

маг. инж. СИБИЛА ДИНКОВА СТОИЛОВА

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА УДАРНА ВЪЛНА ВЪРХУ ОБЕКТИ
И СЪОРЪЖЕНИЯ ПРИ ИЗВЪРШВАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ В
ПРОМИШЛЕННОСТТА И СТРОИТЕЛСТВОТО

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

СОФИЯ
2014

Дисертацията се състои от увод, три глави и заключение.

Обемът е 107 страници, 34 фигури

Библиографската справка обхваща 15 литературни източника на кирилица и 28 на латиница,
3 международно използвани стандарта и 3 архивни източника

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“

гр. СОФИЯ

маг. инж. СИБИЛА ДИНКОВА СТОИЛОВА

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА УДАРНА ВЪЛНА ВЪРХУ ОБЕКТИ И
СЪОРЪЖЕНИЯ ПРИ ИЗВЪРШВАНЕ НА ВЗРИВНИ РАБОТИ В ПРОМИШЛЕННОСТТА И
СТРОИТЕЛСТВОТО

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИЯ

ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА СТЕПЕН „ДОКТОР“

ПО НАУЧНА СПЕЦИАЛНОСТ

„МИННО СТРОИТЕЛСТВО“

НАУЧЕН КОНСУЛТАНТ:

проф. д-р инж. Валери Митков

РЕЦЕНЗЕНТИ:

СОФИЯ
2014

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Актуалност на дисертационното изследване

Актуалността на изследването произтича от масово навлезлите в практиката съвременни технологии при извършване на взривни работи, които оптимизират организацията на работа. Редица нововъведения както от гледна точка на техниката, така и от гледна точка на използваните материали осигуряват значително по-високо ниво на безопасност при работа, както и по-добро управление на взривния ефект. Параметрите, действащи на взривния ефект, варират до голяма степен и практически определянето на безопасна зона е основателно да се извършва не на база изменението им, а на общото им действие.

Принципната позиция, която налага изследването на параметрите на ударната вълна във въздушна среда са използваните в нормативната уредба зависимости за изчисляване безопасните разстояния при условия на работа в местности с урбанизирани райони в близост или индустриални постройки и съоръжения, които се явяват охраняем обект. Основната цел на промишлените взривни работи е добиване на раздробена скална маса, която да бъде натоварена и транспортирана. Раздробяването на скалните късове е необходимо да бъде с определен зърнометричен състав така, че следващите процеси /трошене и пресяване/ да изключват работа по извънгабаритни късове.

При детонацията на заряд взривно вещество се образува енергия, която не се изразходва единствено за раздробяването на масива. Тази енергия се определя като излишна, а действието ѝ като странично. Страничният ефект на взрива има негативно въздействие върху цялостта на близко разположени строителни структури и върху комфорта на обитаващите ги хора.

Въздействието на ударната вълна се изследва теоретично от гледна точка на известни физични зависимости по отношение на създаването налягане, продължителност на действие на ударната вълна и съответно импулс. Тези характеристики са от съществено значение за работата, която извършва взривът. Параметрите и условията, от които зависи, определят мерките за безопасност при провеждане на технологични или специални взривни работи, касаещи очакваните разстояния на разпространение на ударната вълна във въздуха, разлет на скални късове или осколки, количество газообразни продукти от взривната реакция, сеизмично действие и не на последно по степен на важност – възприемането на ударната вълна от човека.

2. Цел и задачи

Целта на изследването е определяне на количеството взривно вещество, при което въздействието на ударната вълна във въздуха ще има безопасни нива на определено разстояние от взривното поле.

За постигане на целта се поставят следните задачи:

1. Изследване на допустимите стойности на ниво на свръхналягането във въздушна среда.
2. Разработване на методика за оценка на действието на ударната вълна във въздушна среда.
3. Извеждане на зависимост на количеството взривно вещество към разстоянието за допустимите нива на свръхналягането при удовлетворяващи условия на прилагане коефициенти.

3. Обект и предмет на изследването

Обект на изследване на настоящия дисертационен труд е системата „разстояние – количество взривно вещество – свръхналягане“ при определяне на въздействието на ударната вълна във въздушна среда при промишлени взривни работи в открити условия.

Предмет на изследване е въздействието на ударната вълна във въздушна среда и последващото евентуално засягане на цялостта или здравината на обекти (сгради в населени райони и индустриални постройки), които се намират в зоната на действие на въздушната ударна вълна, като това основно се отнася до остъклените части, тъй като в структурно отношение са най-податливи на ударно въздействие, поради значителната неизометричност на двете направления на структурата спрямо третото и крехкостта на материала.

Основните предпоставки, които определят въздействието на ударната вълна, са интензивността ѝ и характера на структурата /средата/, с която взаимодейства. За определяне на

интензивността на ударната вълна на определено разстояние е приета широко използваната в световната практика величина „Приведено разстояние“. Тя изразява отношението на разстоянието спрямо кубичен корен от количеството взривно вещество.

Тази зависимост е приложима за технологични взривявания, но като отношение на разстоянието, за което се извършва изчислението, спрямо количеството взривно вещество, взривявано в рамките на един интервал от време.

4. Методология на дисертационното изследване:

4.1. Извеждане на методологична последователност за определяне на количеството взривно вещество при извършване на взривни работи в промишлеността като функция от разстоянието до обекта и допустимите нива на свръхналягането във въздушна среда при изяснен механизъм на образуване на ударната вълна и разпространението ѝ в скална или въздушна среда.

4.2. Обработка на данни от направени измервания на налягането от въздушната ударната вълна при взривяване на единични сондажи с цел изследване на действието на ударната вълна посредством взривосеизмична апаратура.

4.3. На базата на принципа на индукцията са направени изводи чрез анализ и сравнение на данни от извършените взривосеизмични измервания при определяне на действието на ударната вълна във въздушна среда за тенденционното поведение на профила на налягането в зависимост от характера на средата, в която се взривява зарядът.

4.4. Обработката на данните от единичните взривявания и изведени в практиката зависимости допускат при представения общ вид на функцията „свръхналягане – приведено разстояние“ да се направи дедуктивно извеждане на зависимост за определяне на допустимото количество взривно вещество при зададено разстояние до охраняем обект.

За разработване на методика за оценка на действието на ударната вълна във въздушна среда са приложени регресионен анализ на експериментални резултати от замерване на надналягането в атмосферата на нивото на земната повърхност.

За постигане на оптимална точност при извеждане на зависимост „разстояние – количество взривно вещество“ са използвани въведени в световната практика зависимости и регламентираните чрез експериментални изследвания допустими нива на свръхналягането.

5. Обем и структура на дисертацията

Дисертационният труд съдържа три глави, 34 фигури.

Библиографската справка обхваща 15 литературни източника на кирилица и 28 на латиница, 3 международно използвани стандарта и 3 архивни източника.

Съдържанието е конструирано в увод, три глави, заключение, изводи и приложения.

В първа глава са представени основните положения в дисертационното изследване и определянето на параметрите на ударната вълна.

Във втора глава е развита методологията на работа, която се диктува от механизма на генериране и разпространение на ударната вълна.

В трета глава са представени резултатите от обработката на данни и техният анализ.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

II.1. Увод

Основната цел на промишлените взривни работи е добиване на раздробена скална маса, която да бъде натоварена и транспортирана. Раздробяването на скалните късове е необходимо да бъде с определен габарит така, че следващите процеси /трошене и пресяване/ да изключват работа по извънгабаритни късове.

Въздействието на ударна вълна във въздушна среда зависи освен от характеристиките на взривното вещество и от условията, при които протича взривният процес. То се изразява в съществено изменение на въздушната среда около мястото на взрива – рязко покачване на налягането в определен периметър и образуване на ударна вълна, следвана от разширяващия се

газовъздушен поток на продуктите на взрива. Управлението на взривните параметри като линия на най-малкото съпротивление, разположение и последователност на взривяване на зарядите, характеристики на взривното вещество, както и скалните параметри като якост, наличие и ориентация на пукнатини, обводненост на масива създава условия за намаляване на страничното действие на взрива.

II.2. Основни положения.

Един от нежеланите ефекти на промишлените взривни работи в открити условия е образуването на въздушна ударна вълна. Тя рядко причинява повреди или разрушения на сгради или други строителни конструкции, но създава силен внезапен грохот и земни вибрации.

Когато зарядът е затворен (ограничен със забивка) и разсредоточен като тези, които се използват при взривяването на сгради и съоръжения, се изчислява така, че въздушното въздействие да не е с високи параметри, а да има ефект само върху цялостта на структурата. Важна характеристика при определяне на действието на ударната вълна е дали зарядът е открит или е разположен в зарядно пространство. Тази характеристика е от съществено значение за разпространението на ударната вълна, особено ако мощността на взривното вещество не е съобразена. Подходящото проектиране, покриване и контролиране на взривните работи по отношение на амплитудата на въздушната ударна вълна и земните вибрации както и предоставяне на обективна информация би намалило постъпилите оплаквания от живеещи в близост хора и като цяло взривяването би било по-ефективно.

