената при свободно стоящи стени и по-близо до запънатата част на едностранно свободно стоящи стени.

Фактичeskата дължина на взривната дупка $l_{вд.ф}$ при един малък заряд се определя:

- за свободно стоящи стени

$$(2.23) \quad l_{вд.ф} = \frac{b_{ст} + l_3}{2}, \text{ m}$$

- за едностранно свободно стоящи стени

$$(2.24) \quad l_{вд.ф} = \frac{b_{ст}}{2} + l_3, \text{ m}$$

Фактичeskата дължина на взривната дупка $l_{вд.ф}$ при два и повече малки заряда е

$$(2.25) \quad l_{вд.ф.} = l_{зар} + l_{заб} + r_{мз}, \text{ m}$$

като

$$(2.26) \quad R_{мз} \leq l_{2.м.з.} + l_{0.м.з.}, \text{ m}$$

където $l_{\text{вд.ф}}$ е фактичката дължина на взривната дупка, m;

$l_{\text{заб}}$ – дължина на забивката, m;

$r_{\text{мз}}$ – разстояние между малките заряди, m;

$l_{\text{зар}}$ - дължина на заряда, m;

$l_{\text{г.м.з}}$ – дължина на горния малък заряд, m;

$l_{\text{д.м.з}}$ – дължина на долния малък заряд, m.

Дължината на заряда l_z е право пропорционална на масата и обратно пропорционална на диаметъра му.

В литературата като съществуващи модели за извършване на взривни работи в твърда среда са познати следните методи:

- метод на зарядите поставени във взривни дупки;
- метод на сондажното взривяване;
- методът на котловите заряди;
- метод на камерните заряди;

Методът на зарядите поставени във взривни дупки се прилага при разрушаване на скали, за добиване на ценни полезни изкопаеми, не-големи изкопи и раздробяване на негабаритни скални късове. Той осигурява равномерно раздробяване и се характеризира със слабо сеизмично действие на взрива, голям обем пробивни работи и трудоемкост при зареждането.

Основни параметри, които предварително трябва да бъдат изчислени са: линия на най-малкото съпротивление, маса на заряда и разстояние между редовете и между взривните дупки в ред.

Линията на най-малкото съпротивление се определя по формулата:

$$(2.27) \quad W_n = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{P}{q \cdot m}}, \text{ m}$$

където P е вместимост на метър линеен от взривната дупка, kg/m (табл.1.2);

m - относително разстояние между зарядите: при огнево взривяване

$m = 1,2 - 1,5$; при закъснително взривяване $m = 1,0 - 1,4$; при мигновено взривяване $m = 0,8 - 1,1$ m.

q - относителен разход на взривно вещество, kg/m³.

Дълбочината на взривната дупка е в зависимост от височината на стъпалото и дълбочината на преудълбаването:

$$(2.28) \quad l_{\text{вд}} = H + l_{\text{пр}}, \text{ m}$$

където: H - височина на стъпалото, m;

$l_{\text{пр}}$ - дълбочина на преудълбаването, m.

Разстоянието между зарядите в ред може да се приеме:

$$(2.29) \quad a = m \cdot W, \text{ m}$$

където a разстоянието между редовете:

- при мигновено взривяване:

$$(2.30) \quad b = 0,85 \cdot W, \text{ m}$$

- при милисекундно взривяване:

$$(2.31) \quad b = W, \text{ m.}$$

Масата на заряда се определя по формулата:

$$(2.32) \quad Q_{\text{ед}} = q \cdot a \cdot W \cdot H, \text{ kg}$$

където $Q_{\text{ед}}$ е маса на заряда за една взривна дупка, kg;
 q - относителен разход взривно вещество, kg/m³;
 a - разстояние между взривните дупки, m;
 W - линия на най-малкото съпротивление, m;
 H - височина на стъпалото, m.

Друг метод е този на сондажното взривяване. Този метод, в сравнение с метода на взривните дупки съкращава обема на пробивните работи, намалява относителния разход на взривното вещество и повишава производителността на труда.

Основни параметри на пробивно-взривните работи при сондажното взривяване са: линия на най-малкото съпротивление, диаметър и дълбочина на сондажа, разстояние между редовете и между сондажите в ред, маса и конструкция на заряда.

Линията на най-малкото съпротивление е в зависимост от диаметъра на заряда, плътността на зареждане и относителния разход взривно вещество:

$$(2.33) \quad W = 24 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\Delta}{q}}, \text{ m}$$

където W е линията на най-малкото съпротивление, m;

D – диаметър на сондажа, m;

Δ - плътност на зареждане, kg/dm³;

q – относителен разход взривно вещество, kg/m³.

Плътността на зареждане на сондажите може да се приеме в границите:

- за взривни суспензии $\Delta = 0,8-1,2 \text{ kg/dm}^3$;

- за желирани взривни вещества $\Delta = 1,2-1,5 \text{ kg/dm}^3$;

- за патронирани взривни вещества $\Delta = 0,8-0,9 \text{ kg/dm}^3$;

- за пресовани взривни вещества $\Delta = 1,5-1,6 \text{ kg/dm}^3$;

- за гранулирани взривни вещества $\Delta = 0,8 \text{ kg/dm}^3$.

В литературата много автори препоръчват, W да се изрази с диаметъра на сондажа:

$$(2.34) \quad W = (30-40) \cdot d, \text{ m}$$

Изчислените стойности на W по горните формули се проверяват по условието на безопасност, от взривяването на зарядите от първи ред:

$$(2.35) \quad W \geq W_n = 3 + H \cdot \cotg \alpha, \text{ m}$$

където W_n е линията на най-малкото съпротивление, по отношение на първия ред;

H - височина на стъпалото, m;

α - ъгъл на откоса на стъпалото, градуси;

3 - минимално разстояние от първия сондажен ред до горния ръб на откоса на стъпалото, m.

При $W > W_n$ изчисленията се извършват с W , а при $W < W_n$ изчисленията се извършват с W_n .

Дължината на сондажа се определя по формулата:

$$(2.39) \quad l_c = H + l_{np}, \text{ m}$$

Разстоянието между зарядите в реда е в зависимост от относителното разстояние “ m ” ($m = 0,9 - 1,6$) и линията на най-малкото съпротивление “ W ”.

$$(2.40) \quad a = (0,9 - 1,6) \cdot W, \text{ m}$$

Изборът на стойността на коефициента “ m ” зависи от категорията на скалата, степента на раздробяване и схемата на разположение на сондажите. При трудно взривяеми скали се допуска $m < 1,2$; при средно взривяеми – $m = 1,2$ и при лесно взривяеми $m > 1,2$.

Разстоянието между редовете е в зависимост от геометричните размери на мрежата:

- при квадратна мрежа $b = a$;
- при правоъгълна мрежа $b = W$;
- при шахматна мрежа $b = 0,865 \cdot a$.

В литературата се препоръчва разстоянието между редовете при милисекундно взривяване да се приеме в границите $b = (0,9 - 1,0) \cdot a$ и за мигновеното взривяване $b = 0,865 \cdot a$.

Броят на редовете е в зависимост от широчината на разрушавания скален масив и разстоянието между редовете:

$$(2.41) \quad N_p = \frac{B}{b} - 1$$

където N_p е брой на редовете, бр.;

- B – широчина на скалния масив, m;
- b – разстояние между редовете, m.

Броят на сондажните дупки в ред е в зависимост от дължината на скалния масив, който трябва да се разруши и разстоянието между сондажите в ред:

$$(2.42) \quad N_{cp} = \frac{L}{a}$$

където N_{cp} е брой на сондажите в един ред, бр.;

- L – дължина на скалния масив, m;
- a – разстояние между сондажите в реда.

При определяне масата на заряда да се използва формулата:

$$(2.43) \quad Q_c = q \cdot a \cdot W \cdot H, \text{ kg}$$

където Q_c е маса на сондажния заряд, kg;

- q – относителен разход взривно вещество, kg/m^3 ;
- W – линия на най-малкото съпротивление;
- H – височина на стъпалото.

При голяма височина на стъпалото и сравнително не голям наклон на откоса се използват наклонените сондажни дупки. Техните параметри се определят в последователност и с формули, както при вертикалните сондажи. При това:

$$(2.44) \quad l_c = \frac{H}{\sin \alpha} + l_{np}, \text{ m}$$

Конструкцията на заряда може да бъде непрекъсната и разсредоточена.

При непрекъсната колонкова конструкция на заряда, в дъното на сондажа се поставя $(1/4 - 1/5) \cdot Q_c$, след което се поставя боевикът, като отрязъка от детониращ шнур излиза над устието на сондажа не по-малко от 0,5 m.

При разсредоточената конструкция, масата на заряда е разделена на няколко заряда, като междините между тях са запълнени с плътен материал или с въздух.

Взривяването на зарядите може да се извърши по безкапсулен начин или по електрически начин, като във всеки заряд се поставя по един боевик (фиг.2.3).

Масата на заряда се определя по формулата:

$$(2.45) \quad Q_p = Q_o + Q_c + Q_e, \text{ kg}$$

където Q_p е маса на разсредоточения заряд, kg;

Q_o – маса на долния заряд, kg;

Q_c маса на средния заряд, kg;

Q_e маса на горния заряд, kg.

Масата на долния заряд трябва да бъде:

$$(2.46) \quad Q_o \leq 0,5 \cdot Q_p, \text{ а } Q_c = Q_e = 0,25 \cdot Q_p, \text{ kg}$$

Общата дължина на въздушните междини може да се приеме:

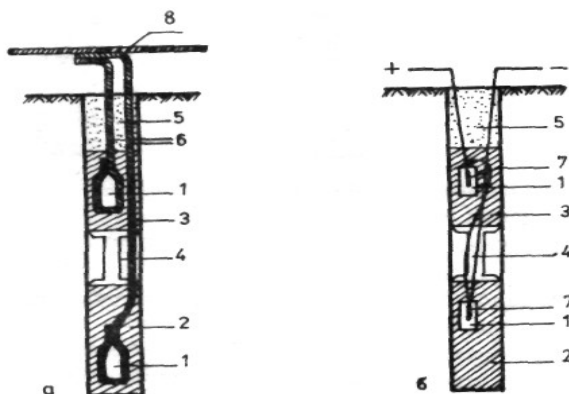
$$(2.47) \quad l_m = \alpha_m \cdot l_3, \text{ m}$$

където l_m е дължината на въздушните междини, m;

α_m – коефициент на междините.

В зависимост от якостта на скалите $\alpha_m = 0,15 - 0,35$

l_3 – дължина на заряда без междините, m.



Фиг.2.3. Колонкови разсредоточени заряди подготвени за взривяване.

а – разсредоточен заряд подготвен за взривяване по безкапсулен начин; **б** –

разсредоточен заряд подготвен за взривяване по електрически начин

1 – боевик; 2 – долен заряд; 3 – горен заряд; 4 – ограничител; 5 - забивка; 6 – отрязък от детониращ шнур; 7 – електродетонатор; 8 - магистрален детониращ шнур

Общата дължина на разсредоточения заряд е в зависимост от дължината на долния заряд, дължината на средния заряд, дължината на горния заряд и от дължината на междините.

Във всеки случай:

$$(2.48) \quad l_3 \leq l_c - 15 \cdot d_3, \text{ m}$$

където l_3 е дължина на разсредоточения заряд, m;

l_c – дължина на сондажа, m;

d_3 – диаметър на заряда, m.

Забивката трябва да има дължина не по-малка от $15 \cdot d_3$. Общата дължина на инертните междини и забивката заемат $(0,30 - 0,40) \cdot l_c$.

Методът на котловите заряди намира приложение, когато трябва да се преодолее голямо съпротивление в основата на стъпалото и за съкращаване обема на пробивните работи.

Котловият заряд (фиг.2.5) представлява съсредоточен заряд поставен в котлова празнина. Този начин на разрушаване се прилага при скали, които имат показател на прострелване $P_{np} > 5 \text{ dm}^3/\text{kg}$ (което се изразява в отношението между обема на котела и масата на прострелочния заряд).

Зарядът предназначен за образуване на котлова празнина се нарича прострелочен заряд, чиято маса се определя по формулата:

$$(2.49) \quad Q_{np} = \frac{Q_k}{P_{np} \Delta}, \text{ kg}$$

където Q_{np} е маса на прострелочния заряд, kg;

P_{np} - показател на прострелване, dm^3/kg ;

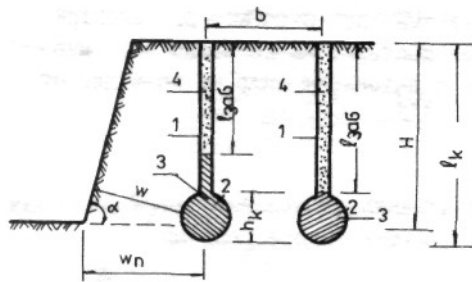
Q_k - маса на котловия заряд, kg;

Δ - плътност на зареждане, kg/dm^3 .

Показателят на прострелването се приема по справочни данни или по опитен път:

$$(2.50) \quad P_{np} = \frac{V_k}{Q_{np}}, \text{ dm}^3/\text{kg}$$

където V_k е обем на котела, dm^3 .



Фиг.2.4. Котлови заряд

1 - сондаж; 2 - котлова празнина; 3 - заряд; 4 - забивка

Котловата празнина се зарежда с прахообразни или водонапълнени взривни вещества. Отначало се поставя 75-85 % от масата на котловия заряд, после се поставя боевика и се досипва останалата част от заряда. При това над котловия заряд, в сондажа се поставя взривно вещество на височина $(5-10)d_3$.

Масата на котловия заряд и другите параметри на пробивно-взривните работи се определят по формулите:

$$(2.51) \quad Q = qW^3, \text{ kg}$$

$$(2.52) \quad W = kh, \text{ m}$$

където k е коефициент, зависещ от здравината на скалите: за здрави скали $k = 0,4 - 0,6$; за скали със средна якост $k = 0,5 - 0,7$; за слаби скали $k = 0,6 - 0,9$;

По-ниските стойности се приемат за по-здравите скали и височина на стъпалото над 14 m; W не трябва да е по-малко от 2,5 – 3 m.

$$(2.53) \quad a = k_1 W, \text{ m}$$

където κ_1 е коефициент, зависещ от якостта на скалите и необходимата степен на раздробяване; $\kappa_1 = 1,2 - 1,4$ за лесно взривяеми /монолитни едроблокови скали/; $\kappa_1 = 0,8 - 1,1$ за трудно взривяеми /силно напукани скали с хоризонтално залягане/.

$$(2.54) \quad b = \kappa_2 W, \text{ m}$$

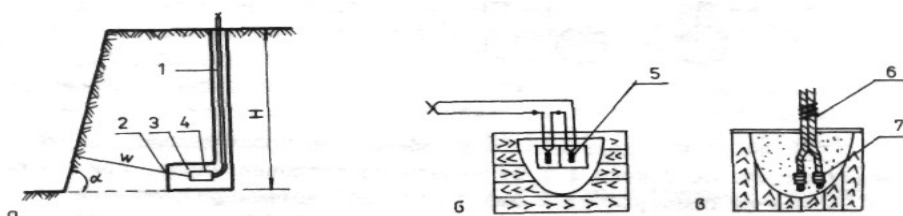
където κ_2 е коефициент, зависещ от начина на взривяване и якостта на скалите; $\kappa_2 = 0,9 - 1,1$ при мигновено взривяване; $\kappa_2 = 1,1 - 1,4$ при милисекундно взривяване.

Методът на камерните заряди се прилага в случай на разрушаване на голям обем скална маса. За целта за поставяне на съсредоточения заряд се изработва така наречената зарядна камера, с размери такива, че да се събере съответно количество взривно вещество (Фиг.2.5).

Масата на камерния заряд се определя по формулата:

$$(2.55) \quad Q_{\text{кз}} = qW^3, \text{ kg}$$

където q е относителен разход взривно вещество, kg / m^3 ;



Фиг.2.5. Камерен заряд

- а** - камерен заряд; **б** - боевик подготвен за взривяване по електрически начин; **в** - боевик подготвен за взривяване с възел от детониращ шнур.
 1 - кладенец; 2 - камера; 3 - заряд; 4 - боевик; 5 - електродетонатор; 6 - отрязък от детониращ шнур; 7 - възел от детониращ шнур.
 W - линия на най-малкото съпротивление, m.

Разстоянието между зарядите се определя по формулите:

- при еднаква линия на най-малкото съпротивление на съседните заряди:

$$(2.56) \quad a = mW, \text{ m}$$

- при различни значения на линията на най-малкото съпротивление на съседни заряди:

$$(2.57) \quad a = m \frac{W_1 + W_2}{2}, \text{ m}$$

където W_1 и W_2 са значения на линията на най-малкото съпротивление на два съседни заряда.

2.2.2. МОДЕЛИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТА НА СПЕЦИАЛНИ ЗАРЯДИ ПРИ АВАРИЙНО СПАСИТЕЛНИ ДЕЙНОСТИ

В литературата под понятието **заряд** се разбира определено количество експлозив подготвен за взривяване.

Масата на зарядите зависи от размерите на взривяваните обекти и вида на

материала, от който са изработени, като за всеки отделен случай се изчислява.

По форма зарядите са:

- съсредоточени;
- удължени;
- кумулативни;
- фигурни;

Според разположението на зарядите спрямо взривяваните обекти те са:

- вътрешни;
- външни.

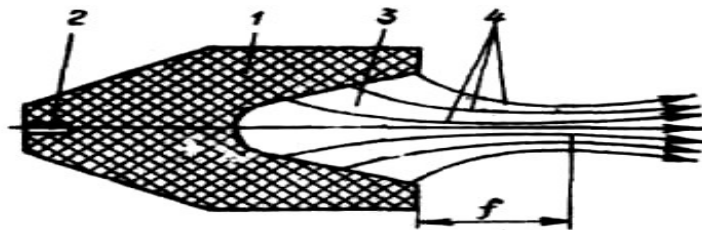
В зависимост от това, дали зарядите се поставят прилепнали плътно до взривявания обект или се разполагат на разстояние от тях са:

- контактни;
- неконтактни.

Иницирането на вътрешните заради е целесъобразно да се извършва по възможност по-близо до геометричния им център. Външните заряди с различна форма трябва да се иницират откъм страната противоположна на взривявания обект.

Най-голямо приложение в аварийно-спасителните дейности намират кумулативните заряди.

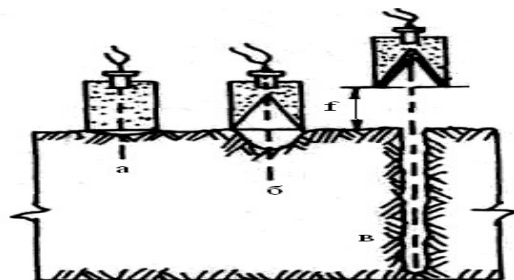
Кумулативните заряди се използват за пробиване на дебели метални листове, броневе и стоманобетонни съоръжения и др. При взривяване на КЗ се образува рязко насочена тясна струя с голяма концентрация на енергия, която осигурява силно пробивно и режещо действие на значителна дълбочина (фиг. 2.6).



Фиг. 2.6. Схема за образуване на кумулативна струя:

1-заряд от експлозив; 2-гнездо за КД; 3-кумулативна кухня; 4-траектория на газовите частици; f-фокусно разстояние

Същността на действието на кумулативните заряди е показана на фиг. 2.7. Ако един обикновен заряд се взриви върху дебела стоманена плоча, в нея се получава незначителна вдлъбнатина. При заряд със същите размери, но с конична кумулативна вдлъбнатина, при взрива в стоманената плоча се образува кратер с около 5 до 8 пъти по-голяма дълбочина в сравнение с първия случай.