Детонационният процес се явява своеобразна граница при разделяне на взривните вещества на слаби или мощни, докато границата между горенето с висока скорост и взрива представлява скоростта на разпространение на звука в даденото вещество. Съпоставянето на взривни характеристики по корен трети от количеството на заряда е приложимо при взривяване на заряди с различни размери на различни разстояния от гледна точка на извеждане на сравнителна характеристика.

Зависимостта „разстояние – трети корен от количеството на заряда“ е формулирана от Хопкинсон /1915/ на базата на сравнение на два заряда с различни размери и подобна форма на едно и също взривно вещество, взривени при едни и същи условия. Следователно, всяко разстояние R от взривно вещество с маса Q може да бъде представено като приведено разстояние за заряда по формулата:

$$r = \frac{R}{Q^{1/3}}.$$

Когато стойностите на свръхналягането, импулса и продължителността на действие на отделни взривявания се представят като функция от приведеното разстояние те могат да бъдат сравнявани.

Според Ериксон представената зависимост е валидна за измерване на малки стойности на налягането на фронта на открит заряд най-често се използва следната зависимост:

$$P_+ = 0,7 \frac{Q^{1/3}}{R},$$

където налягането е дадено в bar, масата – в kg, а разстоянието – в m.

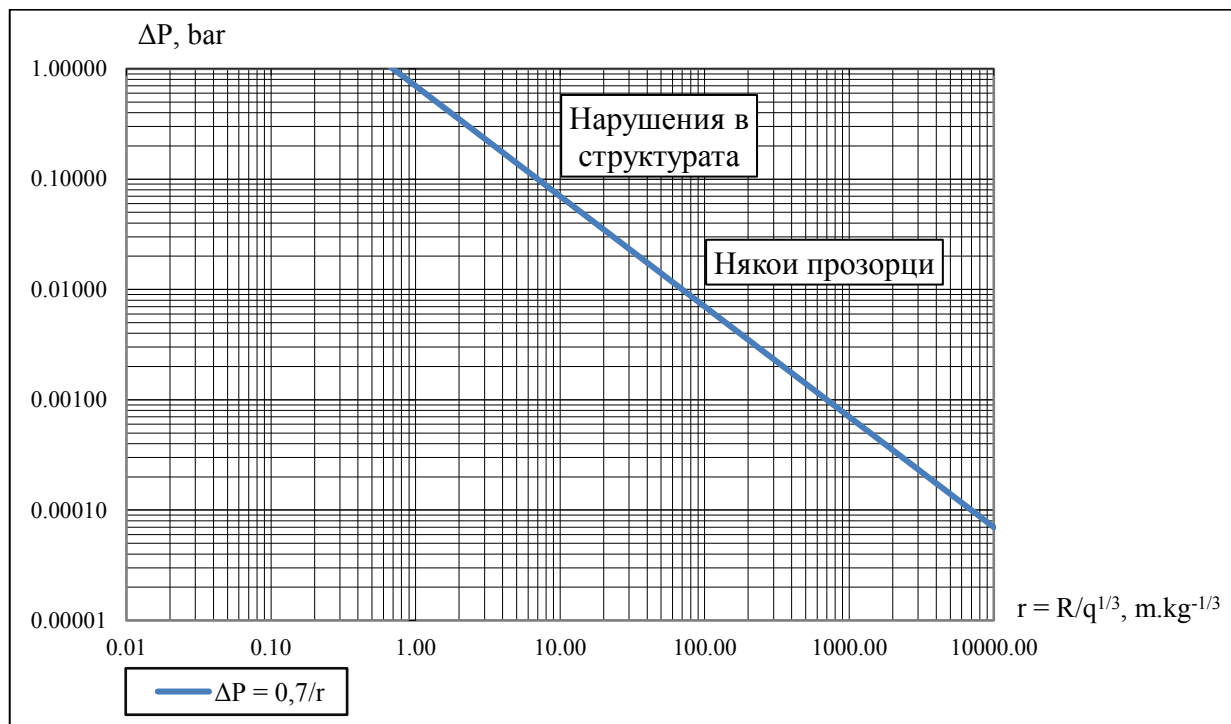
Тази формула е валидна при стойности на приведеното разстояние по-големи от 50 m/kg^{1/3}.

Десетичната логаритмична скала е удобна при измерване на нивата на шума, когато се прави оценка на стойностите от гледна точка на допустимите нива на въздействие звука върху слуховия апарат на човека. Чуваемата фаза на въздушния взрив може да варира в широк спектър от честоти и амплитуди и заради това десетичната скала е възприета, за да отразява въздействието на звука върху слуха и комфортното състояние на човека и при взривни работи в близост до местоработата или местоживеенето му:

$$\text{dB} = 20 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right),$$

където $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ bar} = 2,9 \cdot 10^{-9} \text{ psi}$ е граница на човешкия слух /относителна стойност, която характеризира минималното звуково натоварване на човешкия слух/.

За да отговаря на дадени стандарти, тази скала се използва за сравнение на нивата, при които се отбелязва дадено въздействие върху средата, която обкръжава заряда. На по-далечно разстояние ударната вълна се възприема като звук от гръм, но преди да премине във звуковата фаза налягането, което оказва върху въздушната среда може да бъде отчетено като звуково натоварване върху микрофонна мембрана /разположението на микрофона се определена посредством установените стандарти за запис/. От значение е не само разположението на микрофона спрямо земната повърхност, но и спрямо намиращи се в близост сгради или съоръжения, заради различните стойности на свръхналягането при интерференцията на падащата и отразената в преградата вълна.



Фигура 1. Номограма, определяща свръхналягането при ударна вълна във въздушна среда, bar, като функция от приведеното разстояние, m/kg^{1/3}.

Взривният ефект върху сгради и други структури зависи от амплитудата и продължителността на импулса, когато ударната вълна достигне обекта. От значение също така е и това дали площта, върху която въздейства е перпендикулярна на разпространението на ударната вълна или е разположена успоредно. В зависимост от твърдостта и еластичните свойства на структурите те реагират различно на въздушната ударна вълна.

Реакция на човека към въздушната ударна вълна:

Повечето хора са чувствителни към действието на взрива, а ефектът от него засяга:

- здравословното състояние;
- ориентацията, разположението и дейността на човек;
- психическо състояние /уплаха/;

Когато има наличие на други звуци и вибрации, те могат да направят въздействието на ударната вълна незабележимо.

Обобщените стойности установените в света допустими стойности на възприятие и въздействие на ударната вълна във въздушна среда са изведени в таблица 1.

На практика, условията, в които протича детонационният процес, определят параметрите на детонационния фронт. Карьерните заряди контактуват пряко със скалния масив, което значително променя условията, при които се разпространява ударната вълна. Това се изразява най-вече в значително намаляване на свръхналягането и импулса. Често разликата в нивата на звуковия ефект

е осезаема за човешкия слух, когато се използва забивка или когато линията на най-малкото съпротивление е твърде малка.

Таблица 1.

Обобщени нива на свръхналягането от ударната вълна във въздушна среда

Ниво	Възприемане от човек	Въздействие върху обекти	Pa	dB
Ниво I	Подобно на далечен гръм; Събуждане на чувствителни хора		20	120
Ниво II	Силен гръмотевичен звук; Събуждане на спящи хора		50	128
Ниво III	Грохот, подобен на юмручен удар; Дрънчане на стъкла; Реакция на страх; Събуждане на спящи хора	Недобре закрепени предмети падат и се движат върху полици; /препоръчвано ниво за взривяване на земната повърхност USMB/	100	134
Ниво IV	Силен удар; Рефлекс на страх при хора; Дрънчане на стъкла; Вибрации на слаби конструкции	Пукнатини в тавана; Тапети и лошо изпълнена мазилка могат да паднат /безопасно ниво по проектна стойност за технологични взривявания/	200	140
Препоръчвана стойност на NitroConsult	Праг на слуховото натоварване	Повреждане на стъкла	250	142
Ниво V	Много силен шум; Прозорците дрънчат; Сградите вибрират; Страх при повече хора	Напукване на боя и тапети върху леки стени; Мазилката се напуква от дървени стени; Мазилката пада на ленти; Обекти от стени и полици могат да паднат	500	148

Изследването на неизменно образуващия се пик в налягането при вълната на свиване се основава на строги математически закономерности в газовата динамика.

Анализът на база литературните източници дава основание да се направят следните изводи:

1. Сложността на взаимовръзката „заряд взривно вещество – скален масив, атмосфера, обкръжаваща среда“ е въпрос на множество теоретични и приложни задачи, касаещи генерирането и разпространението на ударната вълна, които се определят от условията на провеждане на взривните работи. Теоретичните и експериментални постановки при изследването на параметрите на ударната вълна при детонационен процес са предмет на дългогодишна задълбочена работа на много автори и са насочени към оптимално управление на енергията на взрива и намаляване на вредното въздействие върху обкръжаващата среда.

2. Отчитайки многообразието и динамичното изменение на факторите, влияещи върху параметрите на въздушната ударна вълна, основната прероръка е за условията на конкретен обект извършване на детайлни изследвания със съвременна специализирана апаратура и методика за установяване на степента на въздействие по общоприетата в световната взривна практика зависимост „Приведено разстояние ($r=R/Q^{1/3}$) – Свръхналягане във фронта на въздушната ударна вълна (P_+ , dB; Pa: bar)“.

3. Предмет на изследванията при технологични взривявания в кариери (при параметри, осигуряващи желанния ефект) е масата на сондажния заряд на интервал, т.е. определяне схемата на свръзване на сондажите във взривното поле.

4. Обобщените стойности на свръхналягането на фронта на въздушната ударна вълна се определят от критериите на въздействие и включват:
- нива за възприятие от хора;
 - нива за въздействие върху обекти.

II.3. Методика на изследванията

Въз основа на съвременното научно и приложно състояние на проблема с настоящата работа **се цели**:

1. Управление на ключови параметри, които влияят на свръхналягането до снижаване до безопасно ниво за обществената инфраструктура и населението.
2. Изучаване и оценка на действието на съсредоточени заряди в безгранично и ограничено пространство.
3. Изучаване и оценка на действието заряди взривно вещество в сондажна мрежа при извършване на технологични взривявания на кариера „Целовижда“ и възможностите за управление на параметрите на взривната вълна до безопасно ниво за изградените структури и жителите на с. Опицвет.

Методиката на изпълнение на поставените задачи разработена така, че да може да се прилага в промишлеността /рудници, кариери за добив на скален материал/, както и при извършване на пробивно-взривни работи в урбанистични райони.

Основната научно-техническа идея е въз основа на комплексни изследвания върху взаимовръзката между параметрите на взривните работи, проектирани за реализиране на максимален взривен ефект, и въздействието на ударната вълна върху обкръжаващата среда /въздух/ да се направи опит за управление на действието на въздушната взривна вълна до безопасно ниво.

Предмет на изследванията са основните фактори, които влияят върху нивото на въздействие на въздушната ударна вълна в зоната „взривно поле – охраняван обект“, дефинирано от общоприетата в световната взривна практика зависимост „Приведено разстояние ($r = R/Q^{1/3}$, $m/kg^{1/3}$) – Свръхналягане на фронта на взривната вълна (P_+ , $dB(L)$; $Pa(L)$; bar)“, за условията на кариера „Целовижда“.

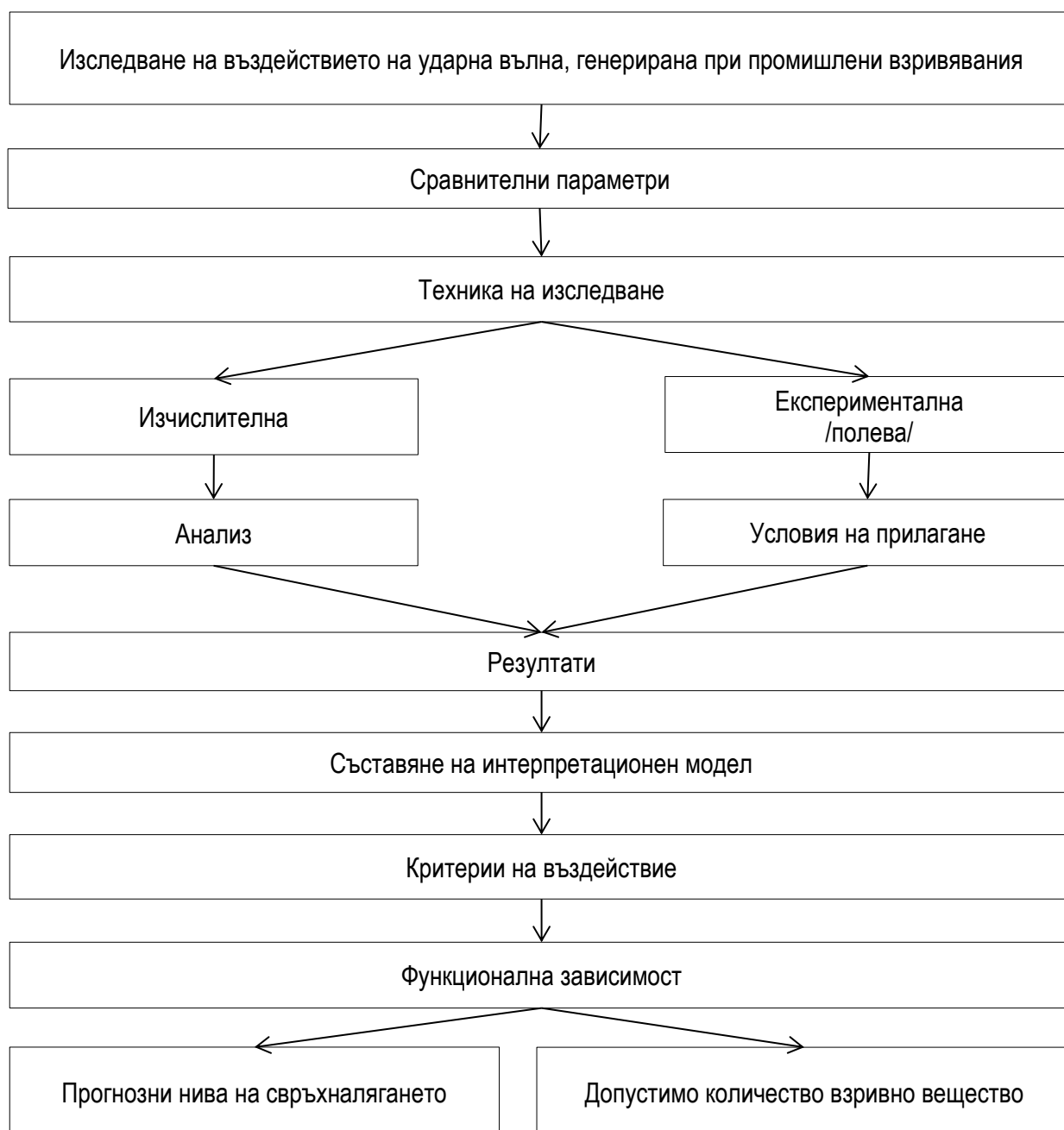
Ограничения върху изследванията внасят:

- Технологичните параметри за разработване на кариерата;
- Геометричните и енергетични параметри на взривните работи, проектирани с цел постигане на оптимален взривен ефект /изисквания към отбиването на скалния масив и зърнометричен състав на материала/.

Методиката на изследване е подчинена на основната цел на дисертационния труд, а именно оценка на въздействието на въздушната ударна вълна при взривни работи на кариера „Целовижда“ и условие за охраняем обект – с. Опицвет. В частност въздействието касае възприемането на свръхналягането от въздушната ударна вълна като странично действие на взрива. Предмет на изследванията е детайлно изучаване на взаимовръзката в комплекса “параметри на взривните работи – регистрирани параметри на въздушната ударна вълна – прогнозираните стойности на въздушната ударна вълна на границата на охраняваната зона и на въздушната ударна вълна в охраняемия обект /с. Опицвет/”.

В дисертационния труд се приема първоначални данни на изследването да са регистрираните стойности при взривяване на заряди от тротилови пресовки. Стойностите могат да бъдат интерпретирани от гледна точка на отчетеното от апаратурата свръхналягане в следните направления:

- чрез регресионен анализ на зависимостта „приведено разстояние – свръхналягане“ по наличните данни от измерванията;
- като сравнителни графики спрямо данните от тротилови пресовки, поставени на земната повърхност и в единични сондажи със забивка;
- като анализ на стойностите на отчетеното свръхналягане от технологичните взривявания спрямо изчислителния модул на измервателната апаратура.



За условията на кариера „Целовижда“ са извършени серия масови взривявания, като за целта на дисертационния труд техните параметри ще бъдат сведени до количество взривно вещество, взривявано в рамките на интервал и като не се отчитат температурните разлики и промяната в атмосферните условия като цяло. В литературата се дава по-ясно разграничение в зависимостите за определяне на свръхналягането, като климатичните условия се свеждат най-общо до летни и зимни.

Безопасното ниво на свръхналягането върху околната среда се формулира като ниво, при което:

- не се нарушава цялостта на жилищните сгради (счупване или напукване на остъклените части);
- не се допуска негативно въздействие на въздушната ударна вълна върху жителите в селото – дрънчане на стъклата или неприятно слухово или психическо възприемане от човек.

От многобройните фактори, които са определящи за въздействието на въздушната ударна вълна върху обкръжаващата среда от гледна точка на ландшафт и климатични условия, за конкретните условия в момента на взривяването са отчетени:

- релефът на местността в зоната „взривно поле – с. Опицвет“;

- температура и налягане на въздуха, наличие на вятър, облачност.