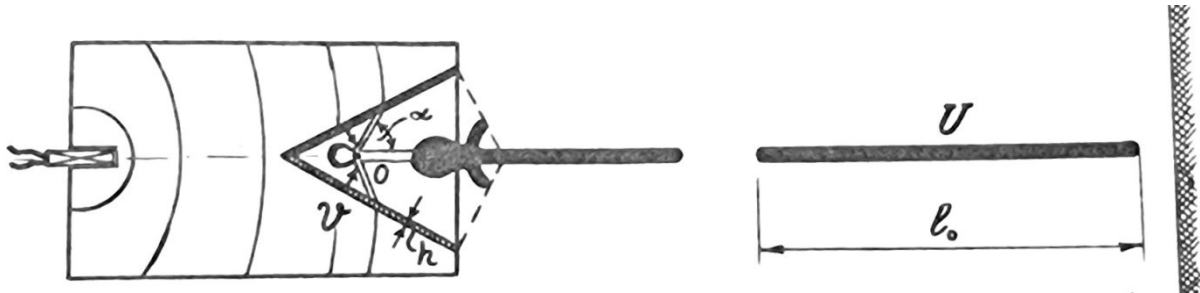
Фиг. 2.7. Действие на заряди по бронеплоча:

а/ обикновен заряд; б/ кумулативен заряд без облицовка на кухнята; в/ кумулативен заряд с медна облицовка

За да се формира физически модел на явлението на кумулативната струя е необходимо да се въведат някои предположения:

1. Тъй като под въздействието на огромно налягане, при което се образува кумулативна струя, металът се държи като течност. Приемаме, че енергията на деформация на обвивката е по-малка в сравнение с нейната кинематична енергия.

2. Приемаме, че плътността на металния корпус остава постоянна величина $\rho = Const$.



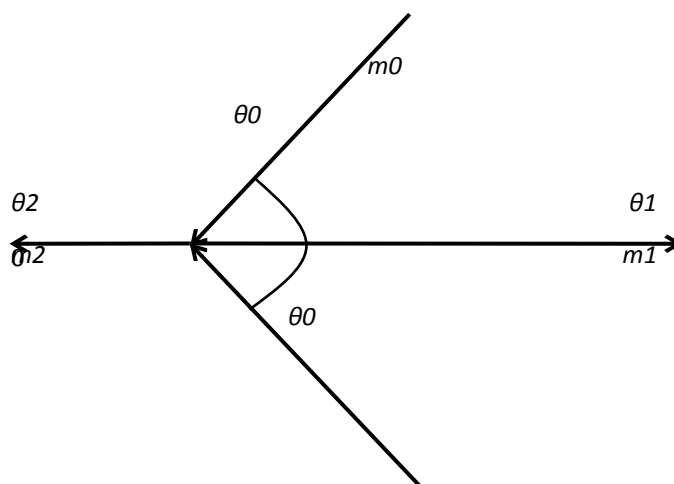
Фиг. 2.8. Действие на кумулативната струя:

h – дебелина на облицовката на кухината; v_0 – скорост с която частиците на облицовката влизат в точка „0“, ако тя е неподвижна ; v – скорост на частиците на облицовката ; U – скорост на кумулативната струя; l_0 – дължина на кумулативната струя.

Тези две предположения ни дават правото да считаме метала за идеална течност. Във връзка с това може да се приложи законът на хидродинамиката.

Ще разгледаме проблема в координатна система с начало във фиксирана точка

„0“ (всъщност тази точка се движи със скорост W спрямо относително неподвижна преграда).



Фиг. 2.9. Координатна система на кумулативната кухина:

h – дебелина на облицовката на кухината; v_0 – скорост с която частиците на облицовката влизат в точка „0“, ако тя е неподвижна ; v – скорост на частиците на облицовката ; U – скорост на кумулативната струя; l_0 – дължина на кумулативната струя.

Прилагаме три закона за запазване на физическия модел, за да получим математически модел.

а) Закон за съхранение на масите:

$$(2.58) \quad m_0 = m_1 + m_2;$$

б) Закон за съхранение на импулса:

$$(2.59) \quad J = \underbrace{m_2 v_2 - m_1 v_1}_{\square} - \underbrace{m_0 \cdot v_0 \cdot \cos \alpha}_{\square} = 0$$

$$(2.60) \quad m_2 v_2 - m_1 v_1 = m_0 \cdot \cos \alpha$$

в) Закон за съхранение на енергията:

$$(2.61) \quad \frac{m_0 v_0^2}{2} - \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

В получените три уравнения известните величини са: v_0, m_0, α , а неизвестните са - m_2, v_2, m_1, v_1 , тоест системата не е затворена. Като съпоставим формули 2.59 и 2.62, могат да бъдат заменени и да имат общо решение само ако:

$$(2.62) \quad v_0 = v_1 = v_2.$$

Така системата от уравнения приема следната форма:

$$(2.63) \quad \left. \begin{array}{l} m_2 + m_1 = m_0; \\ m_2 - m_1 = m_0 \cdot \cos \alpha. \end{array} \right\}$$

Като решим системата от уравнения, получаваме:


$$(2.64) \quad \left. \begin{array}{l} m_1 = m_0 \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}; \\ m_2 = m_0 \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2}. \end{array} \right\}$$

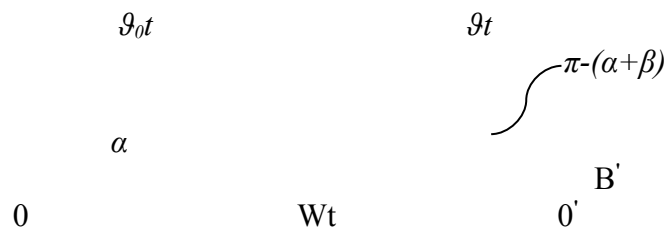
Тъй като ъгълът е остър, то масата която се разпръсква напред, е винаги по-малка от масата която се разпръсква назад.

Получените по-горе резултати са валидни за неподвижна координатна система, но всъщност самата точка „0” не се премества спрямо скоростта „W”.



В

β 



Съгласно синусовата теорема:

$$(2.65) \quad \frac{\vartheta t}{\sin \alpha} = \frac{Wt}{\sin \beta} = \frac{\vartheta_0 t}{\sin (\alpha + \beta)}$$

където:

$$(2.66) \quad W = \vartheta \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \alpha};$$

$$(2.67) \quad \vartheta_0 = \vartheta \cdot \frac{\sin (\alpha + \beta)}{\sin \alpha}.$$

Ако ъглите „ α ” и „ β ” са известни (а те са длъжни да бъдат зададени) и скоростта на преместването на частиците се обозначава с „ ϑ ”, то скоростите „ W ” и „ ϑ_0 ” са намерени.

$$(2.68) \quad U = W + \vartheta_1 = W + \vartheta_0;$$

$$(2.69) \quad U_x = W - \vartheta_2 = W - \vartheta_0$$

или

$$(2.70) \quad U = \frac{\sin \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right)}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

$$(2.71) \quad U_x = \frac{\cos \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right)}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

Бронепробиващият ефект на кумулативните заряди е процес на проникване на кумулативна струя в преграда и е подобен на обратния процес на образуване на кумулативна струя. Следователно, за да определите количествено характеристиките, могат да се използват формулите, получени по-горе.

2.3. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ В ТВЪРДА СРЕДА

2.3.1. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ В ТВЪРДА СРЕДА-ЕЛЕКТРИЧЕСКИ НАЧИН

Технологията на електрическия начин на взривяване е комплекс от последователни операции, които включват:

- проверка съпротивлението на електродетонаторите и калиброване с разлика от 0,25 Ω: I гр. 2,5 - 2,75 Ω; II гр. 2,75 - 3,0 Ω.
- избор и изчисление на електровзривната мрежа;
- проверка изправността на клоновете на електровзривната мрежа;
- изработване на боевици;
- изготвяне на зарядни устройства, зареждане и забивка;
- монтаж на електровзривната мрежа и проверка след изтегляне на всички хора;
- взривяване.

Взависимост от вида на използваните електродетонатори електрическото взривяване може да бъде мигновено, милисекундно и секундно. Всеки от тези случаи на взривяване има своите предимства и недостатъци и в практиката те намират приложение според специфичните особености на разрушавания обект и условията, при които се взривява.

Ефектът от милисекундното взривяване зависи от правилния подбор на интервала от закъснение. Той трябва да е равен на времето, необходимо на пукнатините, предизвикани от първата серия заряди, да станат максимално големи, без да се изчаква тяхното затихване. На основата на много производствени опити е установено, че интервала между взривите зависи от свойствата на разрушаваните материали и от линията на най-малкото съпротивление.

Определя се по формулата:

$$(2.72) \quad t = k \cdot w, \text{ m}$$

където k е коефициент, отчитащ свойствата на взривявания масив;

w – линия на най-малкото съпротивление.

С.А. Давидов препоръчва следните стойности на коефициента k : за много здрави скали $k = 3$; за здрави $k = 4$; за средно здрави $k = 5$ и за меки скали $k = 6$.

Ако изчисленият интервал t се различава от този на електродетонаторите, приемат се електродетонатори с приблизително същото време на закъснение.

2.3.2. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ В ТВЪРДА СРЕДА С НЕЕЛЕКТРИЧЕСКА СИСТЕМА ЗА ВЗРИВЯВАНЕ „НОНЕЛ“

Последователността на операциите на тази система е:

- поставяне на боевици с долно или горно инициране;
- зареждане на ВД, сондажа, котела или камерата с експлозив;
- свързване краищата на вълноводите на детонаторите NPED с повърхностните съединители;
- съединяване на магистралния вълновод с края на присъединителните елементи SL, ε клип, групиращ съединител или Snapline 0 и с машинката за взривяване „Диностарт“ (КД, ЕД и др.).

За инициране на полето първо се натиска бутон CHARGING – зареждане, докато светодиода на машината започне да свети непрекъснато. След това, държейки

бутона CHARGING натиснат се натиска и бутона FIRING – запалване.

Електронната система на взривяване е най-новата технология за извършване на взривни работи . При нея пиротехническото закъснително тяло в електрическите и неелектрическите детонатори се заменя с електронен чип. Закъснението получаващо с електронния чип е абсолютно точно без разсейване. Затова при прилагането на тази система се използват най-пълно ефектите на милисекундното взривяване.

Използването на електронната система на взривяване води до:

- намалява се почти два пъти сеизмичното действие на взрива вследствие пълната интерференция на вълните и изравняването на по-високи и по-ниски взривни пикове;
- по-добро раздробяване на материала, поради пълното взаимодействие на отделните заряди;
- намаляване на относителния разход на експлозива, поради по-пълното използване на енергия и др.

ИЗВОДИ ОТ ВТОРА ГЛАВА

От анализа и изследването на разгледаните средства за взривяване и методите и технологиите на взривяване са направени следните изводи:

1. Разчистването на затрупванията при бедствия, аварии и катастрофи е целесъобразно да бъде обвързано с методите и технологиите на взривяване и възможностите за използване на инженерна техника;
2. Методите на взривните дупки и малките заряди, както и закъсни-телното взривяване са с най-голям ефект за ограничаване вредните въз-действия на взрива;
3. Система „Нонел“ е съвременна неелектрическа система за взривяване, която повишава безопасността при работа и дава по – добри резултати по отношение на управлението и безопасността на взривните работи.

ГЛАВА 3. МЕТОДИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ВЗРИВНИТЕ РАБОТИ ПРИ АВАРИЙНО-СПАСИТЕЛНИ ДЕЙНОСТИ

3.1. ОПТИМИЗИРАНЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКИЯ МОДЕЛ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БЕЗОПАСНИТЕ РАЗСТОЯНИЯ НА ВРЕДНИТЕ ВЪЗДЕЙСТВИЯ НА ВЗРИВА

3.1.1 ОПТИМИЗИРАНЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКИЯ МОДЕЛ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БЕЗОПАСНИТЕ РАЗСТОЯНИЯ НА ВРЕДНИТЕ ВЪЗДЕЙСТВИЯ НА ВЗРИВА ПРИ УДАРНА ВЪЛНА

Разстоянието, на което ударно-въздушната вълна от заряди не нанася поражения с определена степен се изчислява по формулите:

$$(3.1) \quad R_y = K_m \sqrt{Q}, \text{ m}$$

$$(3.2) \quad R_y = K_n \sqrt{Q}, \text{ m}$$

където:

R_y е минимално допустимо разстояние, m;

Q е маса на заряда, kg;

K_m и K_n са коефициенти на пропорционалност, зависещи съответно от масата на зарядите и от характера на повредите.

Предлагат се трансформирани формули (3.3.) и (3.4) с коефициент K_3 – коефициент на забивката, зависещ от вида и свойствата на използваните материали.

$$(3.3) \quad R_y = K_3 K_m \sqrt{Q}, \text{ m};$$

$$(3.4) \quad R_y = K_3 K_n \sqrt{Q}, \text{ m}.$$

Стойностите на коефициентите K_m , K_n и K_3 за открит заряд се определят по таблица 3.1., като се спазват следните условия:

- За открити заряди, по-големи от 10t, по 1-ва, 2-ра и 3-та степен на безопасност и заряди, по-големи от 20t, които изцяло са вкопани, при 1-ва и 2-ра степен на безопасност се приема коефициент K_n и се използва формула 3.4.;
- За всички останали степени се използва формула 3.3;
- При избора на степента на безопасност и значенията на коефициентите се отчита цялата съвкупност от местни условия;
- Коефициентите в таблица 3.1. се дават в известни граници; една или друга стойност се избира в зависимост от състоянието на обекта, за който се определя радиусът на безопасната зона; колкото по-здрав е обектът, толкова по-малка стойност на коефициента може да се приеме;
- Заряд поставен във вода на дълбочина по-малка от половината от височината на заряда, се приема като открит заряд;
- Далекопроводите се отнасят към категорията на устойчивите конструкции по отношение на действието на ударно-въздушната вълна;
- Показателите на взривните вещества не се отчитат.

Ако защитаваният обект е разположен непосредствено зад преграда (в края на гъста гора, в подножието на хълм), стоящата на пътя на разпространение на ударно-въздушната вълна, разстоянието може да бъде намалено, но не повече от 2 пъти.

При извършване на взривни работи в тесни долини, проходи или между стени (улици) разстоянието се удвоява.

За намаляване на поразяващото действие на въздушно-ударната вълна може да се използват следните средства:

- Засипване на откритите заряди с прахообразна маса с височина най-малко 5 пъти височината на заряда и широчина не по-малко от 6 пъти височината на заряда в основата на засипването; в такива случаи радиусът на опасната зона може да бъде намален 4 пъти;
- За защита на остъкляването на сгради се свалят рамките на прозорците или се използват здрави щитове, плътно закриващи прозорците. Допуска се отваряне и закрепване на прозорците в отворено положение, което не изключва отделни поражения на остъкляването;
- Защита с чували от пясък или сандъци, напълнени с пясък или пръст.

Използването на чували и сандъци, пълни с пясък, се препоръчва да се прилага за защита на прозорци и врати в случаи, когато е необходимо да се защити от ударно-въздушната вълна вътрешното оборудване на сградата.

Стойности на коефициентите K_m , K_n и K_3

Таблица 3.1

Степен на безопасност	Възможни повреди	Открит заряд				Вътрешен заряд			
		Q, t	K_m	K_n	K_3	Q, t	K_m	K_n	K_3
1.	отсъствие на повреди	по-малко	50-150	-	0,9-0,92	по-малко	20-50	-	0,8-0,82

Степен на безо-	Възможни повреди	Открит заряд				Вътрешен заряд			
		Q, t	K _м	K _п	K _з	Q, t	K _м	K _п	K _з
		от 10				от 20			
		повече от 10	-	400	0,9-0,92	повече от 20	-	200	0,8-0,82
2.	случайни повреди по остъкляването	по-малко от 10	10-30	-	0,92-0,94	по-малко от 20	5-12	-	0,82-0,84
		повече от 10	-	60-100	0,92-0,94	повече от 20	-	50	0,82-0,84
3.	пълно разрушаване на остъкляването; частични повреди на рамките, вратите, нарушаване на мазилката и вътрешни леки прегради	по-малко от 10	5-8	-	0,94-0,96	-	-	-	0,84-0,86
		повече от 10	-	30-50	0,94-0,96	-	2-4	-	0,84-0,86
4.	разрушаване на вътрешни прегради, рамки, врати, бараки, навеси и др.	-	2-4	-	0,96-0,98	-	1-2	-	0,86-0,88
5.	разрушаване на дървени, тухлени постройки, преобръщане на железопътни състави	-	1,5-2	-	1	-	0,5-1	-	0,9

Радиусът на зоната опасна по действието на въздушно-ударната вълна за хора R_x , се изчислява по формулата:

$$(3.5) \quad R_x = 15 \sqrt[3]{Q}, m$$

където Q е маса на открития заряд, kg

Разстоянието по формула (3.5) се използва само, когато е необходимо максимално приближаване на хората до мястото на взривяване. В останалите случаи полученото разстояние следва да се увеличи 2-3 пъти. При наличие на укритие разстоянието изчислено по тази формула, може да се намали до 1,5 пъти.

При вътрешни заряди изчисленото разстояние по формула 3.3 може да се намали до 2-3 пъти.

3.1.2. ОПТИМИЗИРАНЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКИЯ МОДЕЛ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БЕЗОПАСНИТЕ РАЗСТОЯНИЯ НА ВРЕДНИТЕ ВЪЗДЕЙСТВИЯ НА ВЗРИВА ПРИ РАЗЛИТАНЕ НА КЪСОВЕ

Минимално допустимите безопасни разстояния за хора при разлитане на скални късове при взривяване на заряди в сондажи R_p , пресметнати на дробящо действие, се определя по формулата:

$$(3.6) \quad R_p = 1250 \cdot r_3 \sqrt{\frac{f}{1+r_{заб}} \cdot \frac{d}{a}}, \text{ m}$$

Предлага се трансформирана формула 3.9. с коефициент $K_{пл}$ - коефициент, зависещ от плътността на материала използван за забивка:

$$(3.9) \quad R_p = 1250 \cdot r_3 \sqrt{\frac{f}{1+r_{заб} \cdot K_{пл}} \cdot \frac{d}{a}}, \text{ m}$$

Стойностите на коефициента $K_{пл}$ са предложени в таблица 3.2.

Стойности на коефициента $K_{пл}$

Таблица 3.2

Вид на материала	Стойностите на коефициента $K_{пл}$
Едър кварцов пясък	1,20
Ситен кварцов пясък	1,25
Песъчливо-глинеста почва	1,30
Глинесто-песъчлива почва	1,40

При взривяване на серия заряди в сондажите с еднакъв диаметър с променливи параметри a , $r_{заб}$ и r_3 безопасното разстояние се пресмята по най-малките значения на a и $r_{заб}$ и най-голямото на r_3 от всички, намиращи се в дадената серия.

Ако взривявания участък от масива е от скали с различна здравина, при пресмятането на R_p се взема максималното значение на коефициента f .

При определяне на безопасните разстояния е необходимо да се отчитат възможните в процеса на пробивно-взривните работи отклонения на отделните параметри на взривяването на сондажните заряди от приетите в проекта. Затова R_p се определя, приемайки минимално възможните в процеса на извършване на взривни работи значения на параметрите a , $r_{заб}$ и максимално възможните за r_3 .

При провеждане на взривни работи на стръмни склонове и когато горната линия на взривявания участък е по-висока от останалите с повече от 30 m, радиусът на опасната зона в посока надолу се увеличава с безопасните разстояния по разлитането на отделните късове се изчисляват по формулата:

$$(3.10) \quad R_{раз.} = R_p \cdot K_p$$

където: $R_{раз.}$ е опасното разстояние по разлитане на отделни късове в страната на наклон на стръмния склон или местността, разположено по-ниско от 30m, считано от горната линия на взривявания участък;

K_p е коефициент отчитащ особеностите на релефа на местността; при взривяване на стръмен склон K_p се определя по формулата:

$$(3.11) \quad K_p = 1 + \operatorname{tg} \beta$$

където β е ъгълът на наклона на стръмния склон към хоризонта, градуси;

Когато вместо β е известно превишението на мястото на взрива над границите на опасната зона, K_p се определя по формулата:

$$(3.12) \quad K_p = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4H}{R_p}} \right), \text{ m}$$

където: H е превишението на горната линия на взривявания участък на границата на опасната зона.