На кариерата се осъществява добив на скален материал за строителни цели. Скалният масив е представен от нормален до здрав варовик, едро до средноблоков. По взривяемост скалният масив се отнася към *нормално взривяем*.

Основните геометрични и енергетични параметри на технологичните взривявания са предназначени за реализиране на максимален взривен ефект. Параметрите на технологичните взривявания са за диаметър на сондажа $d \leq 115 \text{ mm}$, удължен заряд ($l_3 \geq 6r_0$) и оптимална дължина на забивката. Използваните взривни материали като емулсионни взривни вещества, ANFO на основа на порьозна амониева селитра или ГДА, както и средствата за инициране на зарядите и организиране на последователността на взривяване на сондажните заряди във времето и пространството (тротилова пресовка тип „Ели“, неелектрическа система – NONEL UNIDET) са на съвременно световно ниво.

Решаването на задачата се постига чрез изследване на параметрите на въздушната ударна вълна във функция от *масата на заряда взривно вещество, взривен с един интервал на закъснение*.

Методологичният подход включва детайлни изследвания на параметрите на въздушната ударна вълна, генерирана при взривяване на:

- съсредоточен открит заряд ($l_3 \leq 6r_0$). Изследването се ограничава до взривяване на открит заряд от тротилова пресовка с маса 0,415 kg или 0,830 kg като функция от гледна точка на избраната променлива приведено разстояние.

- съсредоточен заряд, заложен в сондаж със забивка. Зарядът е тротилова пресовка 0,830 kg в сондаж с дълбочина $L = 5,0 \text{ m}$ и $L = 8,3 \text{ m}$. Забивката се състои от отработения при пробиване материал.

- технологични взривявания, извършвани в кариерата.

Използваната апаратура („Minimate Plus” – Instantel Inc) е най-съвременната в световната взривна практика за мониторинг (изследване) и контрол на цялостния спектър на взриво-сеизмичното въздействие и параметрите на въздушната ударна вълна.

Методиката на изследване свежда резултатите до единствена променлива, която впоследствие се анализира. Това условие се налага от факта, че при провеждане на взривните работи параметрите са съобразени с условията на средата, атмосферните условия и съответно охраняеми структури.

Обработката и обобщаването на резултати от измервания на параметрите на ударната вълна при различни условия на провеждане на взривните работи е сведено до извеждане на зависимост спрямо една променлива, която да отразява обща тенденция на изследваните резултати.

Същността на изследването се свежда до обработване на наличните данни от регистрираните налягания, при което се използва програмният продукт Microsoft Excel, Microsoft Office. Програмата дава възможност за графични изображения и представяне на тенденционна права в зависимост от разпределението на точките чрез регресионна зависимост на ординатата спрямо абцисата. Ординатата отговаря на измереното свръхналягане P_+ / dB , а абцисата дава стойността на приведено разстояние $r / \text{m.kg}^{-1/3}$. Програмният продукт извежда зависимост на приведеното разстояние към свръхналягането като степенна функция, отговаряща на графиката на регресионната права.

Анализът, извършен спрямо зависимостта „приведено разстояние – регистрирано свръхналягане”, се дава с израза за определяне на нивото на свръхналягане във фронта на въздушна ударна вълна в най-общ вид:

$$P_+ = K \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right)^n, \text{ Pa},$$

където: R е разстояние до мястото на взривяване, m;

Q – масата на взривявания тротилов заряд, kg;

K – коефициент, характеризиращ условията на взривяване;

n – показател, определящ характера на разпространение на вълната във въздушна среда.

За целта на изследванията приведеното разстояние

$$r = \frac{R}{Q^{1/3}}, \text{ m/kg}^{1/3}$$

се приема за единствена променлива спрямо нивото на свръхналягането.

Това условие се налага поради факта, че изследванията върху взривния процес са зависими от множество фактори, които търпят изменение в много широки граници. Отражението на тези условия в графиката на функцията се изразява чрез коефициента K , определящ обхвата на действие на вълната, а степенният показател n над приведеното разстояние има отрицателна стойност и определя стръмността на правата от регресионния анализ.

Основните положения, които са определящи при изследване на разпространението на ударната вълна във въздуха, са разположението на заряда спрямо земната повърхност и разстоянието до взривното поле.

За целта на изследванията се поставят три основни постановки, които се характеризират с различни условия на разпространение на ударната вълна:

- взрив на открит заряд от тротилова пресовка, поставен на земната повърхност;
- взрив на заряд от тротилова пресовка в единичен сондаж със забивка;
- технологични взривявания (заряди в сондаж със забивка, взривявани в интервал).

II.4. Резултати и анализ

Трета глава представя резултатите от обработването на данните и съответния анализ съобразно условията, в които е проведено взривяването. В съответствие с последователността в методологичния подход са разгледани данни от измервания на действието на ударната вълна от открити заряди, единични сондажи със забивка и при мониторингови измервания на въздействието на ударната вълна при промишлени взривявания на кариера „Целовижда“. Данните се разглеждат и се представят като прогнозираны стойности на налягането в охраняемата зона около взривното поле и в района на охраняемия обект с. Опицвет. Резултатите са съпоставени с допустимите нива на свръхналягането, определени по международни стандарти.

Изследваните данни са регистрирани от съвременна измервателна апаратура „Minimate Plus“, Instantel Inc. Сигналът се записва както спрямо сеизмичното действие (геофони), така и спрямо въздушната ударна вълна (микрофон). Микрофонът се приема като обект, върху който ударната вълна въздейства. Той регистрира стойностите на свръхналягането в момента на преминаване на ударната вълна. Това опростява условията на разглеждане на поставената в дисертационния труд задача и се налага поради факта, че движението на въздушната маса няма как да бъде отчетено от уреда на разстояние и в посока, различни от измерваните. Конкретните стойности от измервателния уред дават крайни данни, които се обработват чрез регресионен анализ до функционална зависимост, която е сравнима с общоприета в практиката. Това позволява да бъдат изведени графично и съпоставени данни от взривявания, проведени при различни от технологична гледна точка условия, по отношение на избраната променлива „Приведено разстояние“.

Анализът на регистрираните параметри на въздействието на въздушната ударна вълна при взривяване на открити тротилови заряди дава основание те да бъдат сравнени със заключения от изследванията на Ериксон. При аналогични условия на взривяване (открит заряд с маса, еквивалентна на $Q = 1,0 \text{ kg}$ тротилов заряд) стойностите на свръхналягането $P_+ = f(r)$, bar, се съпоставят с резултатите, използвани от Ериксон при обработване на данни от TM5-1300, Кини, Бейкър, Швайц, Гранстром (фиг. 6). От фигурата се вижда, че данните от измерванията на свръхналягането от откритите заряди допълват графиката с голяма точност. *Изводът, който се налага, е, че изследванията при взривяване на откритите заряди развиват зависимостта в диапазона $r = 100 \text{ m/kg}^{1/3}$ до $r = 1000 \text{ m/kg}^{1/3}$ и $P_+ = 0,0001 \text{ bar}$ до $P_+ = 0,001 \text{ bar}$.*

Ограничените заряди в единични сондажи със забивка са тротилови пресовки, използвани за междинни детонатори (бустери) за инициране на сондажните заряди от промишлени взривни

вещества. Забивката е изградена от материал от пробиването на сондажите. Забивката осигурява смекчаване на действието на ударната вълна във въздушна среда.

Взривяването на зарядите във времето и пространството се осъществява с елементи от неелектрическата система NONEL UNIDET:

- инициране на зарядите в сондажите с детонатор U500;
- закъснението между сондажните заряди, необходимо за регистриране на въздействието на всеки заряд е също с детонатор U500.

Анализът на регистрираните параметри дава възможност въздействието на въздушната ударна вълна да се анализира при:

- взривяване на сондажни заряди от тротилови пресовки 0,830 kg;
- взривяване на детонатор U500 с еквивалентна маса 1,5 g тротил за осигуряване на интервал на закъснение между експерименталните сондажни заряди.

Анализът показва, че в зоната „взривно действие – пункт на регистрация“ са разположени обекти – промишлени сгради, категоризирани като индустриални постройки. Регистрираното ниво на свръхналягане е I-во до II-ро ниво, което не предполага каквито и да било структурни нарушения. Не са и отчетени нарушения на остъклението.

Анализът за оценка на въздействие на въздушната ударна вълна показва, че стойностите на регистрираното свръхналягане е в границите на допустимите нива и ясно се вижда, че интензивността на фронта на заряд в обвивка (в случая гилзата на детонатор) е съпоставима с тротилова пресовка в сондаж със забивка. Тенденцията на регресионната права за приведено разстояние $r \approx 2$ дава доста високи стойности, което е показателно за действието на детонатор U500, сравнен с тротилова пресовка от 0,830 kg в сондаж със забивка. *Следователно, звуковото възприемане на взривяване на тротилова пресовка 0,830 kg в заряд в сондаж със забивка е съизмеримо с това при взривяване на детонатор, поставен на земната повърхност.*

Тази постановка потвърждава изводите за вредното въздействие върху обкръжаващата заряда среда при взривяване на детониращ шнур /взривната мрежа с пиротехнически реле-закъснители и детониращ шнур/, като се има предвид принципът на действие на детониращия шнур и количествата, необходими за изпълнение на взривна мрежа. В световната взривна практика са направените заключения, че при взривяването на повърхността на взривното поле на количество от 100 m детониращ шнур (10 g/m) въздействието на въздушната ударна вълна на разстояние 100 m е в границите на $P_+ \sim 0,4$ kPa (146,02 dB). Това обстоятелство е и научно-теоретичната предпоставка за разработване за неелектрическата система за инициране на зарядите с ударна тръба /shock tube/.

Основният конструктивен елемент на инициращата система е NONEL-ударна тръба /вълновод/, при която не се получава ударно въздействие извън обвивката на тръбата, и съединителни елементи с минимален еквивалентен заряд. При тези стойности е възможно счупване на не повече от 1% от остъклените елементи (прозорци, врати и др.) на сгради, намиращи се в радиус $r \leq 100 \text{ m/kg}^{1/3}$.

Въздействието на въздушната ударна вълна върху околната среда от технологичните взривявания на кариера „Целовижда“ е анализирано в съответствие с методиката, като факторите, влияещи върху взривния ефект, са приети при:

- зърнометричен състав на отбитата скална маса, определен от параметрите на минното оборудване /багер, автосамосвали, трошачно-пресевна инсталация/.
- геометрични и енергетични параметри на технологичните взривявания, определени от относителния разход на взривно вещество за реализиране на желания взривен ефект.

Анализът на прогнозираната стойност на свръхналягането на фронта на въздушната ударна вълна по приетите критерии за безопасност дават следните резултати:

- на въздействието на въздушната ударна вълна в „охраняваната зона“ ($R = 700 \text{ m}$) и в с. Опицвет ($R \geq 1350 \text{ m}$) въздействието е от Ниво I или технологичното взривяване се възприема от хората като звук /грохот/.

- стойността на свръхналягането е по-ниска от нивото, което предизвиква нарушаване на цялостта (напукване или счупване) на стъклените структурни елементи (дограма) на жилищните сгради в с. Опицвет. Някои от стъклата на прозорците са закрепени само с пирончета без маджун.
- стойностите на налягането са далеч под препоръчаното ниво на въздействие в населени места.

От изведените графични зависимости е видно, че откритите заряди винаги имат по-висок коефициент K , но и по-висок степенен показател n . Изхождайки от това би могла да се изведе оптимална стойност на зарядите, взривявани в сондажи в рамките на минимален интервал по-голям от 8 – 10 ms, който е определен за времето, през което се генерира ударната вълна във въздушна среда. Би могло да се изведе отношение между коефициентите и степенните показатели от регресионния анализ за условията на взривяване на тротилови пресовки като открити заряди и в сондаж със забивка. За K е:

$$K = \frac{K_0}{K_c} = \frac{242,17}{214,93} = 1,127,$$

а за n е:

$$n = \frac{n_0}{n_c} = \frac{-0,101}{-0,181} = 1,792,$$

което би могло да бъде база за сравнение, ако е тенденциозно за по-голям брой взривявания.

При определянето на допустимите количества взривно вещество се използва изведената от Ериксон зависимост при взривяване на открити тротилови заряди от 1 kg за стойности на приведеното разстояние $r > 50 \text{ m/kg}^{1/3}$, в която степенният показател $n = -1$, а за коефициент е прието експериментално установената пределна стойност от 0,7 kPa за нарушаване на цялостта на остъклението.

Методиката разглежда прогнозираното свръхналягане като функция от приведеното разстояние под формата на уравнение от вида $y = k(x)^n$. Анализът на зависимостта $P_+ = K(R/q^{1/3})^n$ дава съвпадение на вида на функциите и позволява сравнение на графиките от измерените стойности и получената зависимост по координатите x и y . Това е основание детайлни изследвания да се извършват по изведената зависимост за определени стойности на приведеното разстояние, получени от анализ, направен за технологични взривявания, и резултатите да бъдат развити по разработената методика.

Анализът на зависимостта „приведено разстояние – регистрирано свръхналягане“ определена от програмния продукт Blastware, Instantel Inc, дава зависимостта представена на фигура 5. Разработеният в дисертационния труд алгоритъм показва пълно съвпадение на координатите по x и y /фиг. 6/. Това дава основание детайлните изследвания да се извършват по зависимостта по разработената методика.

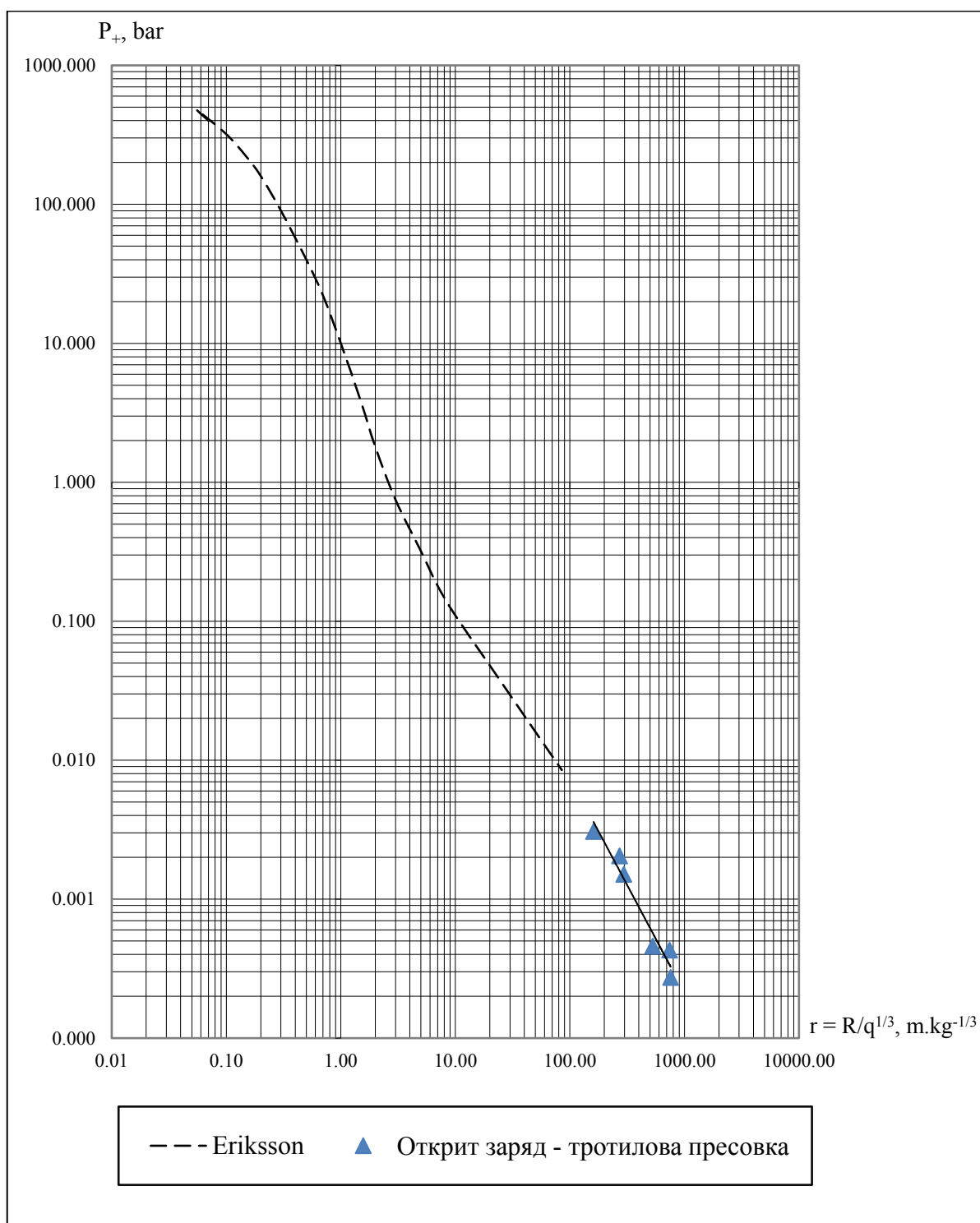
Прогнозираните стойности на свръхналягане във фронта на ударна вълна във въздуха са изчислени по зависимостта, получена по методиката, за следните условия:

- височина на работното стъпало $H = 12,0 \text{ m}$;
- диаметър на сондажите $d = 110 \text{ mm}$;
- геометрични параметри за реализиране на желанния взривен ефект:
 - взривна мрежа: $a = b = 3,0 \text{ m}$;
 - дължина на забивка $l_{\text{заб}} = 3,0 \text{ m}$;
- маса на заряда взривно вещество при взривяване на един сондаж с един интервал ($t > 8 \text{ ms}$) $Q_{\text{инт}} = 95 \text{ kg}$ и от два сондажа, взривени с един интервал ($t > 8 \text{ ms}$) $Q_{\text{инт}} = 190 \text{ kg}$. Това внася ограничение в изпълнение на схемата на свързване – при подкопна схема подкопът се осъществява съответно от един до два сондажа.