Изчислената стойност на безопасното разстояние се закръглява към по-голямо число, кратно на 50 m.

Минимално допустимото безопасно разстояние за хора при разлитане на късове се предлага да се определя по таблица (3.3) в зависимост от показателя за действие на взрива на заряда (n) и дължината на линията на най-малкото съпротивление (W).

При взривяване на серия заряди с различни W и n , радиусът на опасната зона да се определя по таблица (3.3), като се приема най-голямото значение на W при еднакъв n или на-голямото значение на n при еднакви W . Ако W и n са променливи, се приема най-големия радиус при дадени n и W .

Ако се извършва взривяване на трасе със значителна дължина (500 m и повече), при което в различни части от него зарядите са с отличаващи се значения на W и n , условно цялото трасе се разделя на няколко участъка с близки или еднакви значения на W и n и на всеки участък се определя радиусът на опасната зона.

В резултат на проведен практически експеримент се предлагат следните стойности на показателя на действието на взрива на заряда n при $Q = \text{const}$:

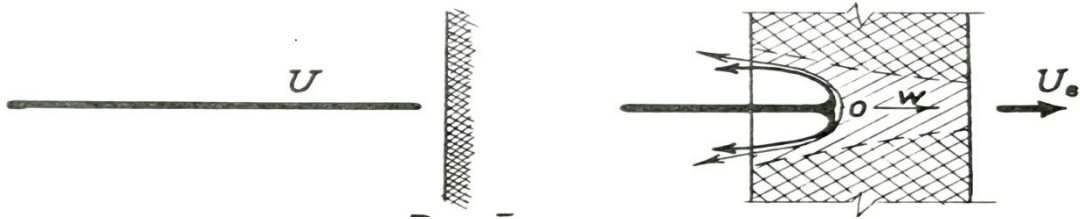
Таблица 3.3

Линия на на-малкото съпротивление (W) не повече от, m	Радиус на опасната зона за хора m, при значение на показателя на взрива на заряда (n)		
	1,5	2,0	2,5
1,5	250	300	350
2,0	350	450	550
4,0	450	650	750
6,0	550	750	950

3.2. ПРИЛАГАНЕ НА СПЕЦИАЛНИ ЗАРЯДИ ПРИ РАЗРУШАВАНЕ НА ЕЛЕМЕНТИ НА КОНСТРУКЦИИ И СГРАДИ

3.2.1. ПРОБИВНО ДЕЙСТВИЕ НА КУМУЛАТИВНИ ЗАРЯДИ

Процесът на проникване на кумулативната струя в преграда е подобен на обратния процес на образуването ѝ (Фиг. 3.1.).



До толкова дълго колкото проникването на кумулативната струя в преграда кумулативната струя, тогава:

$$(3.13) \quad U_x = W - \vartheta_0 = 0$$

$$\text{или} \quad W = \vartheta_0;$$

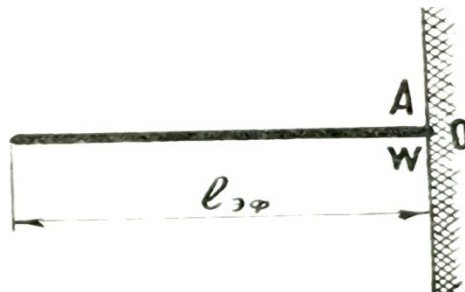
тогава:

$$(3.14) \quad U_x = W + \vartheta_0 = 2W;$$

откъдето идва скоростта на проникване на кумулативната струя

$$(3.15) \quad W = \frac{U}{2}.$$

Определяме дълбочината на проникване на кумулативната струя в преграда, ако ефективната дължина на струята е l_{ef} , скоростта в точка A (Фиг. 3.2.), която се равнява на U , а скоростта на нейното проникване в преградата е $W = \frac{U}{2}$.



Фиг. 3.2. Дълбочина на проникване на кумулативната струя

Време на проникване на струята в преградата:

$$(3.16) \quad t_{np} = \frac{l_{ef}}{W}.$$

Точка „0“ ще измине разстояние в преградата:

$$(3.17) \quad h = t_{np} \cdot W = l_{ef}.$$

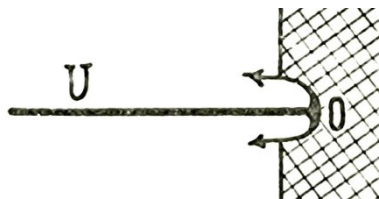
Дълбочината на проникване на кумулативната струя в преградата в случая, когато материалът на струята и преградата са еднакви:

$$(3.18) \quad h = l_{ef}$$

А когато материалът на струята и преградата е различен, то:

$$(3.19) \quad h = \sqrt{\frac{\rho_{cmp}}{\rho_{np}}} \cdot l_{ef}.$$

Ще считаме въздействието на струята срещу преградата като абсолютно нееластично.



Фиг. 3.3. Въздействие на кумулативната струя върху преграда

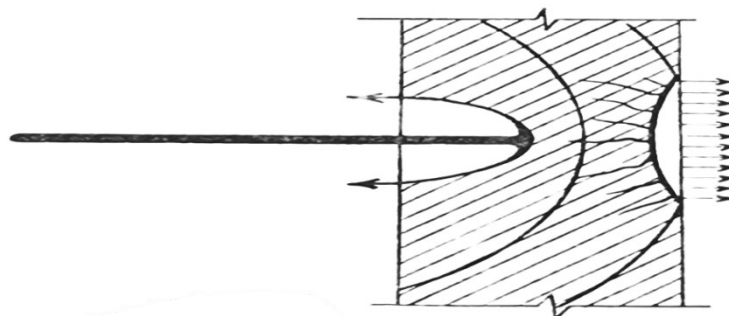
(3.20) $dJ = P \cdot dt = W \cdot dt \cdot \rho \cdot dF \cdot (W-0)$
откъдето $P = \rho W^2$;
но $W = \frac{U}{2}$;
тогава:
(3.21) $P = \frac{\rho U^2}{4}$.

При определяне на налягането във формулата трябва да се вземе по-ниската от плътностите на струята и преградата.

3.2.2. ДЕЙСТВИЕ НА ВЗРИВА НА КУМУЛАТИВНИТЕ ЗАРЯДИ ПРИ РАЗРУШАВАНЕ НА ДРУГИ МАТЕРИАЛИ (С ИЗКЛЮЧЕНИЕ НА МЕТАЛ)

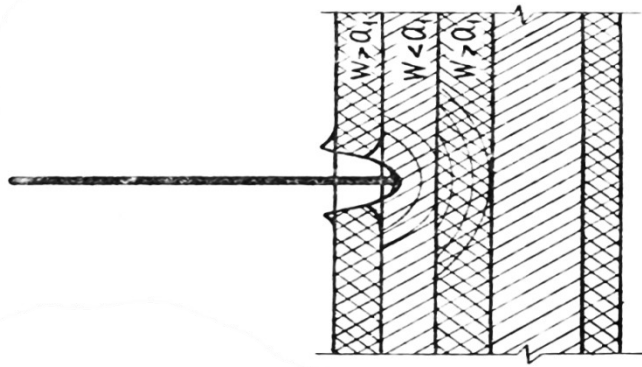
От изчисленията става ясно, че за разглежданите случаи скоростта на струята е $U = 10000 \text{ m/sec}$, скоростта на проникване е $W = 5000 \text{ m/sec}$ и скоростта на звука е $a_1 = 5100 \text{ m/sec}$, т.е. процесът тук ще бъде дозвуков в отдалечени материали.

В някои други материали, скоростта на звука, е значително по-малка и процеса ще бъде свръхзвуков, т.е. преди струята все още ще има ударна вълна. Поради ударната вълна от противоположната страна на преградата възниква откол (откръшване) и се образуват пукнатини и по този начин се увеличава разрушителният ефект (Фиф. 3.4).



Фиг. 3.4. Образуване на пукнатини от кумулативната струя

В многослойна преграда (направена от материали с различна скорост на звука) е възможно да се локализира разрушението в повърхностния слой (Фиф. 3.5).

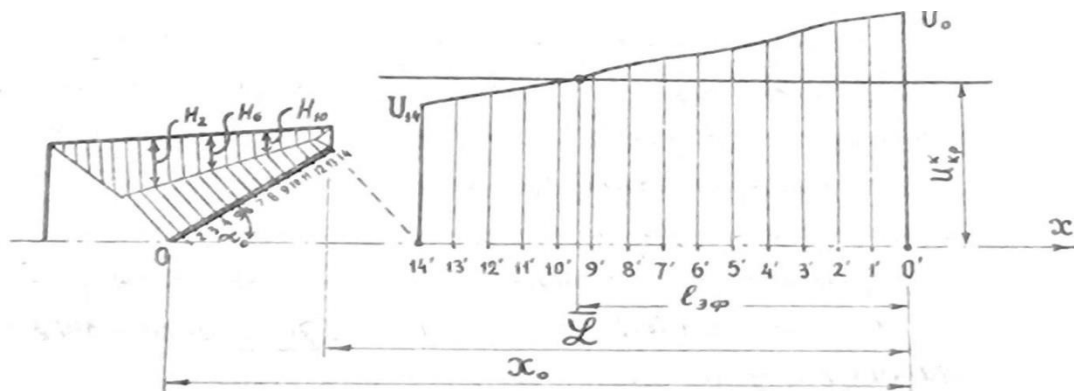


Фиг. 3.5. Разрушение в повърхностния слой на многослойна преграда

3.2.3. МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА КУМУЛАТИВНИТЕ ЗАРЯДИ

Изчисляването на ефективността на кумулативните заряди се предлага да бъде извършена в следната последователност:

- формата на кумулативния заряд трябва да бъде зададена;



Фиг. 3.6. Графиката на разпространението на взривните продукти на заряда - графиката на разпространението на взривните продукти на заряда (Фиг. 3.6) показва ефективната дебелина на взривния слой за редица неподвижни точки на облицовката на кумулативния разрез;

- Като се вземат предвид реалната скорост на детонация и скоростите на всяка частица, определени от предходната точка, профилите на обвивката са конструирани за моментите на приближаване на всички точки към оста на пазреза. Така определените ъгли между посоката на обвивката и оста на кумулативния разрез са взети според изчисленията (за всяка точка ще има свой ъгъл α);

- съгласно формули 2.71 и 2.72, скоростите на кумулативната струя се изчисляват за всяка контролна точка;

- моментът на завършване на образуването на кумулативната струя се определя по формулата:

$$(3.22) \quad t_{\varphi} = \frac{l_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0}{v_n},$$

където: v_n - изходяща оста на последната точка на кумулативната струя;

- позицията на нулевата точка в края на образуването на кумулативната струя е:

$$(3.23) \quad X_0 = U_0 \cdot t_\phi;$$

- по същия начин се определят местата на всички контролни точки;
- на местата на намерените точки във вертикалната скала (фиг.3.6) се нанасят скоростите в тези точки;
- на графиката на скоростта значението на критичната скорост за материала на дадената преграда и кумулативната струя „ U_{kp}^k “ определя ефективната дължина на струята;
- определеното по този начин разстояние от точка „0“ до заряд „L“ е оптималното отдалечаване на заряда от преградата;
- дълбочината на проникване в преградата се определя по формули 3.18 или 3.19;

Ако изчисления зарядът не пробива преградата, изчислението се повтаря, докато се получи заряд с необходимите параметри.

3.3 ТЕХНИЧЕСКИ РЕШЕНИЯ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ВР ПРИ АСД

3.3.1. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НЕОБХОДИМИЯ БАЛАСТ ВЪРХУ ВЗРИВНОТО ПОЛЕ

Основен изчислителен елемент при проектиране на защитното устройство е неговата маса. Масата на 1m² покривна площ се определя по формулата:

$$(3.23) \quad P_n = k \cdot w \cdot \rho, \text{ kg/m}^2,$$

където: k е коефициент, зависещ от типа на покритието;

w – дълбочината на раздробяване, m;

ρ – обемната плътност на материала на разрушавания обект, kg/m³ (таблица 3.4).

При газопропускливите защитни устройства $k = 0,07$, а за газонепропускливите $k = 0,25$, когато съоръжението е поставено на известна височина над обекта и $k = 0,33$, когато съоръжението е поставено непосредствено върху обекта.

Обемна плътност на строителни материали

Таблица 3.4

Материал	Плътност ρ , kg/m ³	Материал	Плътност ρ , kg/m ³
Скални материали		Бетон	
базалт	2700-3000	обикновен	2300
гранит	2600-3000	стоманобетон	2500
пясъчник	2700	асфалтобетон	2200
мрамор	2600-2700		
варовик	2500-2900	Метал	
мергел	2500	стомана	7800
глинести шисти	2500-2600	чугун	7200
Изкуствени материали			
тухли	2500-2600		
сгурия от доменни			
пещи	1100		

При използване на защитно устройство, чиято маса е определена по формула (3.23), късовете от разрушавания обект се локализируют в зона с радиус 10-15 m.

Във взривното дело се използват защитни устройства от най-различен характер, повечето от които са изработени от подръчен материал.

3.3.2. ЗАЩИТНИ ПОКРИТИЯ НА ЕЛЕМЕНТИ И КОНСТРУКЦИИ НА СГРАДИ

Защитно покритие се използва при разрушаване на ивични и масивни фундаменти. Конструкцията му се състои от дървен скелет, върху който е поставена метална мрежа. Това покритие се отнася към газонепропускливите защитни устройства.

Кутиеобразното метално покритие се използва при устройване на траншеи и канали по взривен начин в близост до охранявани обекти. Покритието представлява шейна, върху която са заварени метални ребра, и има форма на кутия без капак. Върху металния скелет е прикрепена телена мрежа (рабица). Обикновено е с широчина 3-4, дължина 6-8 и височина около 1,5m. Използва се като газопротективно и газонепропускливо съоръжение.

Покритие от автомобилни гуми се изработва от стари такива, които са свързани помежду си с дебела тел или арматурно желязо на отделни щитове. Поради своята собствена маса и здравина осигурява висококачествена защита.

Покритие от греди или талпи се изработва от греди с диаметър 20-25 cm или талпи с дебелина 8-10 cm, свързани помежду си с болтова, въжета или тел. За увеличаване на тяхната трайност от вътрешната страна се покриват със стари автомобилни гуми.

Амортизаторът е предназначен да поеме удара от падането на разрушената сграда и да предпази от повреда на тръбопроводи и други подземни съоръжения. Конструкцията му се състои от две пясъчни възглавници с височина 1m, разположени по дължината на охраняваното съоръжение. Върху тях се нареждат греди с диаметър 15-20 cm.

Защитните стени намират приложение при разрушаване на отделни стени и сгради. Представяват щитове изработени от дървен материал или от чували напълнени с пясък. По отношение на защитаваната стена могат да се поставят вертикално или под наклон 45°. При вертикалните защитни стени се устройва козирка, която дава възможност раздробената зидария да се струпа в празното пространство между защитната и разрушаваната стена. Защитните стени се разполагат на 1,5 – 2 m от външната страна на сградата по цялата и обиколка и имат височина 2 – 2,5 m.

Предпазни щитове предпазват стъклата на прозорци, агрегатите и съоръженията от разпръскването на парчета от зидария. Представяват дървени щитове изработени от дъски с дебелина, не по-малка от 3 cm.

Покритие от няколко слоя стоманена мрежа, затисната с чували от пясък, предпазва разлитането на малки скални късове. Необходимо е да се следи да няма контакт между проводниците на електровзривната мрежа и стоманената мрежа.

Предпазните щитове и покритията от стоманена мрежа се прилагат най-вече за обшиване на взривяваните колони при разрушаване на скелетни сгради. Покриването на колоните с дървени щитове се прави от всички страни, а при покритие със стоманена мрежа на колоните се правят 5-6 обиколки.

Геотекстилни платна се поставят от външната страна на скелетните сгради след обшиването на колоните с цел намаляване на разлитането на по-дребни късове. При сгради с височина до дванадесет етажа платното трябва да обхваща най-малко първия и втория етаж. При по-високи сгради се покрива и третия етаж.

Използването на защитни устройства налага да се намали относителния разход на ВВ и да се увеличи дължината на забивката. За изработването, поставянето и снемането им са необходими допълнителни средства, време и труд, което води до увеличаване на разходите на взривните работи.

Независимо от това в населени места и в близост до охранявани обекти, се налага да се използват защитни устройства.

3.3.3. УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ ПРИ АВАРИЙНО-СПАСИТЕЛНИ ДЕЙНОСТИ

Жилищните и промишлените сгради се отличават със своите конструктивни особености. При някои от тях товарът се поема от скелета на сградата, а при други – от външните носещи стени. Във връзка с това във взривната практика сградите се разглеждат като скелетни и безскелетни.

Конструктивните особености на сградите малко или много влияят върху разрушаването им. При скелетните сгради трябва да се разруши носещата им конструкция, а при безскелетните разрушаването на носещите стени е достатъчно за да се събори сградата.

Когато разрушаването се извършва при ограничени условия, т.е. в близост се намират сгради и съоръжения, които трябва да се предпазят от повреда, за предпочитане е събарянето да се извърши по направление. Основен метод на разрушаване на сгради се счита методът на малките заряди. В отделни случаи, когато мерките за безопасност са занижени и липсват охраняеми обекти в близост до разрушаваната сграда, може да се прилага методът на контактните външни заряди, но много точно трябва да се определи радиусът на действие на въздушната ударна вълна и разлитането на осколки.

Разрушаването на скелетни сгради може да се извърши по взривен начин на място или по направление.

Разрушаването на скелетни сгради по направление включва разрушаване на гредите, площите и колоните поетажно. Гредите и площите се разрушават на парчета, а колоните също на парчета, но на различни нива в наклонена под ъгъл 15-20° плоскост. При това за да се осигури събаряне по направление, челните колони се разрушават с три реда заряди, средните с два реда и задните с едон ред.

При безскелетни сгради на разрушаване подлежат носещите стени, преградните стени, колоните и плочите, ако има такива. При разрушаване на безскелетни сгради по направление зарядите се разполагат в една взривна плоскост, наклонена спрямо терена под ъгъл 15-20°. Взривните дупки се пробиват от вътрешната страна на сградата по цялата ѝ обиколка. В стените, обърнати по посока на падането, се пробиват 2-3 хоризонтални реда взривни дупки за тухлени и най-малко 3 реда за стоманобетонни стени. В страничните стени се пробиват 2 наклонени реда, а в тилните стени – един хоризонтален ред. Първия наклонен ред се разполага под ъгъл 20°, вторият ред – под ъгъл 15°. При това тесния край на клина е на височината на хоризонталния ред заряди на задната стена.

Вътрешните стени успоредни на страната на събарянето се пробиват с един-два реда взривни дупки на нивото на взривните дупки от наклонените редове на страничните стени.

При разрушаване на безскелетни сгради параметрите на пробивно-взривните работи се определят като се използва методика в следната последователност:

- параметри на пробивно-взривните работи за външни стени;
- параметри на пробивно-взривните работи за вътрешни стени;
- параметри на пробивно-взривните работи за ъглови взривни дупки.

Външните стени се разглеждат като носещи (натоварени), а вътрешните като не-натоварени. В повечето случаи те са свободностоящи.