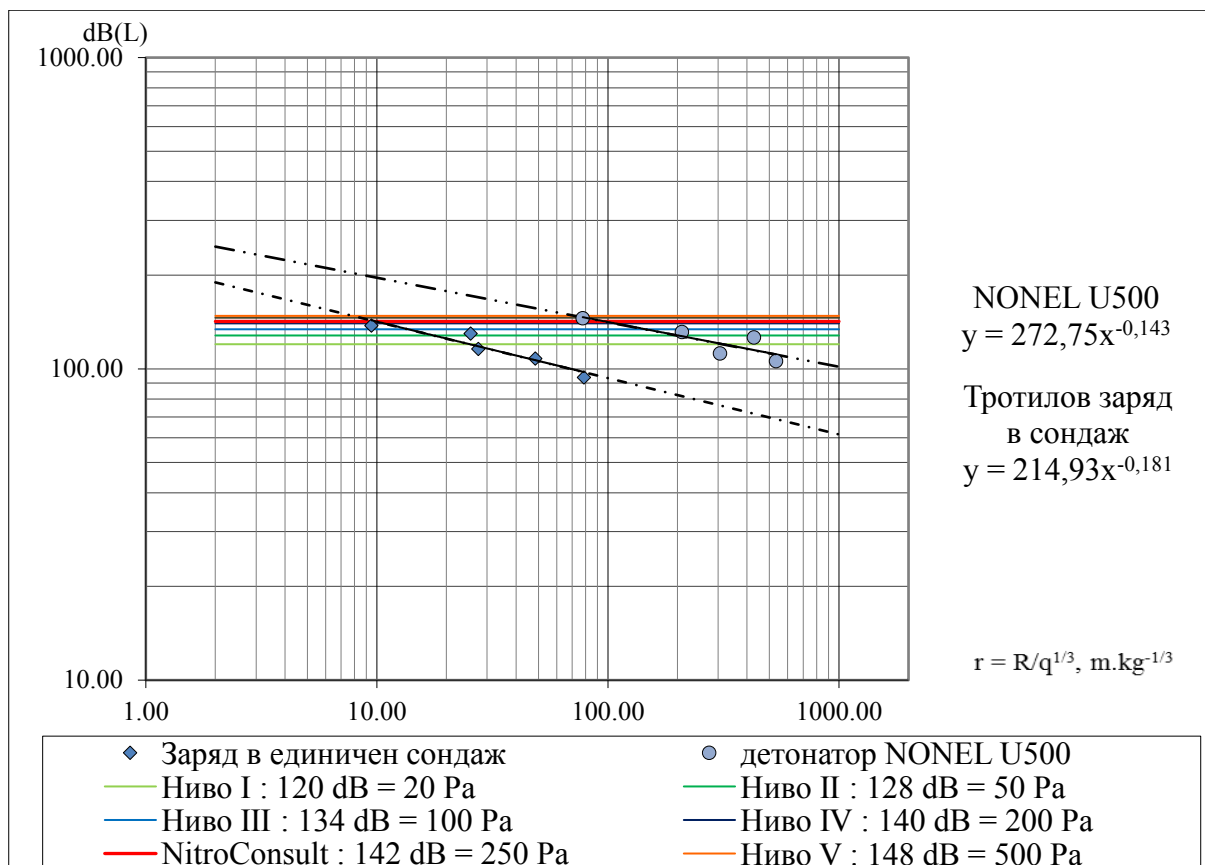
Въздействието на ударна вълна във въздуха в зоната „граница на охраняваната зона – с. Опицвет“ е при прогнозирано свръхналягане в границата под Ниво I. Следователно, технологичното взривяване би се възприело от хората като звуков ефект /грохот/. Не се очаква дрънчене, напукване или счупване и при нестабилно изпълнено остъкление (само с пирончета без маджун).

Изчислената по разработената методика прогнозирана стойност на свръхналягането на ударна вълна във въздуха в района на с. Опицвет е по-ниска от тенденцията на разпространението ѝ в зависимост от измерените стойности, които също са под нивото на препоръчаните стойности за

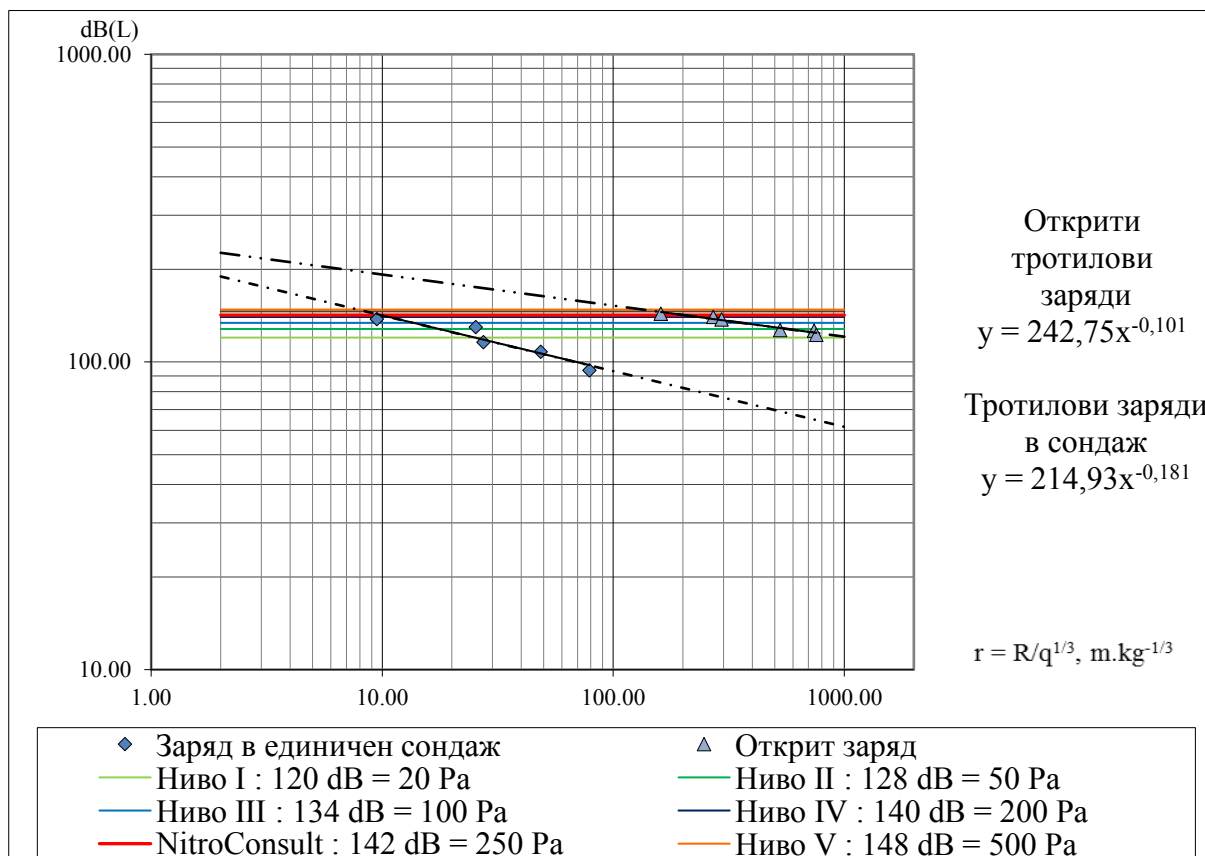
въздействие на свръхналягането от въздушната ударна вълна върху хора или обекти /урбанизирани райони/ /фиг. 7/.



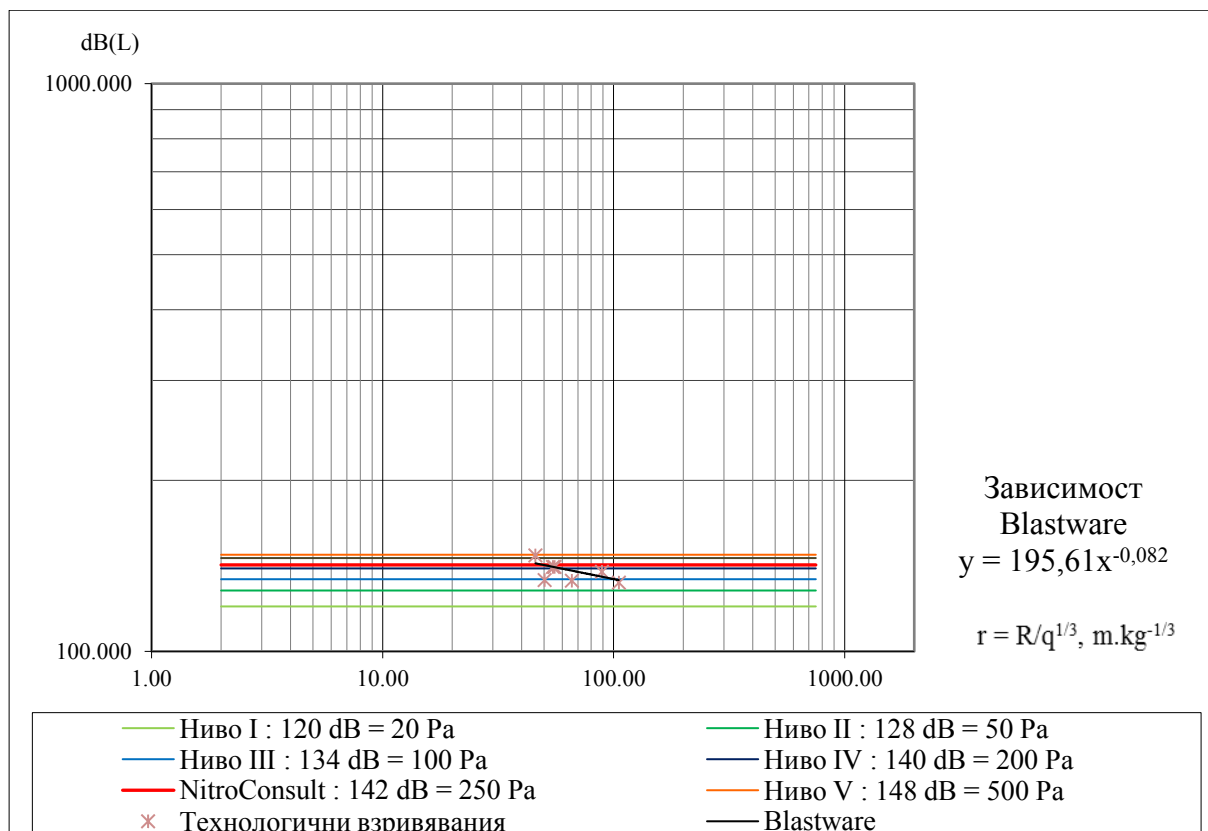
Фигура 2. Налягане на фронта на ударната вълна, bar, при взрив на 1 kg сферичен тротилов заряд, развита в интервала $r = (100 \div 1000) m.kg^{-1/3}$.



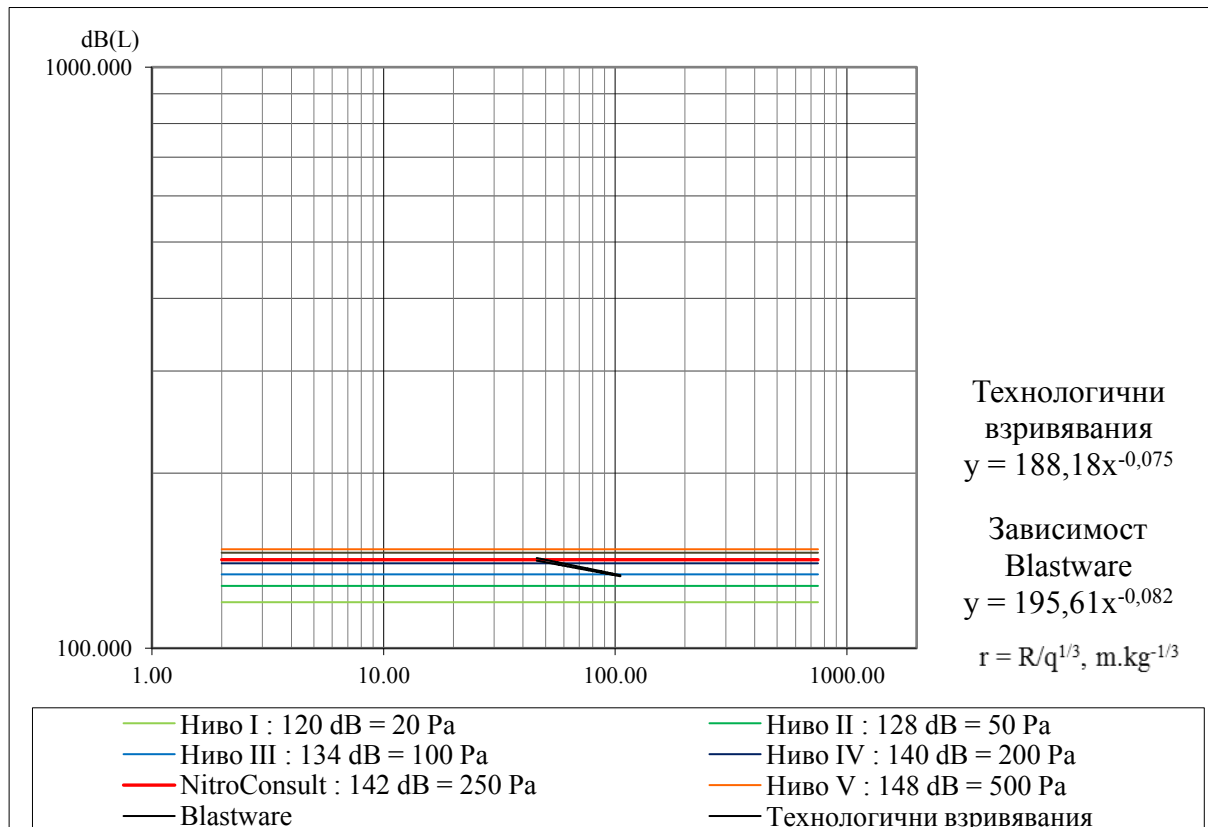
Фигура 3. Сравнение в измерените стойности за тротилов заряд в единичен сондаж със забивка и закъснителен детонатор NONEL U500 на повърността.



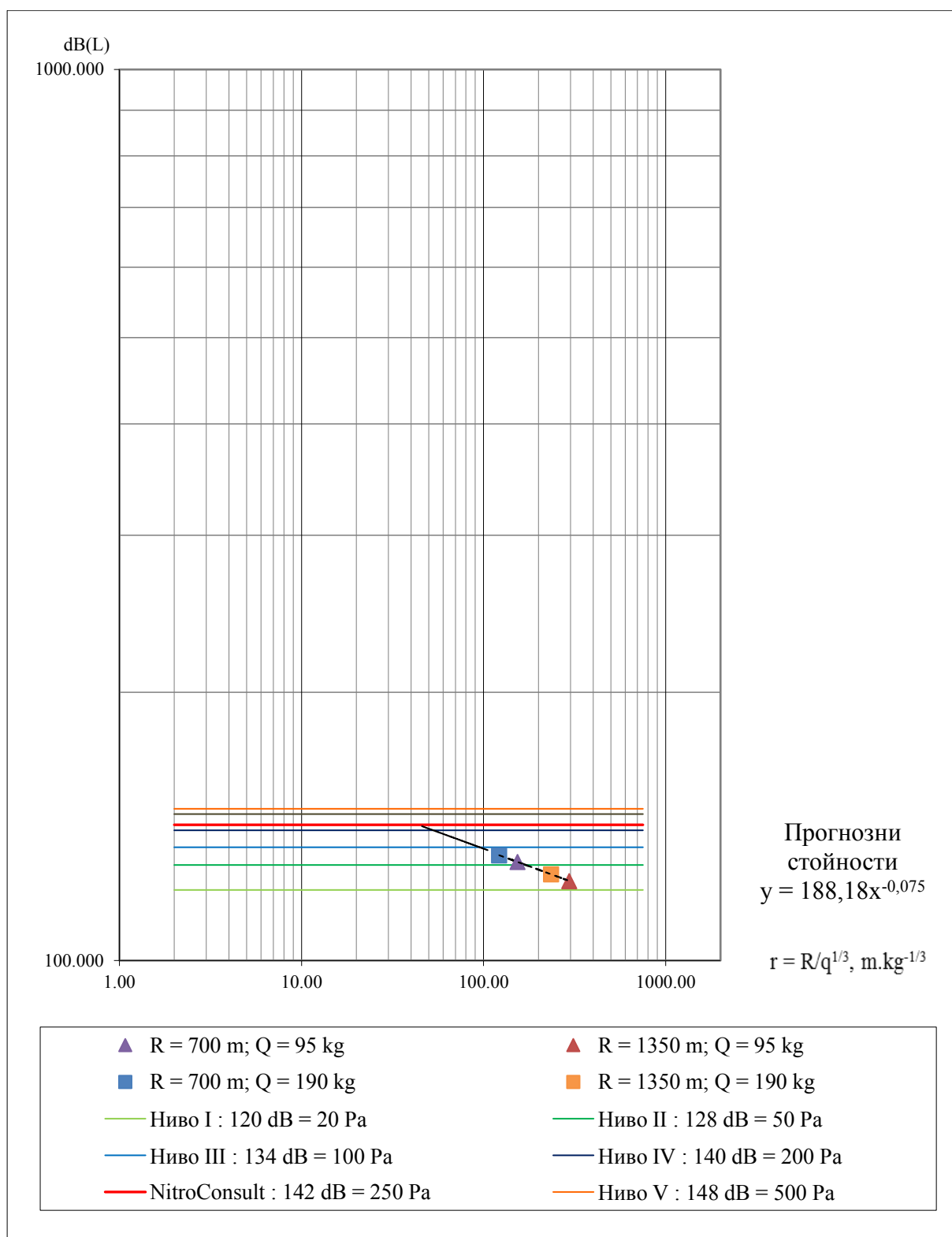
Фигура 4. Тротилови пресовки, взривявани в открити условия и в сондаж.