Последователността за определяне на параметрите е като при разрушаване на стени от тухли, бетон и стоманобетон:

- определяне на линията на най-малкото съпротивление
(3.24) $W = 0,5 \cdot b_{cm}, m$

където W е линията на най-малкото съпротивление;
 b_{cm} - дебелина на стената.

- определяне на разстоянието между взривните дупки
(3.25) $a = 0,5 \div 2W, m$

където a е разстоянието между взривните дупки.

Най – често $a = W$; $a = 1,5W$ и $a = 2W$. Най – добро разрушение се получава при $1,5W \leq a \leq W$.

За стени от тухли и бетон при $b_{cm} > 2m$ и за стени от стоманобетон при $b_{cm} > 1m$ се приема $a \leq W$.

Максималните разстояния между взривните дупки при стени от стоманобетон е 0,5 m, а при стени от тухли е 1 m.

Големите и масивни постройки се разрушават на две части. В такъв случай по вертикалната плоскост, която има за задача да отреже част от сградата, се разрушават всички конструктивни елементи (стени, греди, плочи). При това взривяването на зарядите, разположени във вертикалната плоскост, изпреварва с една степен основното взривяване.

При разрушаване на обекти с кубична форма в направление за сигурност на разрушаването е целесъобразно също първоначално сградата да бъде разрязана на две отделни части и последователно взривяване на всяка част по отделно в едно направление.

При разрушаване на високи сгради и конструкции с форма на паралелепипед в направление се предлага взривяване под ъгъл 15° само на първите 3 – 4 етажа, при което се постигат следните резултати:

- значително намаляване на броя на взривните дупки и съкращаване на времето за тяхното пробиване и зареждане;
- намаляване количеството на използваните експлозиви и ограничаване периметъра на вредните им въздействия;
- разрушаване на конструкциите при ограничено пространство в близост до охраняеми обекти.

ИЗВОДИ ОТ ГЛАВА ТРЕТА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

В резултат на проведените изследвания и получените резултати могат да се направят следните изводи:

1. Предложените стойности на коефициентите на забивката K_z и на коефициента зависещ от плътността на материала използван за забивка $K_{пл}$, намаляват вредните въздействия на взрива при ударна вълна и разлитане на скални късове, като се намалява радиусът на опасната зона за хора и възможните повреди за прилежащите сгради в зоната на действие на взрива;

2. Използването на защитни устройства е задължително, когато трябва да се съкрати радиуса на опасната зона, при взривяване на територията на населени места или в промишлени предприятия и когато хората се намират сравнително близо до обекта, който ще се разрушава;

3. При разрушаване на високи сгради и конструкции с форма на паралелепипед, препоръчително е взривяването да се извърши под ъгъл за първите 3-4 етажа при разрушаване на конструкциите при ограничено пространство в близост до охраняеми обекти и за да се намали значително броя на взривните дупки, количеството на използваните експлозиви и да се ограничи периметъра на вредното въздействие на взрива.

НАУЧНО - ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ РЕЗУЛТАТИ

НАУЧНО - ПРИЛОЖНИ РЕЗУЛТАТИ

1. Установено е, че различните защитни прегради между защитаващите обекти и вредните въздействия на взрива налагат корекции на съществуващия формулен апарат за определяне на безопасните разстояния.

2. Усъвършенствани и коригирани са съществуващите изчисления на базата на провеждане на експеримент с взривни вещества и защитни средства от тях.

3. Анализирана е теорията на взрива при използването на взривни вещества с цел повишаване ефективността на взривните работи при аварийно-спасителни дейности и е определено, че основни поразяващи фактори се явяват разлитането на взривени късове, осколки и въздушна ударна вълна, поради по-големите им стойности спрямо другите въздействия.

4. Анализирана е технологията на взривните работи при разрушаване на конструкции на сгради с различна форма и са предложени нови методи на взривяване, с цел намаляване поражението от вредното въздействие на взрива и повишаване ефективността на взривните работи при аварийно-спасителни дейности.

ПРИЛОЖНИ РЕЗУЛТАТИ

1. Предложени са варианти на защитни покрития върху земната повърхност с различни конструкции от разнообразни материали за защита на охраняваните обекти от въздействието на взрива.

2. Предложени са варианти за изграждане на защитни покрития при взривяване на високи сгради и е доказано ефективното използване на геоплатно за намаляване на разлитането на най-дребните взривени късове от конструкцията;

3. Предложени са нови методи за разрушаване на сгради с кубична и кулообразна форма в ограничени условия;

5. Предложени са начини за изчисляване на зарядите и последователността на взривяване при разрушаване на сгради с различна форма, осигуряващи ефективност и безопасност на взривните работи;

6. Предложени и потвърдени са корекционни коефициенти K_3 и $K_{пл}$ във формул-

ния апарат при определяне параметрите от въздействието на взрива върху хора, техника и съоръжения, зависещи от вида и свойствата на материала използван за забивка.

7. Предложено е определяне на безопасните разстояния от действието на взрива за хора и техника в зависимост от масата на заряда на базата на теоретичния анализ и резултатите от практическите изследвания.

СПИСЪК НА НАУЧНИТЕ ПУБЛИКАЦИИ В ОБЛАСТТА НА РАЗРАБОТЕНАТА ДИСЕРТАЦИЯ

1. Петлянков П.В., Терзиев Й.Х., „Пробивно-взривни работи за раздробяване на скална маса“, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция, НВУ ”В. Левски”, В. Търново, 2016 - том 2, ISSN 1314-1937.

2. Петлянков П.В., Терзиев Й.Х., „Взривяване на стоманобетонни елементи под вода“, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция, НВУ ”В. Левски”, В. Търново, 2016 - том 2, ISSN 1314-1937.

3. Терзиев Й.Х., Петлянков П.В., „Взривни работи за удълбочаване на дъното на воден басейн“, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция, НВУ ”В. Левски”, В. Търново, 2016 - том 2, ISSN 1314-1937.

4. Петлянков П.В., „Разрушаване на безскелетни сгради“, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция, НВУ ”В. Левски”, В. Търново, 2018 - том 9, ISSN 1314-1937.

VASIL LEVSKI NATIONAL MILITARY UNIVERSITY

LAND FORCES FACULTY

DEPARTMENT PROTECTION OF THE POPULATION AND INFRASTRUCTURE

Petar Valentinov Petlyankov

**STUDY OF THE EFFICIENCY OF BLASTING WORKS IN EMERGENCY
RESCUE ACTIVITIES**

A B S T R A C T

of a dissertation for obtaining the educational and scientific degree “Doctor”

Area of higher education: 5. Technical sciences

Professional field: 5.13. General engineering

Scientific specialisation: Engineering and Technology of Blasting Works

SCIENTIFIC SUPERVISOR:

Assoc. Prof. Marin Radoslavov Pashov, PhD

VELIKO TARNOVO
2021

Data for the dissertation:

Number of pages – 120

Number of figures – 22

Number of reference sources – 62

Number of publications – 4

Number of tables – 12

The defence of the dissertation will take place on 2021 from in the Department of Protection of the Population and Infrastructure at the Land Forces Faculty of Vasil Levski National Military University.

The materials on the protection are available to those interested in the Department of Protection of the Population and Infrastructure at the Land Forces Faculty of Vasil Levski National Military University.

VASIL LEVSKI NATIONAL MILITARY UNIVERSITY

LAND FORCES FACULTY

DEPARTMENT PROTECTION OF THE POPULATION AND INFRASTRUCTURE

Petar Valentinov Petlyankov

**STUDY OF THE EFFICIENCY OF BLAST WORKS IN EMERGENCY
RESCUE ACTIVITIES**

A B S T R A C T

of a dissertation for obtaining the educational and scientific degree “Doctor”

Area of higher education: 5. Technical sciences

Professional field: 5.13. General engineering

Scientific specialisation: Engineering and Technology of Blasting Works

SCIENTIFIC SUPERVISOR:

Assoc. Prof. Marin Radoslavov Pashov, PhD

VELIKO TARNOVO

2021

The dissertation was discussed and scheduled for defence by an extended council of the Department of Protection of the Population and Infrastructure at the Land Forces Faculty of Vasil Levski National Military University.

The doctoral student is enrolled in part-time study at the Department Protection of the Population and Infrastructure at the Land Forces Faculty of Vasil Levski National Military University.

The research on the dissertation work was carried out in the Department Protection of the Population and Infrastructure at the Land Forces Faculty of Vasil Levski National Military University.

Author: Captain Petar Valentinov Petlyankov

Title: “Study of the Efficiency of Blasting Works in Emergency Rescue Activities”

Circulation: 10 pieces

Printed on: 2021

I. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION

Relevance of the topic

The relevance of the research is determined by the fact that blasting works (BW) meet the demand and the practical need to obtain certain capabilities and to perform tasks in carrying out emergency rescue activities (ERA). What is especially important at this stage in the operation is to increase the efficiency to achieve optimal results.

In recent years, the natural disasters that have occurred on the territory of the Republic of Bulgaria related to human casualties and huge material losses, determined the need to increase the efficiency in dealing with non-military crises.

The Bulgarian Armed Forces perform tasks related to their participation in emergency rescue operations, which are defined in the Law on the Armed Forces of the Republic of Bulgaria and the Disaster Relief Plan of the Bulgarian Armed Forces. As a result of emergencies in disasters, accidents and catastrophes in settlements and in economic enterprises, there may be large destroyed areas of infrastructure, fire zones, areas of radioactive contamination, floods, snowstorms, etc.

The implementation of these tasks presupposes the manifestation of efforts with a high degree of complexity, risk and significance and is related to taking into account the influence of many factors, with the realisation of professional skills from different fields of practice.

The characteristic feature of emergency rescue operations, and more precisely of emergency rescue activities, is that they must be carried out in a short time with adequate actions and systems for logistical and engineering support. Emergency rescue activities are specific in that they are determined by various factors. In one case, it is the adequate action after they have occurred, and in others, it is the necessity to limit the development of poverty, accident or catastrophe in order to prevent the possible onset of catastrophic consequences of new fires, explosions, floods, landslides or slides of snow masses, destruction of material resources or human loss. In a third type of situations, it is the rapid recovery in case of destruction of the utility network (electricity, gas, water supply, and sewerage) after a disaster, accident or catastrophe. This is confirmed by numerous examples, both in our country and worldwide.

The current level of development of blasting equipment and technologies, as well as the significant expansion of the use of the explosive effect in various areas of the material present, and specifically in the field of emergency rescue activities, requires maximum and comprehensive optimisation of methods, parameters and factors to increase efficiency with a minimum of negative consequences of blasting.

The analysis of the results of the use of blasting work in emergency rescue activities shows priority importance as one of the methods for demolition of potentially dangerous buildings and sites, clearing of landslides, dissolution of accumulation of unbound mass, etc.

Aim and tasks of the dissertation

The **aim** of the dissertation is to study the factors influencing the effectiveness of blasting and limiting the harmful effects of the explosion in emergency rescue operations.

In order to achieve the formulated goal, the following research **tasks** were set for solving:

1. Study of the characteristics of the explosives used, special charges and means of detonation.
2. Study of the effectiveness and safety of the applied explosive technologies.
3. Organisational and technical measures to limit the harmful effects of the explosion.

Methods of the study

The following **methods** were used in the development of the dissertation: mathematical modelling, experimental method, theoretical (deductive) method, and method of statistical approach.

Structure and volume of the dissertation

The dissertation has a volume of 120 pages, 62 reference sources, and appendices.

The main results of the theoretical and experimental research are presented in 12 tables and 22 figures.

The dissertation consists of an introduction, three chapters, main conclusions, scientific-applied and applied results, a reference list, and appendices.

The numbering of the formulas and figures in the abstract is according to the original text in the dissertation.

II. CONTENT OF THE DISSERTATION

INTRODUCTION

The introduction includes a general characteristic of the dissertation and presents the state and degree of development of the scientific problem, substantiating the relevance of the research topic.

CHAPTER 1. FORMULATION OF THE RESEARCH TASK

1.5. CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF THE THREATS AND ACTIVITIES IN EMERGENCY RESCUE OPERATIONS

The complex natural geographical structure of Bulgaria and its location in an area of high seismic activity makes it vulnerable to disasters and accidents of natural and man-made nature, which can cause significant human and material losses.

Natural disasters are a consequence of dangerous geological, meteorological, hydrological and other processes.

The technogenic risks are a result of the activity of existing sites with industrial purpose, new industrial construction, destroying natural ecosystems and negative impact of conserved sites with potentially dangerous properties.

Statistics show a high frequency of various types of disasters affecting our country in the last decade, which is why Bulgaria is in the category of territories characterised by a particularly high degree of risk in this sphere.

The percentage distribution of natural disasters in municipalities and the relative share of affected municipalities from natural disasters in 2016 are shown in Figure 1.1 and Figure 1.2.

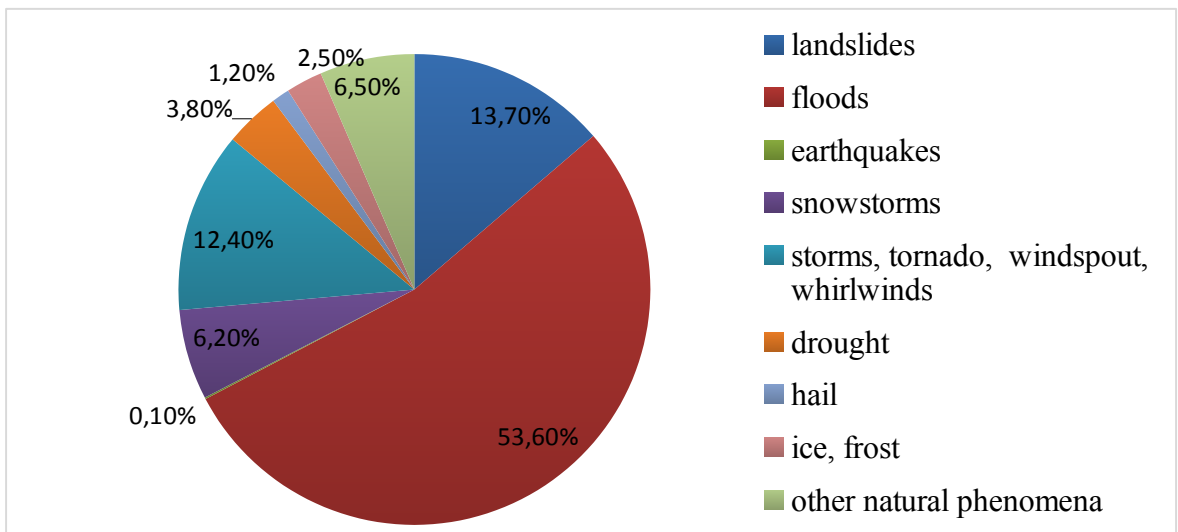


Figure 1.1 Natural disasters in municipalities in 2016

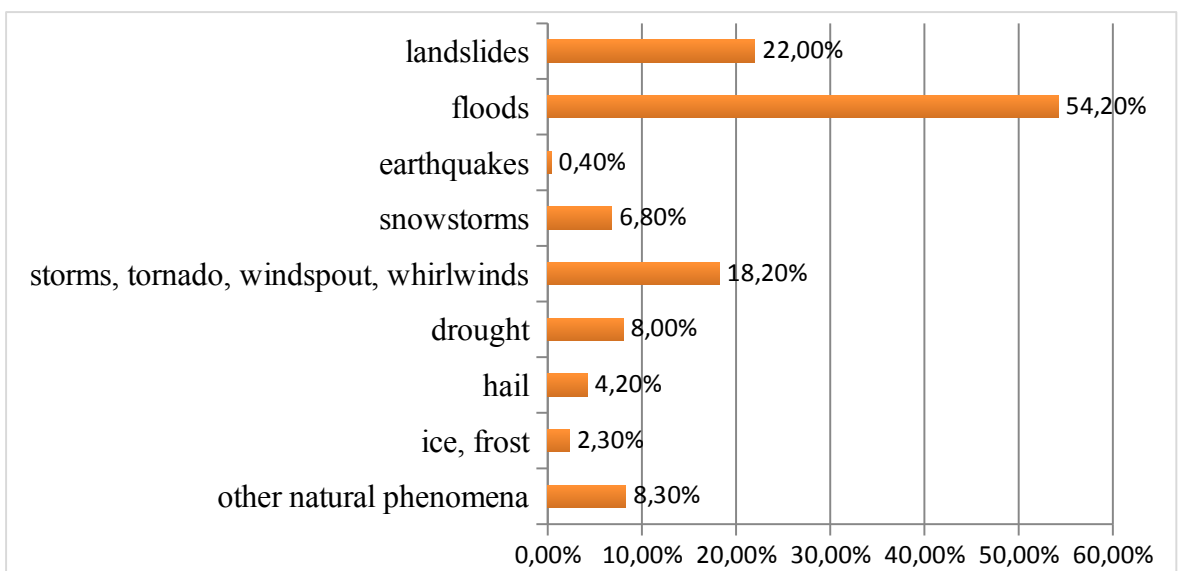


Figure 1.2 Relative share of natural disasters that affected municipalities in 2016

The hazards according to the nature of the causes are subdivided into: anthropogenic, natural and combined. The anthropogenic ones are caused by unintentional and intentional human activity. Studies of social processes show that in recent dec-

ades, the unpredictability of human thinking and behaviour has increased, and it has become comparable to the behaviour of natural elements.

In-depth study of the issue helps to reduce the threats to the following groups: natural, anthropogenic, ecological, biological, and social.

Rescue and emergency recovery work is a complex of diverse processes and operations, the implementation of which aims to reduce and prevent casualties among the population and material losses in the event of damage caused by terrorist acts using weapons of mass destruction, natural disasters, major industrial accidents, and large-scale transport accidents.

The main tasks of the rescue and urgent emergency recovery works are carrying out rescue operations and urgent emergency recovery works.

The conclusion from the analysis of the risks and threats of disasters for the population and the environment in the Republic of Bulgaria is that different types of disasters could occur that can cause significant loss of human and material resources and adversely affect national security and stability in the area. The forecast of the possible events shows that their manifestation will lead to serious difficulties in the normal operation of the infrastructure in the disaster areas; vital management systems and the normal functioning of the national economy and the living conditions of the population will be disrupted.

1.6. ANALYSIS OF THE THEORY OF BLASTING WORKS

In specialised texts, the phenomenon of explosion is defined as the very rapid conversion of a substance or mixture of substances from one state to another which is accompanied by the release of heat and the formation of gases and vapours capable of performing mechanical work to destroy and move the environment.

There are various cases of human errors in blasting and storage of explosives and materials:

- accidents in storage areas of Bulgarian military units and of the companies producing and storing explosive materials;
- insufficient precision (inaccuracy) in determining the amount of explosive substances;
- non-observance of the safe distance when pieces are scattered and there is damage of the air shock wave;
- poisoning with toxic gases, vapours, aerosols and dusts and lethal outcome for people in the danger zone after blasting;
- unsuitable materials when making a coating to limit the scattering of pieces;
 - violation of safety measures when carrying out blasting works in unsuitable meteorological conditions;
 - frequent cases of failed charges due to prolonged stay of blasting works in a flooded environment or lack of duplicating (securing) nets;
 - incorrect reading of the sequence of blasting of the charges resulting in a large number of fragments and a strong air shock wave;
 - inaccuracies in the preparation of projects for drilling and blasting works.

According to hydrodynamic theory, detonation is a rapid chemical conversion that is accompanied by the propagation of a shock wave in explosives. At the front of the shock wave, the density (ρ), the pressure (p) and the temperature (T) increase sharply.

In detonation, there is a shock wave, but also a detonation wave.

Detonation wave is the totality of the shock wave and the adjacent zone of the reaction of the explosive chemical transformation. Figure 1.3 shows a diagram of the detonation of an open charge.

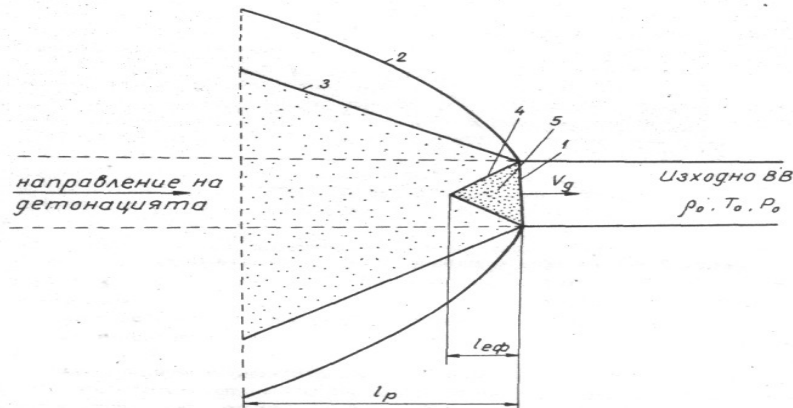


Figure 1.3. Scheme of detonation of an open charge

1 – front of the detonation wave; 2 – front of the shock wave; 3 – front of expansion of the explosion products; 4 – front of the discharge wave; 5 – non-expanded volume of gases; – zone of chemical reaction; – effective part of the zone of chemical reaction

It is common to talk about the technology of different ways of blasting, as a technology, meaning a set of operations that are performed in a certain sequence.

The choice of the method of blasting depends on the requirements of the Regulations on labour safety during blasting works, Art. 95 and the available means of detonation (electric detonators, detonating cord or capsule detonators and waveguides).

1.7. EXISTING MODELS FOR PERFORMING BLASTING WORKS IN HARD ENVIRONMENT

1.7.1. EXISTING MODELS FOR PERFORMING BLASTING WORKS IN SOILS

Blasting works in soils are carried out by:

- destruction and disposal of soils;
- fragmentation of soils without disposal;
- formation of holes (cavities in the soil).

In accordance with the listed methods for carrying out blasting works in soils, the explosive charges used for this purpose are divided into the following types:

- ejection charges;
- fragmentation charges;

- camouflet charges (charges that form holes).

Events related to the preparation and charging of the charging gap are known in the literature. It can be a blast hole, borehole, boiler or chamber cavity. Depending on the type and shape of the charging gap, the following methods are known (Fig. 1.4):

- method of charges placed in blast holes;
- method of charges placed in boreholes;
- method of charges placed in boilers (pots);
- method of charges placed in chambers;
- open charge method.

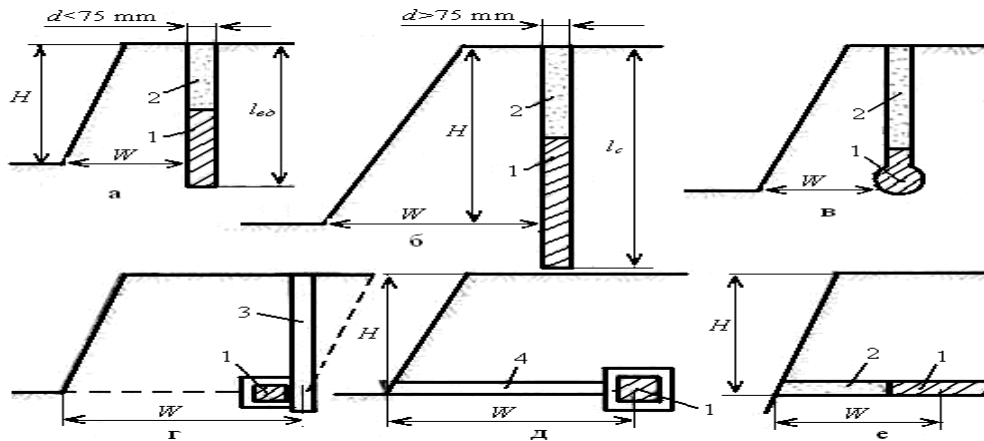


Figure 1.4. Charging schemes depending on the shape of the charging gap
a / charge in a blast hole; b / charge in a borehole; c / charge in a boiler; d, e /
charge in a chamber; f / charge in a small chamber; 1-charge; 2-stemming; 3-
vertical excavation; 4-gallery

1.3.2. EXISTING MODELS FOR PERFORMING BLASTING WORKS FOR THE DESTRUCTION OF BRICK CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

In the literature, according to the type and technology adopted for their destruction, four main methods of destruction are known:

- external and internal charges;
- contact and non-contact charges;
- method of charges in explosive holes;
- small charge method.

The method of demolition is determined by the material, thickness, explosives, available drilling tools and the conditions under which the blasting will take place.

The method of concentrated external contact charges is rarely used in the demolition of brick structures with a thickness of less than 0.5 m and structures of concrete and reinforced concrete with a thickness of less than 0.4 m.

The charges are placed next to the base in a row, and the distance between them a should not exceed twice the wall thickness b_{cm} , i.e. $a \leq 2 \cdot b_{cm}$.

The method of charges in explosive holes is characterised by a greater scattering of the crushed material and a higher consumption of explosives than the method of small charges. It uses explosive holes up to 52 mm in diameter and up to 3 m deep.

Parameters of drilling-blasting works are: line of least resistance W , the distance between blasting holes in row a , row spacing b , a length of the blasting hole $l_{\theta 0}$, mass of the charge Q , etc.

The normal drilling depth of the blast hole $l_{\theta 0}$ is $2/3$ of the wall thickness.

In **the small charge method**, the distance between the blast holes and the rows is limited and reduced. The operating time of the blasting process is increased by using the so-called small charges and the scattered construction of the charges.

The method is used in blasting works in settlements, industrial and residential buildings and near sites, communications and equipment. The blasting works are performed with special precision, and the parameters are modelled with great accuracy.

Parameters of blasting works are: line of least resistance W , distance between blast holes in row a , distance between rows b , length of blast hole $l_{\theta 0}$, mass of charge Q , number of charges, etc.

1.8. CONCLUSIONS, PURPOSE, TASKS, LIMITATIONS AND METHODS OF THE RESEARCH IN CHAPTER ONE

CONCLUSIONS FROM CHAPTER ONE

The conducted analysis of the emergency rescue activities and blasting works allows to draw the following conclusions:

1. There is limited information in known sources on research into the use of explosives in order to increase the effectiveness of blasting operations in rescue operations.

2. In the analysed sources there is limited information about the proposed methods in the elimination of the consequences of disasters, accidents and catastrophes using explosives.

3. The described methods for limiting the shock wave and the scattering of pieces when using explosive works in emergency rescue activities are insufficient.

CHAPTER 2. RESEARCH ON THE PROCESS FOR USING EXPLOSIVE MATERIALS, SPECIAL CHARGES AND BLASTING MEANS IN EMERGENCY RESCUE ACTIVITIES

2.4. RESEARCH AND ANALYSIS OF THE VOLUME AND NATURE OF DESTRUCTION IN DISASTERS, ACCIDENTS AND CATASTROPHES

The main task at this stage is to determine the volume and nature of the backfills, on which depend the type and number of means for mechanisation of the rescue and emergency recovery works (RERWs). As a result of complete demolition of residential buildings, for every 1,000 m³ of construction volume, 350-500 m³ of backfills are formed, and for industrial buildings – 50-200 m³. Their composition depends on the material of the structure and the type of building, and their structure also depends on the magnitude of the pressure of the destructive (shock or seismic) wave. Depending on the composition of the main mass of debris, the backfills are reduced to three main types:

First type: Backfills which consist of fragments of reinforced concrete and concrete elements and structures (reinforced concrete backfills).

Second type: Backfills which consist of fragments of reinforced concrete and concrete elements mixed with fragments of destroyed brick walls (mixed backfills).

Third type: Backfills which consist of brick blocks, brick debris with wood, metal and other ingredients (brick backfills).

Table 2.1 presents data on the composition of the backfills during the demolition of some types of buildings.

Depending on the structure, backfills are also classified into three types (Table 2.2). Table 2.3 gives data on the structure of the backfills depending on the shock wave pressure. The volume mass of the backfills depends on the material of the construction of the buildings, as well as on their structure. It can vary from 1.1 to 1.6 t/m³.

Composition of backfills depending on the type of building

Table 2.1

Composition of backfills	Content of the elements of the backfills during demolition of different buildings (% of the total volume)			
	brick		Large-panel	wooden
	residential	industrial		
Brick blocks, crushed bricks	50	25	-	13
Fragments of reinforced concrete and concrete elements	15	62	80	-
Wooden parts	30	3	18	85
Metal structures	5	10	2	2

Classification of the backfills depending on the structure of demolition

Table 2.2

Type	Content of fragments (% of the total volume)	Density,
------	--	----------

	depending on the volume of backfill elements				%
	More than 0,8 m ²	0,5 - 0,8 m ²	0.1—0,5 m ²	Less than 0.1 m ²	
First	5 - 10	45 - 55	25 - 35	5 - 15	60 - 70
Second	5	25 - 35	25 - 35	30 - 40	45 - 55
Third	-	5 - 10	15 - 25	60 - 80	40

The main parameters of the backfills are the height and the distance of scattering of debris. Data for these parameters are given in Table 2.4. It shows that at a pressure of 40-50 kPa, the distance of scattering is approximately half the height of the building. At a pressure of 100 - 120 kPa, this distance increases by 2.5 to 3 times, and the height of the piles for the same type of buildings decreases by 1.75 to 2 times. The data in Table 2.4 are for residential buildings. This height in case of demolition of industrial buildings is 1.5 - 2 times smaller.

Structure of the backfills depending on the pressure of the shock wave

Table 2.3

Pressure, κPa	Content of debris with different volume in the backfills		
	> 0,5 m ³	0.1 - 0,5, m ³	<0.1 m ³
10 - 30	50	40	10
30 - 100	30	40	30
More than 100	10	20	70

Parameters of backfills in case of demolition of residential buildings

Table 2.4

Number of floors	Scattering distance (in the numerator), m, of the debris and the height of the backfill (in the denominator), m, at pressure, κPa							
	Brick buildings				Large-panel buildings			
	40	60	80	100	40	60	80	100
2 - 3	$\frac{7}{3}$	$\frac{10}{2}$	$\frac{13.5}{2}$	$\frac{13}{2}$				

In the direction of the shock wave

Number of floors	Scattering distance (in the numerator), m, of the debris and the height of the backfill (in the denominator), m, at pressure, kPa							
	40	60	80	100	40	60	80	100
	Brick buildings				Large-panel buildings			
4 - 6	$\frac{10}{5}$	$\frac{15}{4}$	$\frac{21}{3}$	$\frac{28}{3}$	$\frac{13.5}{4}$	$\frac{21.5}{3}$	$\frac{28}{3}$	$\frac{40}{2}$
8 - 10	$\frac{14}{7}$	$\frac{22}{5}$	$\frac{30}{4}$	$\frac{41}{4}$	$\frac{21}{5}$	$\frac{31}{4}$	$\frac{41}{4}$	$\frac{56}{3.5}$
<i>Perpendicular to the direction of the action of the shock wave</i>								
2 - 3	$\frac{6.5}{3}$	$\frac{9}{2.5}$	$\frac{10.8}{2}$	$\frac{12.5}{2}$	-	-	-	-
4 - 6	$\frac{8.5}{5}$	$\frac{11.5}{4.5}$	$\frac{14}{4}$	$\frac{16}{4}$	$\frac{11}{5}$	$\frac{14}{4}$	$\frac{16}{4}$	$\frac{18}{3}$
8 - 10	$\frac{11}{8}$	$\frac{14}{7}$	$\frac{16}{6}$	$\frac{18}{6}$	$\frac{13.5}{7}$	$\frac{16.5}{6}$	$\frac{18}{6}$	$\frac{21}{5}$

Continuous backfills of approximately the same height are formed at a pressure higher than 100 - 120 kPa. Table 2.5 presents data on the height of continuous backfills, which are formed during the demolition of brick buildings in areas with pressure greater than 100 kPa. In areas with high building density, such accumulations are formed even at lower pressure. In this case, the height of the backfill is variable, as the maximum values are observed within the contours of the destroyed buildings.

Height of continuous backfills

Table 2.5

Number of floors	Height of continuous backslides, m, in residential districts (in the numerator) and industrial sites (in the denominator) at			
	Building density, %			
	40	60	80	100
$\frac{7}{6-7}$	$\frac{0.9}{0.4-0.6}$	$\frac{1.1}{0.6-0.7}$	$\frac{1.4}{0.7-0.9}$	$\frac{1.8}{0.9-1.2}$
$\frac{14}{12-15}$	$\frac{1.9}{0.9-1.3}$	$\frac{2.1}{1.1-1.4}$	$\frac{2.7}{1.4-1.8}$	$\frac{3.9}{1.9-2.6}$
$\frac{20}{20-24}$	$\frac{2.7}{1.4-1.8}$	$\frac{3.1}{1.5-2.0}$	$\frac{3.9}{1.9-2.6}$	$\frac{5.7}{2.8-3.5}$

The nature of street backfills depends on the magnitude of the shock wave pressure, its width, the number of floors of the buildings, their type and orientation with respect to the centre of the explosion. An indicative assessment of the degree of street congestion can be made from the data in Table 2.5. It indicates the average values of the shock wave pressure at which continuous accumulations are formed. In areas where the pressure at the front of the shock wave is less than that shown in Table

2.6, it is possible to form local blockages on the streets if the buildings are damaged to a medium or higher degree.

Shock wave pressure at which continuous backfills form

Table 2.6

Number of floors of the buildings in the direction of the streets	Average pressure of the shock wave at which continuous backfills are formed, kPa		
	inner-neighborhood streets with width 10 - 20 m	District highways with width 20 - 35 m	City highways with width 40 - 60 m
2 - 3	50	90	120
4 - 5	40	70	110
6 - 7	30	50	110
8 - 10	25	40	110

In various types of disasters, accidents and catastrophes, not all buildings are completely destroyed. Individual elements or whole buildings with damaged structural strength remain, which are potentially dangerous. They need to be destroyed in a timely manner with the application of explosive technology.

2.5. METHODS FOR CONDUCTING BLASTING WORKS IN HARD ENVIRONMENT

2.2.2. METHODS FOR CONDUCTING BLASTING WORKS WITH BRICK, STONE, CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

In the literature, according to the type and technology adopted for the crushing and demolition of brick, concrete and reinforced concrete structures, four main methods of demolition are known:

- external and internal charges;
- contact and non-contact charges;
- method of charges in explosive holes;
- small charge method.

The method of destruction is determined by the material, the thickness, the explosive materials, the available means of drilling and the conditions under which the blasting will take place.

The method of concentrated external contact charges is applied in the demolition of brick structures with a thickness of less than 0.5 m and structures of concrete and reinforced concrete with a thickness of less than 0.4 m.

The charges are placed next to the base in a row, and the distance between them a should not exceed twice the wall thickness b_{cm} , i.e. $a \leq 2 \cdot b_{cm}$.

Sacks filled with soil and other auxiliary materials may be used for stemming.

The mass of the charges Q is determined by the formulas:

- for brick walls

$$(2.1) \quad Q_m = 1,2 \cdot \beta \cdot b_{cm}, \text{ kg}$$

- concrete walls

$$(2.2) \quad Q_{\sigma} = 1,5 \cdot \beta \cdot b_{cm}, \text{ kg}$$

- reinforced concrete walls

$$(2.3) \quad Q_{cm\sigma} = 5,5 \cdot \beta \cdot b_{cm}, \text{ kg}$$

where β is a coefficient depending on the stemming (with charges with stemming $\beta = 5$, and without stemming $\beta = 9$);

b_{cm} – wall thickness, m.

With a wall thickness of more than 0.5 m, in order to reduce the amount of explosive materials, it is advisable to place the concentrated charges in niches and explosive holes, and the extended charges – in gutters (furrows).

The mass of the charges placed in niches and gutters is calculated by the formulas:

- for concentrated charges

$$(2.7) \quad Q = 1,2 \cdot \beta \cdot b_{cm}, \text{ kg}$$

- for extended charges

$$(2.8) \quad Q_y = 0,5 \cdot 5,0 \cdot \beta \cdot b_{cm} \cdot l_{cm}, \text{ kg}$$

It is accepted that for both charges $\beta = 3,5$.

The method of charges in explosive holes is characterised by a greater scattering of the crushed material and a higher consumption of explosives than the method of small charges. It uses explosive holes up to 52 mm in diameter and up to 3 m deep.

Parameters of blasting works are: line of least resistance W , distance between blast holes in row a , distance between rows b , length of blast hole $l_{\sigma\delta}$, charge mass Q , etc.

The normal drilling depth of the blast hole $l_{\sigma\delta}$ is $2/3$ of the wall thickness.

The line of least resistance W is accepted

$$(2.9) \quad W = 0,5 \cdot b_{cm}, \text{ m}$$

The mass of the charge $Q_{\sigma\delta}$ is determined by the formula

$$(2.10) \quad Q_{\sigma\delta} = q \cdot W^3, \text{ kg}$$

where W is the line of least resistance, m;

q – relative consumption of explosive, kg/m^3 (Table 5.6).

For brick and concrete walls, the distance between the blast holes a is

$$(2.11) \quad a_m = a_{\sigma} = l_{\sigma\delta}, \text{ m}$$

and the distance between the rows b is

$$(2.12) \quad b_{m,\sigma} = a_{m,\sigma}, \text{ m}$$

With reinforced concrete walls

$$(2.13) \quad a_{cm\sigma} = b_{cm\sigma} = (0,5 - 0,7) \cdot l_{\sigma\delta}, \text{ m}$$

The length of the charge l_3 is determined by the dependence

$$(2.14) \quad l_3 = (2/3 - 1/2) \cdot l_{\sigma\delta}, \text{ m}$$

The actual length of the blast hole $l_{\sigma\delta\phi}$ is

- for free-standing walls

$$(2.15) \quad l_{\text{вд}\phi} = l_3 + \frac{b_{cr}}{2} \cdot l_3, \text{ m}$$

- for unilaterally stiffened walls

$$(2.16) \quad l_{\text{вд}\phi} = l_3 + \frac{b_{cr}}{2} + l_3, \text{ m}$$

Values of relative explosive consumption q

Table

2.8

Thickness of the destroyed wall b_{cm} , m	Thickness of the blast hole l_{∂} , m	Values of the relative consumption of the explosive q , kg/m ³ (ammonite №6)		
		for brick walls	for concrete walls	for reinforced concrete walls
0,45	0,30	2,20	2,40	2,60
0,50	0,33	1,98	2,16	2,34
0,60	0,40	1,65	1,80	1,95
0,70	0,47	1,43	1,56	1,69
0,80	0,57	1,10	1,20	1,30
0,90	0,60	1,00	1,08	1,17
1,00-1,30	0,67-0,87	0,80	0,96	1,04
1,30-1,50	0,87-1,00	0,77	0,84	0,91
1,50-1,70	1,07-1,13	0,72	0,78	0,80
1,70-1,90	1,20-1,27	0,55	0,60	0,65
1,90-2,50	1,27-1,67	0,44	0,48	0,48

In the small charge method, the distance between the blast holes and the rows is limited and reduced. The operating time of the blasting process is increased by using the so-called small charges and the scattered structure of the charges.

The method is used in blasting works in settlements, industrial and residential buildings and near sites, communications and equipment. The blasting works are performed with special precision, and the parameters are modelled with great accuracy.

Parameters of the blasting works are: line of least resistance W , distance between blast holes in row a , distance between rows b , length of blast hole l_{∂} , mass of charge Q , number of charges, etc.