Фигура 5. Зависимост за проведените технологични взривявания, изведена чрез софтуера на измервателната апаратура Blastware®.



Фигура 6. Сравнителна графика на тенденционните прави, изведени по методиката на изследване и чрез специализирания софтуер на измервателната апаратура Blastware®



Фигура 7. Прогнозиран нива на свръхналягането от технологичните взривявания в охраняемата зона и при охраняемия обект.

ИЗВОДИ

1. Изследваните параметри на въздействието на въздушната ударна вълна при взривяване на открити тротилови заряди развиват графичната зависимост в диапазона $r = 100 \div 1000 \text{ m/kg}^{1/3}$ и $P_+ = 0,0001 \div 0,001 \text{ bar}$, и са съпоставими с изследванията, направени от Ериксон.
2. Анализът показва, че в зоната „взривно поле – пункт на измерване“, регистрираното ниво на свръхналягане е I-во до II-ро ниво, което не предполага каквито и да било структурни нарушения. В зоната са разположени обекти – промишлени сгради, категоризирани като индустриални постройки, като не са отчетени нарушения на остъклението.
3. Степента на въздействие на ударното натоварване във въздуха на тротиловите пресовки в сондаж със забивка е съизмеримо с действието на детонатор, взривяван на земната повърхност.
4. Нивото на въздействие на въздушната ударна вълна, генерирана от открит заряд от 0,415 kg и 0,830 kg, в зоната „охранявана зона – с. Опицвет“ се възприема като далечен грохот.
5. Въздействието на ударна вълна във въздуха в зоната „граница на охраняваната зона – с. Опицвет“ при извършване на технологични взривявания на кариера „Целовижда“ е в границата под Ниво I.
6. Откритите заряди се характеризират с по-високи нива в сравнение със сондажните заряди спрямо избраната променлива приведено разстояние /коэффициент K/ и по-далечното им разпространение във въздушна среда /степенен показател n/.
7. Съотношението между коефициентите и степенните показатели от регресионния анализ за условията на взривяване на тротилови пресовки като открити заряди и в сондаж със забивка. За K е $K = \frac{K_0}{K_C} = \frac{242,17}{214,93} = 1,127$, а за n е $n = \frac{n_0}{n_C} = \frac{-0,101}{-0,181} = 1,792$, което би могло да бъде база за сравнение, ако е тенденциозно за по-голям брой взривявания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въздействието на ударната вълна върху обекти и съоръжения при извършване на промишлени взривявания е предмет на множество разработки, като основната цел в изследването на нейното действие е оптимално управление на енергията, генерирана при детонационния процес. Тази енергия се разглежда в два аспекта. Единият е разпределянето ѝ във времето и пространството така, че да се постигне желанят ефект от взривните работи върху разработвания масив. Другият е намаляване на страничното действие на ударната вълна чрез мониторинг и съответно коригиране на проектните количества взривно вещество.

В настоящия дисертационен труд е разработена методика за оценка на степента на разпространение на ударната вълна във въздушна среда и вредното въздействие, което би оказала върху сгради, и как би била възприета от хора, попадащи в обсега ѝ. Прието е като основен характеризиращ действието на определено количество заряд параметър да се прилага величината „приведено разстояние“. На тази база е извършено числено изследване на данни от проведени измервания на степента на ударно натоварване във въздуха вследствие от свръхналягането на фронта на ударната вълна. Свръхналягането се разглежда във функция от приведеното разстояние, което се приема за единствена променлива. Изследването е съсредоточено върху поведението на функцията при различни стойности на коефициента пред променливата, който характеризира условията на взривяване. Целта е да се определят границите, в които стойността му е оптимална при зададени стойности на променливата, които определят практическата приложимост. Свръхналягането също така е разгледано в логаритмична функция от приведеното разстояние спрямо степенния показател, който характеризира разпространението на фронта на ударната вълна.

Графичното изразяване на измерените стойности на свръхналягането спрямо величината приведено разстояние дава нагледна представа за тенденционното поведение на регресионната права. Когато този метод е приложен за тротилови пресовки, взривени в различни условия – открит заряд и заряд, поставен в единичен сондаж със забивка, ясно се вижда разликата в разположението на регресионната права. Дори стойностите на свръхналягането до мястото на взривяване да са близки, в по-нататъшното разпространение на фронта на ударната вълна високите нива на свръхналягане при откритите заряди се запазват на значително по-голямо приведено разстояние.

Това изследване дава основание да се гледа на технологичните взривявания като на количество взривно вещество, иницирано в даден интервал, чрез което може да се определи стойност на приведеното разстояние. Приема се, че това количество е първоначално иницираното взривно вещество, което дава и първоначалното смущение на въздушната среда. В зависимост от тенденционното направление на регресионната права са изчислени прогнозни стойности на свръхналягането на разстояние охраняема зона и охраняем обект /населен район/, при което са установени напълно безопасни за остъклението на сградите и намиращите се в района хора нива на свръхналягането.

Разработеният метод дава почти пълно подобие на правите, характеризиращи нивото на свръхналягане спрямо променливата приведено разстояние, сравнени със зависимостта, която дава допълнителният аналитичен модул на измервателната апаратура за извършените технологични взривявания.

Приведеното разстояние е величина, която се използва широко в определянето на действието на ударната вълна при извършване на промишлени взривявания. Нейната зависимост спрямо свръхналягането е основание да се извършва мониторинг и контрол над провеждани взривявания, за да се потвърдят проектното количество взривно вещество и съответно параметри на взривните работи.

НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научни приноси:

1. Съставена е методика, която позволява оценка на ключови фактори, определящи действието на въздушната ударна вълна при извършване на взривни работи в промишлеността и строителството.
2. Създадената методика дава възможност за управление на параметрите, определящи разпространението на ударната вълна във въздушна среда и нивата на свръхналягането.

Научно-приложни приноси:

1. Развит е интерпретационен модел на разпространението на свръхналягането във въздушна среда чрез сравнителен анализ на данни от измервания със специализирана апаратура.
2. Получената зависимост разширява областта на приложение на аналитичния апарат „приведено разстояние – свръхналягане“ при охрана на обекти.
3. С експериментални изследвания е потвърдена методиката, която е приложена при анализа на данните за свръхналягането.
4. На принципа на обратния анализ е изследвана зависимост за определяне на количество взривно вещество за зададени нива на свръхналягането при отчитане на приравнителен коефициент в зависимост от мощностните характеристики на взривното вещество.
5. Въз основа на извършената систематизация е съставена таблица, която отразява допустимите нива на въздействие на свръхналягането на въздушната ударна вълна върху обекти и хора, която може бъде приложена като нормативен документ по безопасност.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Стоилова С., Митков В., Белин Вл., Сравнение на действието на тротилов заряд, взривен в открити условия и в условия на сондаж със забивка, под печат – Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, 2014
2. Стоилова С., Допустими нива на свръхналягането от ударната вълна във въздушна среда при извършване на взривни работи, Минно дело и геология, 3-4/2014, стр. 42-44
3. Стоилова С., Съвременен модел на детонационен процес, Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, 2013

СЪДЪРЖАНИЕ
на Дисертационния труд

ГЛАВА I	
УДАРНА ВЪЛНА ПРИ ДЕТОНАЦИОНЕН ПРОЦЕС	
I.1. Увод	1
I.2. Общи положения	4
I.3. Определяне на свръхналягането при взрив	20
I.4. Въздействие на ударната вълна върху обекти	24
I.5. Механизъм на образуване на ударна вълна във въздушна среда	31
ГЛАВА II	
МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА	
II.1. Основни параметри, характеризиращи въздушната ударна вълна	42
II.2. Въздействие на въздушната ударна вълна върху обкръжаващата среда	47
II.3. Методика на изследванията	55
ГЛАВА III	
РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ	
III.1. Открити заряди	66
III.2. Ограничени заряди в сондаж със забивка	70
III.3. Технологични взривявания	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ	103
ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	104
ЛИТЕРАТУРА	105