The accepted line of least resistance W is

$$(2.17) \quad W = 0,5 \cdot b_{cm} \quad , \text{ m}$$

The distance between the blast holes a is recommended to be

$$(2.18) \quad a = 0,5 \text{ m} \div 2 \cdot W, \text{ m}$$

The distance between lines b is determined by the dependence

$$(2.19) \quad b = 0,866 \cdot a \quad , \text{ m}$$

The maximum values for b for reinforced concrete walls are 0.43 m, and for brick and concrete walls – 0.85 m.

For complete fragmentation of walls, the blast holes are arranged in several rows in a checkerboard pattern, and for incomplete destruction of walls the blast holes are arranged in one row.

The length of the blast hole l_{∂} is defined so that the charge is placed in the middle of the wall with free-standing walls and closer to the stiffened part of unilaterally free-standing walls.

The actual length of the blast hole $l_{\text{вд.ф}}$ for a small charge is determined:

- for free-standing walls

$$(2.23) \quad l_{\text{вд.ф}} = \frac{b_{\text{ср}} + l_3}{2}, \text{ m}$$

- for unilaterally free-standing walls

$$(2.24) \quad l_{\text{вд.ф}} = \frac{b_{\text{ср}}}{2} + l_3, \text{ m}$$

The actual length of the blast hole $l_{\text{вд.ф}}$ with two or more small charges is

$$(2.25) \quad l_{\text{вд.ф}} = l_{3\text{ап}} + l_{3\text{ао}} + r_{\text{МЗ}}, \text{ m}$$

and

$$(2.26) \quad R_{\text{МЗ}} \leq l_{\text{з.МЗ}} + l_{\text{д.МЗ}}, \text{ m}$$

where $l_{\text{вд.ф}}$ is the actual length of the blast hole, m;

$l_{3\text{ао}}$ – length of the stemming, m;

$r_{\text{МЗ}}$ – distance between small charges, m;

$l_{3\text{ап}}$ – length of charge, m;

$l_{\text{з.МЗ}}$ – length of the upper small charge, m;

$l_{\text{д.МЗ}}$ – length of the lower small charge, m.

The length of the charge l_3 is directly proportional to the mass and inversely proportional to its diameter.

The following methods are known in the literature as existing models for performing blasting operations in solid medium:

- method of charges placed in blast holes;
- method of drilling blasting;
- method of boiler charges;
- method of chamber charges;

The method of charges placed in blast holes is applied in the destruction of rocks, for the extraction of valuable minerals, small excavations and fragmentation of oversized rock pieces. It provides even fragmentation and is characterised by low seismic action of the explosion, a large volume of drilling and labour intensity during loading.

The main parameters that must be calculated in advance are: line of least resistance, mass of the charge, and distance between the rows and between the blast holes in a row.

The line of least resistance is determined by the formula:

$$(2.27) \quad W_n = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{p}{q \cdot m}}, \text{ m}$$

where p is the capacity per meter linear of the blast hole, kg/m (Table 1.2);

m – relative distance between charges: in case of fire explosion

$m = 1.2 - 1.5$; in case of delayed blasting $m = 1.0 - 1.4$; in case of instantaneous blasting $m = 0.8 - 1.1$ m.

q - relative consumption of explosive, kg/m³.

The depth of the blast hole depends on the height of the rise and the depth of the recess:

$$(2.28) \quad l_{\infty} = H + l_{np} \quad , \text{ m}$$

where: H – height of the rise, m;

l_{np} – depth of the recess, m.

The distance between charges in a row can be assumed:

$$(2.29) \quad a = m \cdot W \quad , \text{ m}$$

where a is the distance between the rows:

- in case of instantaneous detonation:

$$(2.30) \quad b = 0,85 \cdot W \quad , \text{ m}$$

- in the case of a millisecond explosion:

$$(2.31) \quad b = W \quad , \text{ m.}$$

The mass of the charge is determined by the formula:

$$(2.32) \quad Q_{\infty} = q \cdot a \cdot W \cdot H \quad , \text{ kg}$$

where Q_{∞} is the mass of the charge per explosive hole, kg/m³;

q – relative consumption of explosive, kg / m³;

a – distance between the blast holes, m;

W – line of least resistance, m;

H – height of the rise, m.

Another method is that of drilling blasting. This method, compared to the blasting hole method, reduces the volume of drilling work, reduces the relative consumption of explosive and increases labour productivity.

The main parameters of the drilling and blasting works during the drilling blasting are: line of least resistance, diameter and depth of the drilling, distance between the rows and between the drillings in a row, mass and structure of the charge.

The line of least resistance depends on the diameter of the charge, the charge density and the relative consumption of explosive substance:

$$(2.33) \quad W = 24 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\Delta}{q}} \quad , \text{ m}$$

where W is the line of least resistance, m;

D – diameter of the borehole, m;

Δ – charging density, kg/dm³;

q – relative consumption of explosive, kg/m³.

The loading density of the boreholes can be assumed in the range:

- for explosive suspensions $\Delta = 0.8-1.2 \text{ kg/dm}^3$;

- for gelled explosives $\Delta = 1.2-1.5 \text{ kg/dm}^3$;

- for cartridge explosives $\Delta = 0.8-0.9 \text{ kg/dm}^3$;

- for explosives $\Delta = 1,5-1,6 \text{ kg/dm}^3$;

- for granular explosives $\Delta = 0,8 \text{ kg/dm}^3$.

In the literature, many authors recommend that W be expressed by the diameter of the borehole:

$$(2.34) \quad W = (30-40) \cdot d \quad , \text{ m}$$

The calculated values of W according to the above formulas are checked under the safety condition, from the detonation of the charges of the first row:

$$(2.35) \quad W \geq W_n = 3 + H \cdot \cotg \alpha, \text{ m}$$

where W_n is the line of least resistance with respect to the first row;

H – height of the rise, m;

α – angle of inclination of the rise, degrees;

3 – minimum distance from the first drilling row to the upper edge of the rise slope, m.

If $W > W_n$, the calculations are performed with W , and if $W < W_n$, the calculations are performed with W_n .

The length of the borehole is determined by the formula:

$$(2.39) \quad l_c = H + l_{np}, \text{ m}$$

The distance between the charges in the row depends on the relative distance “ m ” ($m = 0.9 - 1.6$) and the line of least resistance “ W ”.

$$(2.40) \quad a = (0.9 - 1.6) \cdot W, \text{ m}$$

The choice of the value of the coefficient “ m ” depends on the category of the scale, the degree of fragmentation and the scheme of disposal of the boreholes. For rocks that are difficult to explode, $m < 1.2$ is allowed; for medium explosives – $m = 1.2$, and for easily explosive rocks – $m > 1.2$.

The distance between the rows depends on the geometric dimensions of the net:

- for square grid $b = a$;

- for rectangular grid $b = W$;

- for chess-board net $b = 0.865 \cdot a$.

In the literature, it is recommended that the distance between the rows in a millisecond blast be taken in the range $b = (0.9 - 1.0) \cdot a$, and for the instantaneous blast – $b = 0.865 \cdot a$.

The number of rows depends on the width of the destroyed rock mass and the distance between the rows:

$$(2.41) \quad N_p = \frac{B}{b} - 1$$

where N_p is the number of rows, number;

B – width of the rock massif, m;

b – line spacing, m.

The number of boreholes in a row depends on the length of the rock massif to be destroyed and the distance between the boreholes in a row:

$$(2.42) \quad N_{cp} = \frac{L}{a}$$

where N_{cp} is the number of boreholes in a row, number;

L – length of the rock massif, m;

a – distance between boreholes in the row.

When determining the mass of the charge, this formula should be used:

$$(2.43) \quad Q_c = q \cdot a \cdot W \cdot H, \text{ kg}$$

where Q_c is the mass of the drilling charge, kg;

q – relative consumption of explosive, kg/m^3 ;

W – line of least resistance;

H – height of the rise.

Inclined drilling holes are used for greater rise height and relatively low slope inclination. Their parameters are determined in sequence and with formulas, as in vertical drilling. In that:

$$(2.44) \quad l_c = \frac{H}{\sin \alpha} + l_{np}, \text{ m}$$

The structure of the charge can be continuous and dispersed.

With a continuous column structure of the charge, at the bottom of the bore-hole is placed $(1/4 - 1/5) \cdot Q_c$, then the initiating charge is placed, with the section of detonating cord protruding above the drill opening not less than 0.5 m.

In a dispersed structure, the mass of the charge is divided into several charges, the gaps between them being filled with dense material or air.

The explosion of the charges can be done in a capsule-free way or in an electric way, with one initiating charge placed in each charge (Fig.2.3).

The mass of the charge is determined by the formula:

$$(2.45) \quad Q_p = Q_o + Q_c + Q_z, \text{ kg}$$

where Q_p is the mass of the distributed charge, kg;

Q_o – mass of the lower charge, kg;

Q_c – mass of the average charge, kg;

Q_z – mass of the upper charge, kg.

The mass of the lower charge must be:

$$(2.46) \quad Q_o \leq 0,5 \cdot Q_p, \text{ a } Q_c = Q_z = 0,25 \cdot Q_p, \text{ kg}$$

The total length of the air gaps can be assumed:

$$(2.47) \quad l_M = \alpha_M \cdot l_3, \text{ m}$$

where l_M is the length of the air gaps, m;

α_M – coefficient of the gaps.

Depending on the strength of the rocks $\alpha_M = 0,15 - 0,35$

l_3 – length of the charge without the gaps, m.

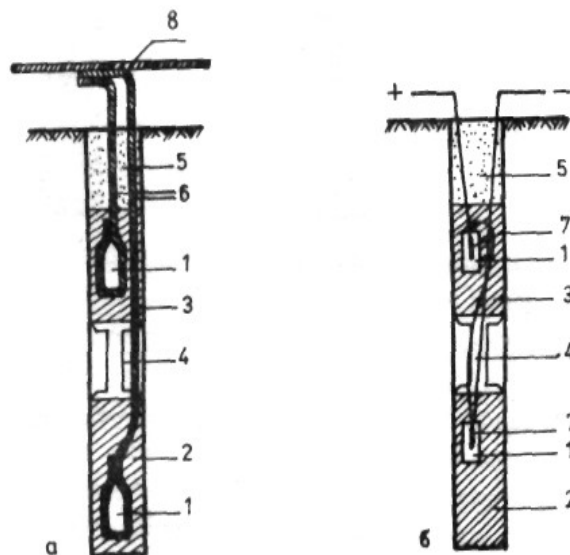


Fig.2.3. Columnar diffuse charges prepared for blasting.

a – diffuse charge prepared for blasting in a capsule-free manner; **b** – diffuse charge prepared for blasting electrically

1 – initiating charge; 2 – lower charge; 3 – upper charge; 4 – limiter; 5 – stemming; 6 – section of detonating cord; 7 – electric detonator; 8 – main detonating cord

The total length of the diffuse charge depends on the length of the lower charge, the length of the middle charge, the length of the upper charge and the length of the gaps.

In any case:

$$(2.48) \quad l_3 \leq l_c - 15 \cdot d_3, \text{ m}$$

where l_3 is the length of the distributed charge, m;

l_c – length of the borehole, m;

d_3 – diameter of the charge, m.

The stemming must have a length of not less than $15 \cdot d_3$. The total length of the inert gaps and the stemming occupy $(0,30 - 0,40) \cdot l_c$.

The method of boiler charges is used when a large resistance at the base of the rise has to be overcome and to reduce the volume of drilling work.

The boiler charge (Fig.2.5) is a concentrated charge placed in a boiler cavity. This method of destruction is applied to rocks that have a firing index $\Pi_{np} > 5 \text{ dm}^3/\text{kg}$ (which is expressed in the ratio between the volume of the boiler and the mass of the firing charge).

The charge intended for the formation of a boiler cavity is called a firing charge, the mass of which is determined by the formula:

$$(2.49) \quad Q_{np} = \frac{Q_k}{\Pi_{np} \Delta}, \text{ kg}$$

where Q_{np} is the mass of the firing charge, kg;

Π_{np} – shooting rate, dm^3/kg ;

Q_k – mass of the boiler charge, kg;

Δ – charging density, kg/dm^3 .

The shooting rate is taken from reference data or by experience:

$$(2.50) \quad \Pi_{np} = \frac{V_k}{Q_{np}}, \text{ dm}^3/\text{kg}$$

where V_k is the volume of the boiler, dm^3 .

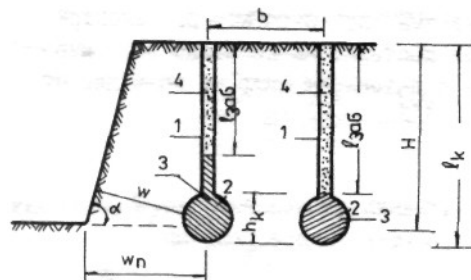


Fig. 2.4. Boiler charge

1 – drilling; 2 – boiler cavity; 3 – charge; 4 – stemming

The boiler cavity is filled with powder or water-filled explosives. First, 75-85% of the mass of the boiler charge is placed, then the initiating charge is placed, and the rest of the charge is added. Explosive substance is placed above the boiler charge in the borehole at a height of $(5-10) d_3$.

The mass of the boiler charge and the other parameters of the drilling and blasting works are determined by the formulas:

$$(2.51) \quad Q = qW^3, \text{ kg}$$

$$(2.52) \quad W = kh, \text{ m}$$

where k is a coefficient depending on the strength of the rocks: for strong rocks $k = 0.4 - 0.6$; for rocks with medium strength $k = 0.5 - 0.7$; for weak scales $k = 0.6 - 0.9$;

Lower values are considered for stronger rocks and foot height above 14 m; W should not be less than 2.5 – 3 m.

$$(2.53) \quad a = k_1 W, \text{ m}$$

where k_1 is a coefficient depending on the strength of the rocks and the required degree of fragmentation; $k_1 = 1.2 - 1.4$ for easily explosive / monolithic large-block/ rocks; $k_1 = 0.8 - 1.1$ for rocks that are difficult to explode /strongly cracked rocks with horizontal occurrence/.

$$(2.54) \quad b = k_2 W, \text{ m}$$

where k_2 is a coefficient depending on the method of blasting and the strength of the rocks;

$k_2 = 0.9 - 1.1$ in case of instantaneous blasting; $k_2 = 1,1 - 1,4$ at millisecond explosion.

The method of chamber charges is applied in case of destruction of a large volume of rock mass. For the purpose of placing the concentrated charge, the so-called charging chamber is made, with dimensions such that a corresponding amount of explosive is fitted (Fig.2.5).

The mass of the chamber charge is determined by the formula:

$$(2.55) \quad Q_{k3} = qW^3, \text{ kg}$$

where q is the relative consumption of explosive, kg/m^3 ;

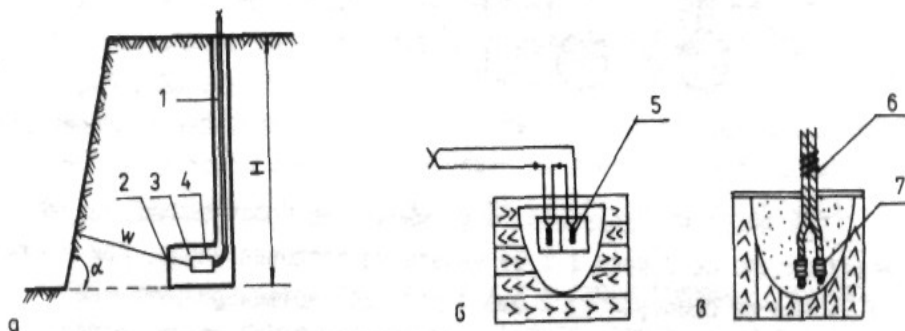


Fig.2.5. Chamber charge

a – chamber charge; **b** – initiating charge prepared for blasting in an electric manner; **c** – initiating charge prepared for detonation with a knot of detonating cord.
1 – well; 2 – chamber; 3 – charge; 4 – initiating charge; 5 – electric detonator; **b** – section of detonating cord; 7 – knot of detonating cord.

W – line of least resistance, m.

The distance between the charges is determined by the formulas:

- at the same line of least resistance of adjacent charges:

$$(2.56) \quad a = mW, \text{ m}$$

- at different values of the line of least resistance of adjacent charges:

$$(2.57) \quad a = m \frac{W_1 + W_2}{2}, \text{ m}$$

where W_1 and W_2 are values of the line of least resistance of two adjacent charges.

2.2.2. MODELS FOR INCREASING THE EFFECT OF SPECIAL CHARGES IN EMERGENCY RESCUE ACTIVITIES

In the literature, the term **charge** means a certain amount of explosive prepared for detonation.

The mass of the charges depends on the size of the exploded objects and the type of material from which they are made, and is calculated on a case-by-case basis.

According to their shape, the charges are:

- focused;
- extended;
- cumulative;
- figured;

According to the location of the charges relative to the exploded objects, they are:

- internal;
- external.

Depending on whether the charges are placed closely stuck to the exploded object or are located at a distance from it, they are:

- contact;
- non-contact.

The initiation of the internal charges should be done as close as possible to their geometric centre. External charges of various shapes must be initiated from the side opposite to the detonated object.

Cumulative charges have the greatest application in emergency rescue activities.

Cumulative charges are used for drilling thick metal sheets, armour and reinforced concrete equipment, etc. When the cumulative charge explodes, a sharply directed narrow jet with a high concentration of energy is formed, which provides a strong penetrating and cutting action at a considerable depth (Fig. 2.6).

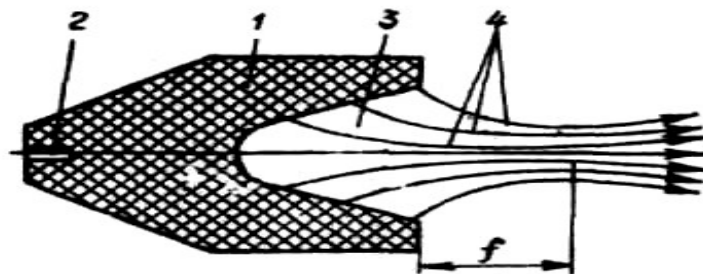


Figure 2.6. Cumulative jet generation scheme:
1 – explosive charge; 2 – socket ; 3 – cumulative cavity; 4 – trajectory of gas particles; f – focal length

The essence of the action of the cumulative charges is shown in Figure 2.7. If

an ordinary charge explodes on a thick steel plate, a slight dent is formed in it. When charged with the same dimensions, but with a conical cumulative hollow, the explosion in the steel plate forms a crater with about 5 to 8 times greater depth than in the first case.

In order to form a physical model of the phenomenon of the cumulative jet, it is necessary to introduce some assumptions:

1. Because under the influence of enormous pressure, at which a cumulative jet is formed, the metal behaves like a liquid. We assume that the deformation energy of the shell is lower than its kinematic energy.

2. We assume that the density of the metal body remains a constant value $\rho = \text{Const.}$

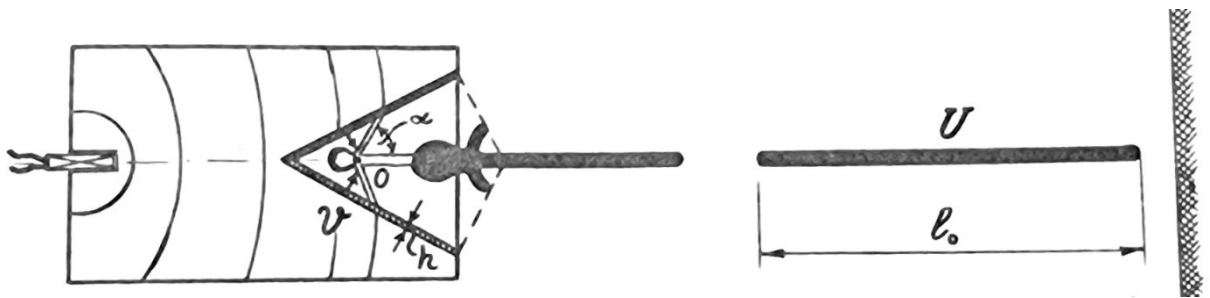


Figure 2.8. Cumulative jet action:

h – thickness of the cavity lining; v_0 – speed at which the lining particles enter the point “0” if it is stationary; v – velocity of the particles of the lining; U – cumulative jet velocity; l_0 – length of the cumulative jet.

These two assumptions give us the right to consider metal as an ideal liquid. In this connection, the law of hydrodynamics can be applied.

We will look at the problem in a coordinate system starting at a fixed point “0” (actually this point moves at speed W relative to a relatively fixed barrier).

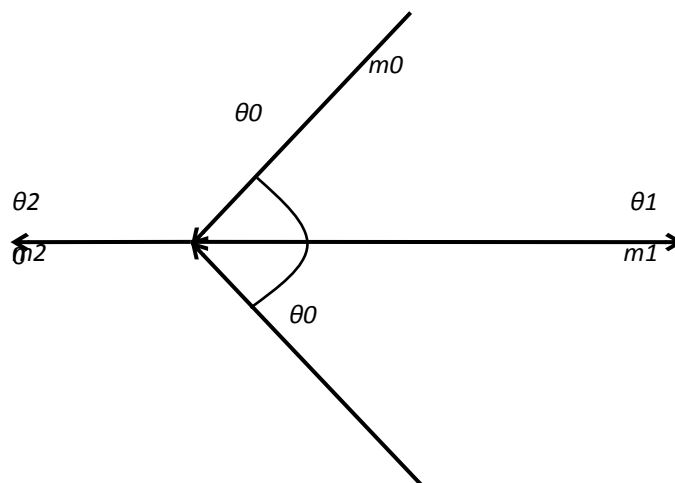


Figure 2.9. Cumulative cavity coordinate system:

h – thickness of the cavity lining; v_0 – speed at which the lining particles enter the point “0” if it is stationary; v – velocity of the particles of the lining; U – cumulative jet velocity; l_0 – length of the cumulative jet.

We apply three laws of preservation of the physical model to obtain a mathematical model.

a) Law on mass storage:

$$(2.58) \quad m_0 = m_1 + m_2;$$

b) Law of preservation of momentum:

$$(2.59) \quad J = \underbrace{m_2 v_2 - m_1 v_1}_{\square} - \underbrace{m_0 \cdot v_0 \cdot \cos \alpha}_{\square} = 0$$

$$(2.60) \quad m_2 v_2 - m_1 v_1 = m_0 \cdot \cos \alpha$$

c) Law on energy preservation:

$$(2.61) \quad \frac{m_0 v_0^2}{2} - \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

In the obtained three equations the known quantities are: v_0, m_0, α , and the unknown ones are m_2, v_2, m_1, v_1 , i.e. the system is not closed. By comparing formulas 2.59 and 2.62, they can be replaced and have a common solution only if:

$$(2.62) \quad v_0 = v_1 = v_2.$$

Thus, the system of equations takes the following form:

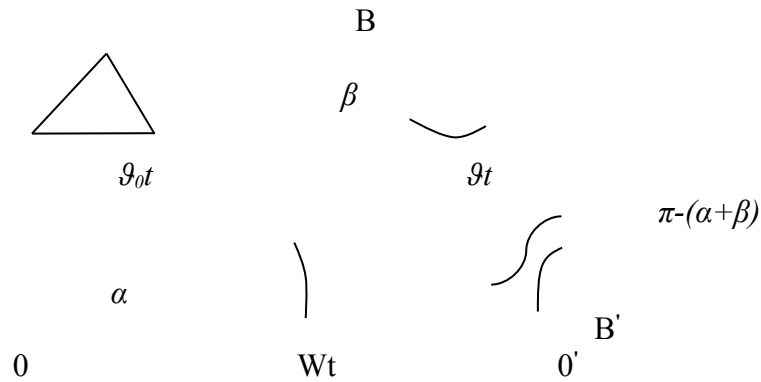
$$(2.63) \quad \left. \begin{array}{l} m_2 + m_1 = m_0; \\ m_2 - m_1 = m_0 \cdot \cos \alpha. \end{array} \right\}$$

By solving the system of equations, we obtain:

$$(2.64) \quad \left. \begin{array}{l} m_1 = m_0 \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}; \\ m_2 = m_0 \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2}. \end{array} \right\}$$

Because the angle is sharp, the mass that spreads forward is always less than the mass that spreads backward.

The results obtained above are valid for a fixed coordinate system, but in fact the point "0" itself does not move relative to the speed "W".



According to the sine theorem:

$$(2.65) \quad \frac{v_0 t}{\sin \alpha} = \frac{vt}{\sin \beta} = \frac{v_0 t}{\sin (\alpha + \beta)}$$

where:

$$(2.66) \quad W = v_0 \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$$

$$(2.67) \quad v_0 = v_0 \cdot \frac{\sin (\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$$

If the angles “ α ” and “ β ” are known (and they must be set) and the velocity of the particles is denoted by “ v_0 ”, then the velocities “ W ” and “ v_0 ” are found.

$$(2.68) \quad U = W + v_0 = W + v_0;$$

$$(2.69) \quad U_x = W - v_0 = W - v_0$$

or

$$(2.70) \quad U = \frac{\sin \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right)}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

$$(2.71) \quad U_x = \frac{\cos \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right)}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

The armour-piercing effect of cumulative charges is a process of penetration of a cumulative jet into a barrier and is similar to the reverse process of formation of a cumulative jet. Therefore, the formulas obtained above can be used to quantify the characteristics.

2.6. TECHNOLOGIES FOR CONDUCTING EXPLOSIVE WORKS IN HARD MEDIUM

2.3.3. TECHNOLOGIES FOR CONDUCTING EXPLOSIVE WORKS IN A HARD MEDIUM – ELECTRICAL METHOD

Electrical blasting technology is a set of sequential operations that include:

- checking the resistance of the electric detonators and calibration with a difference of 0.25Ω : I gr. $2.5 - 2.75 \Omega$; II gr. $2.75 - 3.0 \Omega$.
- selection and calculation of the electric blasting network;
- checking the working condition of the branches of the electric blasting network;
- making initiating charges;
- preparation of chargers, charging and stemming;
- installation of the electric blasting network and inspection after withdrawal of all people;
- blasting.

Depending on the type of electrical detonators used, the electrical explosion can be instantaneous, millisecond and second. Each of these cases of explosion has its advantages and disadvantages, and in practice, they are used according to the specific features of the destroyed object and the conditions under which it explodes.

The effect of the millisecond blast depends on the correct selection of the delay interval. It must be equal to the time required for the cracks caused by the first series of charges to become as large as possible without waiting for them to subside. Based on many production experiments, it has been found that the interval between explosions depends on the properties of the destroyed materials and on the line of least resistance.

It is determined by the formula:

$$(2.72) \quad t = k \cdot w, \text{ m}$$

where k is a coefficient taking into account the properties of the exploded mass;

w – line of the least resistance.

S. A. Davidov recommends the following values for the coefficient k : for very strong rocks $k = 3$; for strong rocks $k = 4$; for rocks of medium strength $k = 5$, and for soft rocks $k = 6$.

If the calculated interval t is different from the one of the electrical detonators, detonators are adopted with approximately the same time of delay.

2.3.4. TECHNOLOGIES FOR PERFORMING BLASTING WORKS IN A HARD MEDIUM WITH A NON-ELECTRICAL BLASTING SYSTEM “NONEL”

The sequence of operations of this system is:

- placement of initiating charges with lower or upper initiation;
- loading of ED, borehole, boiler or chamber with explosives;
- connecting the ends of the waveguides of the NPED detonators with the surface connectors;
- connection of the main waveguide with the end of the connecting elements SL, ε clip, grouping connector or Snapline 0 and with the blasting machine “Dinostart”.

To initiate the field, first press the **CHARGING** button until the machine’s LED lights up continuously. Then, while holding down the CHARGING button, press

the **FIRING** button.

The **electronic blasting system** is the latest technology for blasting. In it, the pyrotechnic delay body in electric and non-electric detonators is replaced by an electronic chip. The delay received with the electronic chip is absolutely accurate without distraction. Therefore, when applying this system, the effects of millisecond blasting are used to the fullest.

The use of the electronic blasting system leads to the following:

- the seismic action of the explosion is reduced almost twice due to the complete interference of the waves and the equalization of higher and lower explosion peaks;
- better fragmentation of the material due to the full interaction of the individual charges;
- reduction of the relative consumption of explosives due to the fuller use of energy, etc.

CONCLUSIONS FROM CHAPTER TWO

The following conclusions have been drawn from the analysis and research of the considered means of detonation and the methods and technologies of detonation:

1. The clearing of the backfills in case of disasters, accidents and catastrophes should be connected with the methods and technologies of blasting and the possibilities for use of engineering equipment;
2. The methods of explosive holes and small charges, as well as the delayed detonation have the greatest effect for limiting the harmful effects of the explosion;
3. The “Nonel” system is a modern non-electric blasting system which increases safety at work and gives better results in terms of control and safety of blasting operations.

CHAPTER 3. METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF BLASTING WORKS IN EMERGENCY RESCUE OPERATIONS

3.2. OPTIMISATION OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE SAFE DISTANCES OF THE HARMFUL EFFECTS OF THE EXPLOSION

3.1.1 OPTIMISATION OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE SAFE DISTANCES OF THE HARMFUL EFFECTS OF THE EXPLOSION IN THE EVENT OF A SHOCK WAVE

The distance at which the shock-air wave of charges does not cause damage to a certain degree is calculated by the formulas:

$$(3.1) \quad R_y = K_m \sqrt{Q}, \text{ m}$$

$$(3.2) \quad R_y = K_n \sqrt{Q}, \text{ m}$$

where:

R_y is the minimum admissible distance, m;

Q is the charge mass, kg;

K_m and K_n are proportionality coefficients depending on the mass of the charges and the nature of the damages, respectively.

Transformed formulas (3.3.) and (3.4) with coefficient K_3 are offered – coefficient of the stemming, depending on the type and properties of the used materials.

$$(3.3) \quad R_y = K_3 K_m \sqrt{Q}, \text{ m};$$

$$(3.4) \quad R_y = K_3 K_n \sqrt{Q}, \text{ m}.$$

The values of the coefficients K_m , K_n and K_3 for an open charge are determined according to Table 3.1., Observing the following conditions:

- For open charges greater than 10t, 1st, 2nd and 3rd degree of safety, and charges greater than 20t, which are completely dug, at 1st and 2nd degree of safety, safety factor K_n is adopted and formula 3.4 is used;
- For all other degrees, formula 3.3 is used;
- When choosing the degree of safety and the values of the coefficients, the whole set of local conditions is taken into account;
- The coefficients in table 3.1. are given within certain limits; one or another value is selected depending on the condition of the object for which the radius of the safe zone is determined; the stronger the object, the smaller the value of the coefficient can be adopted;
- A charge placed in water at a depth of less than half the height of the charge is considered as an open charge;
- Transmission lines belong to the category of stable structures in terms of the action of the shock-air wave;
- The indicators of the explosive substances are not considered.

If the protected object is located immediately behind a barrier (at the end of a dense forest, at the foot of a hill), standing in the way of the shock-air wave propagation, the distance can be reduced, but not more than 2 times.

When carrying out blasting work in narrow valleys, passages or between walls (streets), the distance is doubled.

The following means may be used to reduce the damaging effect of the air shock wave:

- Backfilling of open charges with powder mass with a height of at least 5 times the height of the charge and a width of not less than 6 times the height of the charge at the base of the backfill; in such cases, the radius of the danger zone can be reduced 4 times;
- To protect the glazing of buildings, the window frames are removed or strong shields are used, tightly covering the windows. It is allowed to open and fasten the windows in the open position, which does not exclude individual damage to the glazing;
- Protection with sandbags or crates filled with sand or soil.

The use of sacks and crates filled with sand is recommended to apply to the protection of windows and doors in cases when it is necessary to protect the interior of the building from shock wave.

Values of the coefficients K_m , K_n and K_3

Table 3.1

D
E
G
R
E
E
O
F
S
A
F
E
T
Y

OPEN CHARGE

INTERNAL
CHARGE

POS-
SIBLE
DAMAG
ES

Q
,
T

K

K

K
3

Q
,
T

K

K

K
3

L
E
S
S

0
,
9

L
E
S
S

0
,
8

T
H
A
N

50-
150

-
0
,
9
2

T
H
A
N

20-
50

-
0
,
8
2

LACK
OF
DAMAG
ES

1
0
M
O
R
E

0
,
9

2
0
M
O
R
E

0
,
8

T
H
A
N

400

-
0
,
9
2

T
H
A
N

200

-
0
,
8
2

1
0

ACCI-
DENTAL
DAMAG
ES TO
THE
GLAZIN
G

10-
30

0
,
9
2
-
0
,
9
4

2
0

L
E
S
S

5-
12

0
,
8
2

T
H
A
N

T
H
A
N

0
,
8
4

1
0

2
0

D E G R E	POS- SIBLE DAMAG ES	OPEN CHARGE			INTERNAL CHARGE				
		Q , T M O R E T H A N 1 0 L E S S T H A N 1 0 M O R E T H A N 1 0	K	K 60- 100	K 3	Q , T M O R E T H A N 2 0	K	K 50	K 3
3	COM- PLETE DESTRU CTION OF THE GLAZIN G; PARTIA L DAMAG E TO FRAMES				0 , 9 2 -				0 , 8 2 -
	DOORS, DAMAG E TO PLASTE R AND INTERN AL LIGHT PARTITI ONS		5-8		0 , 9 4 -				0 , 8 4 -
4	DE- MOLI- TION OF INTERN AL PARTITI ONS, FRAMES			30- 50	0 , 9 4 -		2-4		0 , 8 4 -
			2-4		0 , 9 6 -		1-2		0 , 8 6 -
					0 , 9 8				0 , 8 8

D E G R E	POS- SIBLE DAMAG ES	OPEN CHARGE			INTERNAL CHARGE				
		Q , T	K	K	K 3	Q , T	K	K	K 3
5	DOORS, LIGHT BUILDINGS, SHEDS, ETC. DE- MOLI- TION OF WOODEN, BRICK BUILDINGS, OVERTURNING OF RAILWAY TRAINS	-	1,5	-2	1	-	0,5	-1	0 , 9

The radius of the zone dangerous for people for the action of the air shock wave R_x is calculated by the formula:

$$(3.5) \quad R_x = 15 \sqrt[3]{Q}, m$$

where Q is the mass of the open charge, kg.

The distance according to formula (3.5) is used only when it is necessary to bring people as close as possible to the place of explosion. In other cases, the resulting distance should be increased 2-3 times. In the presence of shelter, the distance calculated by this formula can be reduced up to 1.5 times.

For internal charges, the calculated distance according to formula 3.3 can be reduced up to 2-3 times.

3.1.2. OPTIMISATION OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE SAFE DISTANCES OF THE HARMFUL EFFECT OF THE BLAST WHEN FRAGMENTS ARE SCATTERED

The minimum permissible safety distances for people when rock fragments are scattered when blasting charges in boreholes R_p , calculated on crushing action, is determined by the formula:

$$(3.6) \quad R_p = 1250 \cdot r_3 \sqrt{\frac{f}{1+r_{3a6}} \cdot \frac{d}{a}}, m$$

A transformed formula 3.9 is proposed with coefficient K_{nl} – coefficient depending on the density of the material used for stemming:

$$(3.9) \quad R_p = 1250 \cdot r_3 \sqrt{\frac{f}{1 + r_{3a6} \cdot K_{nl}} \cdot \frac{d}{a}}, \text{ m}$$

The values of the coefficient K_{nl} are presented in table 3.2.

Values of the coefficient K_{nl}

Table 3.2

Type of material	Values of the coefficient K_{nl}
Coarse quartz sand	1.20
Fine quartz sand	1.25
Sandy clay soil	1.30
Clay sandy soil	1.40

When blasting a series of charges in the boreholes of the same diameter with variable parameters a , r_{3a6} and r_3 , the safety distance is calculated by the smallest values of a and r_{3a6} and the largest of r_3 of all in the given series.

If the blast section of the mass is rocks of different strength, the maximum value of the coefficient f is taken when calculating R_p .

When determining the safe distances in the process of drilling and blasting, it is necessary to take into account the possible deviations of the individual parameters of the blasting of the drilling charges from those accepted in the project. Therefore, R_p is determined by taking the minimum possible values of the parameters a , r_{3a6} and the maximum possible values for r_3 in the process of blasting.

When carrying out blasting operations on steep slopes and when the upper line of the blasting section is higher than the others by more than 30 m, the radius of the danger zone downwards increases with the safe distances for the flight of the individual pieces calculated by the formula:

$$(3.10) \quad R_{pas} = R_p \cdot K_p$$

where: R_{pas} is the dangerous distance because of scattered fragments on the side of the inclination of the steep slope or the area situated lower than 30 m from the top line of the blast area;

K_p is a coefficient taking into account the peculiarities of the terrain; when blasting on a steep slope, K_p is determined by the formula:

$$(3.11) \quad K_p = 1 + tg\beta$$

where β is the angle of the inclination of the steep slope to the horizon, degrees;

When instead of β , the excess of the place of explosion over the boundaries of the danger zone is known, K_p is determined by the formula:

$$(3.12) \quad K_p = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4H}{R_p}} \right), \text{ m}$$

where: H is the excess of the upper line of the detonated section at the boundary of the danger zone.

The calculated value of the safety distance is rounded to a larger number, a multiple of 50 m.

The minimum permissible safety distance for people when fragments are scattered is proposed to be determined according to table (3.3), depending on the action indicator of the charge explosion (n) and the length of the line of least resistance (W).

When detonating a series of charges with different W and n, the radius of the danger zone should be determined according to table (3.3), assuming the largest value of W at the same n or the largest value of n at the same W. If W and n are variables, the largest radius is taken for given n and W.

If a route of significant length (500 m and more) is detonated, where in different parts of it the charges have different values of W and n, conditionally the whole route is divided into several sections with close or identical values of W and n and the radius of the danger zone of each section is determined.

As a result of a practical experiment, the following values of the indicator of the action of the explosion of the charge n at $Q = const$ are proposed:

Table 3.3

Line of the least resistance (W) not more than, m	Radius of the danger zone for people, m, at value of the indicator of the charge blast (n)		
	1.5	2.0	2.5
1.5	250	300	350
2.0	350	450	550
4.0	450	650	750
6.0	550	750	950

3.2. APPLICATION OF SPECIAL CHARGES IN THE DESTRUCTION OF ELEMENTS OF STRUCTURES AND BUILDINGS

3.2.1. DRILLING ACTION OF CUMULATIVE CHARGES

The process of penetration of the cumulative jet into a barrier is similar to the reverse process of its formation (Figure 3.1.).

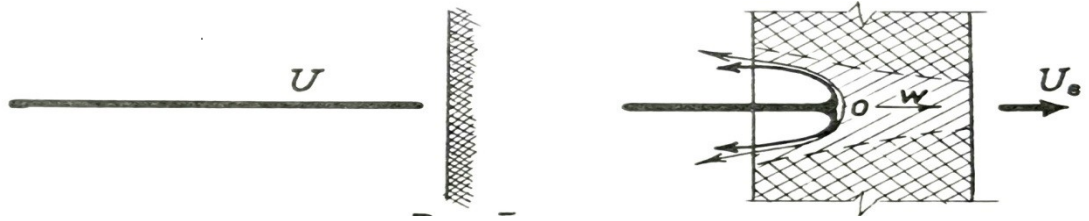


Figure 3.1. Penetration of the cumulative jet into a barrier

To the extent that the barrier acts as a “tail” of the cumulative jet, then:

$$(3.13) \quad U_x = W - \vartheta_0 = 0$$

or
$$W = \vartheta_0;$$

then:

$$(3.14) \quad U_x = W + \vartheta_0 = 2W;$$

where the velocity of penetration of the cumulative jet comes from

$$(3.15) \quad W = \frac{U}{2}.$$

We determine the depth of penetration of the cumulative jet into the barrier if the effective length of the jet is l_{ef} , the speed at point A (Fig. 3.2.) is equal to U , and the speed of its penetration into the barrier is $W = \frac{U}{2}$.

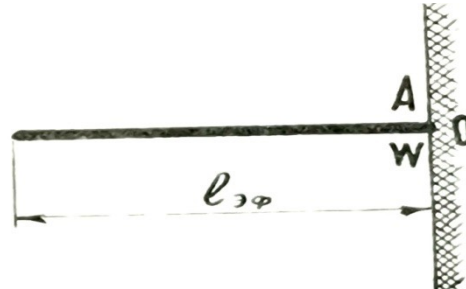


Figure 3.2. Depth of penetration of the cumulative jet

Time for penetration of the jet into the barrier:

$$(3.16) \quad t_{np} = \frac{l_{ef}}{W}.$$

Point “O” will travel a distance in the barrier:

$$(3.17) \quad h = t_{np} \cdot W = l_{ef}.$$

The depth of penetration of the cumulative jet into the barrier when the material of the jet and the barrier are the same:

$$(3.18) \quad h = l_{ef}$$

And when the material of the jet and the barrier is different:

$$(3.19) \quad h = \sqrt{\frac{\rho_{cmp}}{\rho_{np}}} \cdot l_{ef}.$$

We will consider the effect of the jet against the barrier as absolutely non-elastic.

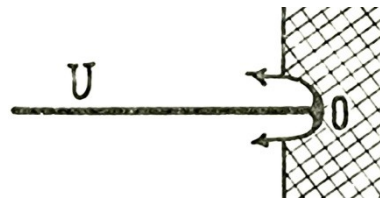


Figure 3.3. Effect of the cumulative jet on the barrier

$$(3.20) \quad dJ = P \cdot dt = W \cdot dt \cdot \rho \cdot dF \cdot (W-0)$$

hence $P = \rho W^2;$

but $W = \frac{U}{2};$

then:

$$(3.21) \quad P = \frac{\rho U^2}{4}.$$

When determining the pressure in the formula, we need to take the lower of the densities of the jet and the barrier.

3.2.2. EFFECT OF THE EXPLOSION OF CUMULATIVE CHARGES IN THE DESTRUCTION OF OTHER MATERIALS (EXCLUDING METAL)

It becomes clear from the calculations that for the cases considered, the velocity of the jet is $10,000 \text{ m/sec}$, the penetration speed is $W = 5,000 \text{ m/sec}$, and the speed of sound is $a_1 = 5100 \text{ m/sec}$, i.e. the process here will be subsonic in remote materials.

In some other materials, the speed of sound is significantly lower, and the process will be supersonic, i.e. before the jet there will still be a shock wave. Due to the shock wave on the opposite side of the barrier, chipping occurs and cracks are formed, thus increasing the destructive effect (Fig. 3.4).

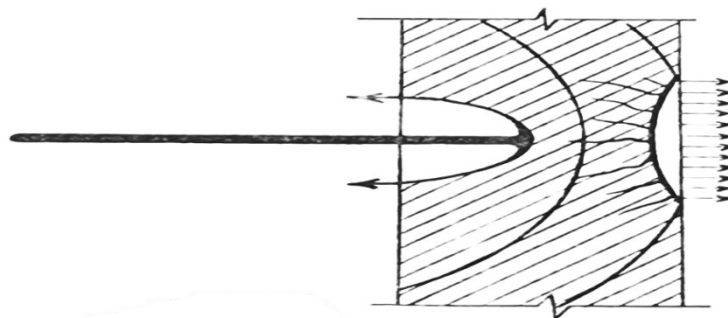


Figure 3.4. Formation of cracks due to the cumulative jet

In a multilayer barrier (made of materials with different speed of sound), it is possible to locate a fracture in the surface layer (Fig. 3.5).

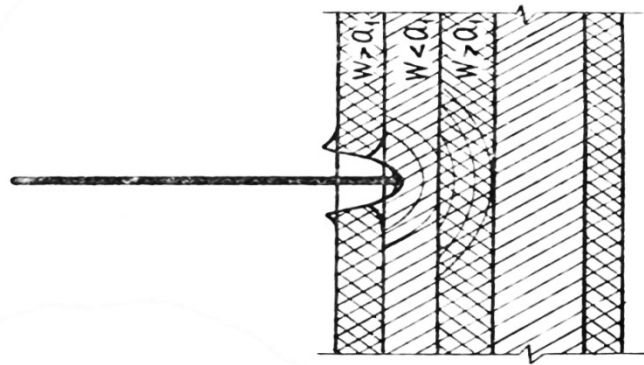


Figure 3.5. Destruction in the surface layer of a multilayer barrier

3.2.3. METHODOLOGY FOR CALCULATING THE EFFICIENCY OF CUMULATIVE CHARGES

The calculation of the efficiency of the cumulative charges is proposed to be performed in the following sequence:

- the shape of the cumulative charge must be set;

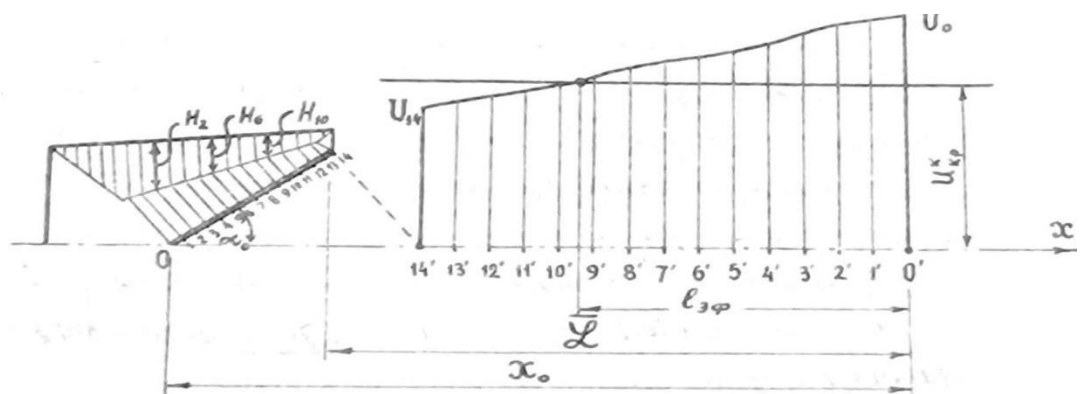


Figure 3.6. Graphics of the distribution of the explosive products of the charge

- The graph of the distribution of the explosive products of the charge (Fig. 3.6) shows the effective thickness of the explosive layer for a number of fixed points of the lining of the cumulative section;

- Taking into account the actual detonation velocity and the velocities of each particle determined by the previous point, the shell profiles are designed for the moments of approach of all points to the axis of the section. The angles thus determined between the direction of the shell and the axis of the cumulative section are taken according to the calculations (each point will have its own angle α);

- According to formulas 2.71 and 2.72, the cumulative jet velocities are calculated for each control point;

- The moment of completion of the formation of the cumulative jet is determined by the formula:

$$(3.22) \quad t_{\varphi} = \frac{l_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0}{\vartheta_n},$$

where: ϑ_n – exiting the axis of the last point of the cumulative jet;

- The position of the zero point at the end of the formation of the cumulative jet is:
(3.23) $X_0 = U_0 \cdot t_0$;
 - In the same way, the places of all control points are determined;
 - At the places of the found points in the vertical scale (Fig. 3.6), the velocities in these points are plotted;
 - On the velocity graph, the value of the critical velocity for the material of a given barrier and the cumulative jet " U_{kp}^k " determines the effective jet length;
 - The distance thus determined from the point "0" to the charge "L" is the optimal distance of the charge from the barrier;
 - The depth of penetration into the barrier is determined by formulas 3.18 or 3.19;
- If the calculated charge does not break through the barrier, the calculation is repeated until a charge with the required parameters is obtained.

3.3 TECHNICAL SOLUTIONS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF BLASTING WORKS DURING EMERGENCY RESCUE ACTIVITIES

3.3.1. DETERMINING THE NECESSARY BALLAST ON THE EXPLOSION FIELD

The main calculation element in the design of the protection device is its mass. The mass of 1 m² of covering area is determined by the formula:

$$(3.23) \quad P_n = k \cdot w \cdot \rho, \text{ kg/m}^2,$$

where: k is a coefficient depending on the type of covering;

w – depth of fragmentation, m;

ρ – volume density of the material of the destroyed site, kg/m³ (Table 3.4).

For gas-permeable protective devices $k = 0.07$, and for gas-tight ones $k = 0.25$, when the device is placed at a certain height above the site, and $k = 0.33$, when the device is placed directly on the site.

Volume density of construction materials

Material	Density ρ, kg/m³	Material	Density ρ, kg/m³
<i>Table 3.4</i>			
Rock materials		Concrete	
basalt	2,700 – 3,000	plain	2,300
granite	2,600 – 3,000	reinforced concrete	2,500
sandstone	2,700	asphalt concrete	2,200
marble	2,600 – 2,700		
limestone	2,500 – 2,900	Metal	
marl	2,500	steel	7,800
clay shales	2,500 – 2,600	cast iron	7,200
Artificial materials			
bricks	2,500 – 2,600		
blast furnace slag	1,100		

When using a protective device, the mass of which is determined by formula (3.23), the pieces of the destroyed object are located in an area with a radius of 10-15 m.

The explosive device uses protective devices of various kinds, most of which are made of handy material.

3.3.2. PROTECTIVE COATINGS OF BUILDING ELEMENTS AND STRUCTURES

Protective coating is used in the demolition of strip and massive foundation. Its structure consists of a wooden skeleton on which a metal net is placed. This coating applies to gas-tight protective devices.

Box-shaped metal coating is used in making trenches and channels in an explosive manner near guarded sites. The cover is a sledge on which metal ribs are welded and has the shape of a box without a lid. A wire mesh (chain link) is attached to the metal skeleton. It is usually 3-4 m wide, 6-8 m long and about 1.5 m high. It is used as a gas-permeable and gas-tight device.

Car tyre cover is made of old tyres which are connected to each other with a thick wire or reinforcing iron on separate shields. Due to its own weight and strength, it provides high quality protection.

Covering of beams or planks is made of beams with a diameter of 20-25 cm or planks with a thickness of 8-10 cm, connected to each other with bolts, ropes or wire. To increase their durability, they are covered on the inside with old car tyres.

Shock absorbers are designed to absorb the impact of the fall of the destroyed building and to protect against damage to pipelines and other underground facilities. Its structure consists of two sand cushions with a height of 1m, located along the guarded facility. Beams with a diameter of 15-20 cm are arranged on them.

Protective walls are used in the demolition of individual walls and buildings. They are shields made of wood or sacks filled with sand. With regard to the protected wall, they can be placed vertically or at an angle of 45°. In the case of vertical protective walls, a ` is arranged, which allows the fragmented masonry to accumulate in the empty space between the protective and the destroyed wall. The protective walls are located 1.5 – 2 m from the outside of the building along its entire circumference and have a height of 2 – 2.5 m.

Safety shields protect window panes, units and equipment from scattering pieces of masonry. They are wooden shields made of boards with a thickness of not less than 3 cm.

A coating of several layers of steel mesh, covered with sandbags, prevents the scattering of small pieces of rock. It is necessary to make sure that there is no contact between the wires of the electric blasting network and the steel net.

Protective shields and steel mesh coatings are mainly used for sheathing exploded columns during the demolition of skeletal buildings. The covering of the columns with wooden shields is done on all sides, and when covered with steel mesh, 5-6 rounds of the columns are made.

Geotextiles are placed on the outside of the skeletal buildings after the columns have been sheathed in order to reduce the scattering of smaller pieces. In the case of buildings with a height of up to twelve floors, the canvas must cover at least the first and second floors. For taller buildings, the third floor is also covered.

The use of protective devices makes it necessary to reduce the relative consumption of explosives and increase the length of the stemming. Additional means, time and labour are required for their production, installation and removal, which leads to an increase in the cost of blasting work.

Nevertheless, in settlements and near guarded sites, it is necessary to use protective devices.

3.3.3. IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGIES IN BLASTING WORKS DURING EMERGENCY RESCUE ACTIVITIES

Residential and industrial buildings are distinguished by their design features. In some of them the load is taken by the skeleton of the building, and in others – by the external bearing walls. In this regard, in blasting practice, buildings are considered skeletal and non-skeletal.

The structural features of the buildings more or less influence their destruction. In skeletal buildings, their load-bearing structure must be demolished, and in non-skeletal buildings, the demolition of the load-bearing walls is sufficient to demolish the building.

When demolition is carried out under limited conditions, i.e. there are buildings and facilities nearby that must be protected from damage, it is preferable to demolish in the direction. The main method of demolition of buildings is considered to be the method of small charges. In some cases, when safety measures are lowered and there are no protected objects near the destroyed building, the method of contact external charges can be applied, but the radius of action of the air shock wave and the scattering of fragments must be determined very precisely.

Demolition of skeletal buildings can be carried out in an explosive manner on site or in direction.

The demolition of skeletal buildings in direction includes the demolition of beams, areas and columns floor by floor. The beams and the areas are destroyed in pieces, and the columns also in pieces, but at different levels in a plane inclined at an angle of 15-20°. In addition, in order to ensure demolition in direction, the front columns are destroyed with three rows of charges, the middle ones – with two rows, and the rear ones – with one row.

In the case of non-skeletal buildings, the load-bearing walls, partition walls, columns and slabs, if any, are subject to destruction. When destroying non-skeletal buildings in direction, the charges are located in an explosive plane, inclined to the ground at an angle of 15-20°. Blast holes are drilled from the inside of the building around its entire circumference. 2-3 horizontal rows of blast holes for brick walls and at least 3 rows for reinforced concrete walls are drilled in the walls facing the direction of fall. 2 sloping rows are drilled in the side walls, and one horizontal row is drilled in the back walls. The first sloping row is located at an angle of 20°, the second row – at an angle of 15°. The narrow end of the wedge is at the height of the horizontal row of charges on the rear wall.

The inner walls parallel to the demolition side are drilled with one or two rows of blast holes at the level of the blast holes from the sloping rows of the side walls.

When demolishing skeletal buildings, the parameters of the blasting works are determined using a methodology in the following sequence:

- parameters of the blasting works for external walls;
- parameters of the blasting works for interior walls;
- parameters of drilling and blasting works for corner blasting holes.

The outer walls are considered load-bearing (loaded), and the inner walls are considered unloaded. In most cases, they are freestanding.

The sequence for determining the parameters is the same as for the demolition of brick, concrete and reinforced concrete walls:

- determination of the line of least resistance

$$(3.24) \quad W = 0,5 \cdot b_{cm}, m$$

where W is the line of least resistance;

b_{cm} – thickness of the wall.

- determination of the distance between the blasting holes

$$(3.25) \quad a = 0,5 \div 2W, m$$

where a is the distance between the blasting holes.

Most often $a = W$; $a = 1,5W$ and $a = 2W$. The best destruction happens when $1,5W \leq a \leq W$.

For brick or concrete walls with $b_{cm} > 2m$ and for reinforced concrete walls at $b_{cm} > 1m$, $a \leq W$ is taken.

The maximum distance between the blasting holes with reinforced concrete walls is 0,5 m, and with brick walls – 1 m.

Large and massive buildings are destroyed in two parts. In this case, on the vertical plane, which has the task to cut part of the building, all structural elements (walls, beams, slabs) are destroyed. In this case, the blasting of the charges located in the vertical plane is one step ahead of the main blasting.

When demolishing objects with a cubic shape in the direction of security of demolition, it is also expedient to initially cut the building into two separate parts and successively blow up each part separately in one direction.

When demolishing tall buildings and structures in the shape of a parallelepiped in direction, blasting at an angle of 15° is proposed only on the first 3 – 4 floors, where the following results are achieved:

- significant reduction of the number of blast holes and reduction of the time for their drilling and loading;
- reducing the amount of explosives used and limiting the perimeter of their harmful effects;
- demolition of structures with limited space near protected sites.

CONCLUSIONS FROM CHAPTER THREE AND RECOMMENDATIONS

As a result of the conducted research and the obtained results, the following conclusions can be made:

1. The proposed values of the stemming coefficients K_3 and the coefficient depending on the density of the material used for stemming $K_{пл}$ reduce the harmful effects of the explosion during shock wave and scattering of rock fragments, reducing the radius of the danger zone for people and possible damage to adjacent buildings in the area of the explosion;

2. The use of protective devices is mandatory when the radius of the danger zone has to be shortened, when exploding on the territory of settlements or in industrial enterprises, and when people are relatively close to the site to be destroyed;

3. When demolishing tall buildings and structures in the shape of a parallelepiped, it is recommended to detonate at an angle for the first 3-4 floors when demolishing structures with limited space near protected sites and to significantly reduce the number of explosive holes, the amount of explosives used and to limit the perimeter of the harmful effects of the blast.

SCIENTIFIC-APPLIED AND APPLIED RESULTS

SCIENTIFIC-APPLIED RESULTS

1. It has been established that the various protective barriers between the protected objects and the harmful effects of the explosion require adjustments to the existing formula apparatus for determining the safe distances.

2. The existing calculations based on an experiment with explosives and their protective equipment have been improved and corrected.

3. The theory of explosion in the use of explosives in order to increase the efficiency of blasting in emergency rescue activities was analysed, and it was determined that the main damaging factors were the scattering of blown pieces, fragments and the air shock wave due to their larger values relative to other impacts.

4. The technology of blasting works for demolition of structures of buildings of different shapes was analysed, and new methods of blasting were proposed in order to reduce the damage from the harmful effects of the blast and increase the efficiency of blasting works in emergency rescue activities.

APPLIED RESULTS

1. Variants of protective coatings on the earth's surface have been proposed with different structures of various materials for protection of the guarded sites from the impact of the explosion.

2. Options have been proposed for the construction of protective coatings for blasting of tall buildings, and the effective use of geoplates to reduce the scattering of the smallest pieces of the structure has been proven;

3. New methods for demolition of cubic and tower-shaped buildings in limited conditions have been proposed;

4. Ways have been proposed for calculating the charges and the sequence of blasting in the demolition of buildings of various shapes, ensuring the efficiency and safety of blasting works;

5. Correction coefficients K_3 and $K_{пл}$ have been proposed and confirmed in the formula apparatus in determining the parameters of the impact of the explosion on people, equipment and facilities, depending on the type and properties of the material used for stemming.

6. It has been proposed to determine the safe distances from the action of the explosion for people and equipment depending on the mass of the charge based on the theoretical analysis and the results of practical research.

**LIST
OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS IN THE AREA OF THE
DISSERTATION**

1. Petlyankov P.V., Terziev Y.H., “Drilling and blasting works for crushing rock mass”, Proceedings of the annual university scientific conference, Vasil Levski National Military University, Veliko Tarnovo, 2016 – volume 2, ISSN 1314-1937.

2. Petlyankov P.V., Terziev Y.H., “Blasting reinforced concrete elements under water”, Proceedings of the annual university scientific conference, Vasil Levski National Military University, Veliko Tarnovo, 2016 – volume 2, ISSN 1314-1937.

3. Terziev Y.H., Petlyankov P.V., “Blasting works for deepening the bottom of a water basin”, Proceedings of the annual university scientific conference, Vasil Levski National Military University, Veliko Tarnovo, 2016 – volume 2, ISSN 1314-1937.

4. Petlyankov P.V., “Destruction of non-skeletal buildings”, Proceedings of the annual university scientific conference, Vasil Levski National Military University, Veliko Tarnovo, 2018 – volume 9, ISSN 1314-1937.