

**МИННО-ГЕОЛОЖКИ
УНИВЕРСИТЕТ
"СВ.ИВАН РИЛСКИ"**



**UNIVERSITY OF MINING AND
GEOLOGY
"ST. IVAN RILSKI"**

МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА „ПОДЗЕМНО СТРОИТЕЛСТВО“

МАГ. ЗДРАВКА ГЕОРГИЕВА МОЛЛОВА

**ПРЕВЕНЦИЯ НА ТЕРОРИСТИЧНИ АТАКИ С ВЗРИВНИ
ВЕЩЕСТВА СРЕЩУ ХОРА И КРИТИЧНА
ИНФРАСТРУКТУРА**

АВТОРЕФЕРАТ

**НА ДИСЕРТАЦИЯ ЗА ПРИСЪЖДАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНАТА И НАУЧНА СТЕПЕН
„ДОКТОР“**

Научна специалност: “Техника и технологии на взривните работи – производство на взривни материали”

Професионално направление 5.7 “Архитектура, строителство и геодезия”

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ: ПРОФ. ДН ИНЖ. ВАЛЕРИ МИТКОВ

**София
2021**

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Разширен катедрен съвет на катедра „Подземно строителство“ към Миннотехнологичен факултет на МГУ „Св. Иван Рилски“, София, на 06.04.2021 г., съгласно Ректорска заповед Р-273/02.04.2021 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои пред Научно жури, утвърдено със заповед № Р-295/12.04.2021 г. на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ и ще се проведе на 26.05.2021 г. от 10.00 часа (сряда) в зала 235 "Видекс" на Миннотехнологичен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията на Сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, Ректорат, ет. 3, стая № 79, тел. 02/ 80 60 209.

Утвърденото Научно жури е в състав:

1. Проф. д-р инж. Павел Евстатиев Павлов - МГУ "Св. Иван Рилски", катедра "ПС"
2. Доц. д-р Петър Кръстев Шишков- МГУ "Св. Иван Рилски", катедра "ПС"
3. Проф. д-р Станчо Петков Петков - ИМСТЦХ-БАН
4. Проф. д-р Боян Миланов Петков - Министерство на отбраната
5. Проф. д-р Георги Василев Бахчеванов - Военна академия „Г. С. Раковски“

Резервни членове:

1. Проф. д-р Димитър Стоянов Анастасов - МГУ "Св. Иван Рилски", катедра "ПС"
2. Доц. д-р Валентина Стефанова Николова- ИМСТЦХ-БАН

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1. Проф. д-р Боян Миланов Петков
2. Доц. д-р Петър Кръстев Шишков

Дисертационният труд *„Превенция на терористични атаки с взривни вещества срещу хора и критична инфраструктура“* се състои от увод, четири глави, основни изводи, заключение, научни и научно-приложни приноси, списък със собствени публикации по темата и библиография. Общият обем на дисертационния труд 184 страници, включително: 58 фигури, 30 таблици, списък на използваната литература (102 от които 47 на кирилица и 55 на латиница).

Фигурите и таблиците в текста на автореферата следват оригиналната номерация от текста на дисертацията.

Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: *маг. Здравка Георгиева Моллова*

Заглавие: *Превенция на терористични атаки с взривни вещества срещу хора и критична инфраструктура*

СЪДЪРЖАНИЕ

Съдържание.....	1
УВОД.....	3
ПЪРВА ГЛАВА. ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КРИТИЧНАТА ИНФРАСТРУКТУРА.....	5
ИЗВОДИ	9
ВТОРА ГЛАВА . ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ НА ИЗСЛЕДВАНИЯ ПРОБЛЕМ.....	12
ИЗВОДИ.....	23
ТРЕТА ГЛАВА. РАЗРАБОТКА НА МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА ВЗРИВА ВЪРХУ СГРАДИ И СЪОРЪЖЕНИЯ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ВЗРИВОЗАЩИТНИ СТЕНИ.....	25
3.1. Разработване на модел за анализ на ефектите от взрива.....	25
3.2. Оценка на входните параметри за модела за анализ на ефектите от взрива..	30
3.3. Оценка на ефективността на разработения модел.....	38
ИЗВОДИ.....	40
ЧЕТВЪРТА ГЛАВА. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БЕЗОПАСНИТЕ ЗОНИ ЗА ОСТЪКЛЕНИЕТО НА СГРАДИ ПРИ ВЗРИВ НА ВВ.....	41
ИЗВОДИ.....	48
ОСНОВНИ ИЗВОДИ.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ.....	52
ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА.....	53
ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА.....	55

УВОД

В условията на съвременната среда за сигурност нараства заплахата от терористични действия, като пряко е застрашен живота и здравето, както на персонала обитаващ инфраструктурата на отбраната така и на всички граждани обитаващи конвенционалните граждански обекти. Терористичните атаки все повече се насочват към обекти от критичната инфраструктура (КИ), защото извеждането от действие на такива обекти води не само до преки човешки и материални загуби, но и до косвени загуби в качеството на живот на населението, системата за управление и икономическото функциониране. Терористи, извършващи атаки в името на „Ислямска държава“, са се доказали, че са способни да планират и извършват значително сложни и ефективни атаки, включително върху няколко цели. В същото време импровизираните взривни устройства (ИВУ), в които често се влагат взривни вещества, приготвени в домашни условия (ВВПДУ), все повече се използват от терористи и други престъпни групи или лица за нападения срещу военни и икономически цели по целия свят и за всяване на страх сред цивилното население в преследване на политически или религиозни идеали. Нужните прекурсори се предлагат свободно в магазини за продажба на дребно или онлайн, често на ниски цени и във високи концентрации, достатъчни за приготвянето на ВВПДУ, както и за други (законни) промишлени или битови предназначения.

Нараснала е употребата на ВВ и пиротехнически смеси за производство на взривни устройства. Освен това се наблюдава и ръст на терористичната пропаганда, интернет-уроци и нагледни схеми, които увеличават възможностите за придобиване на знания за използването на терористични оръжия. Различни затворени форуми предлагат възможни технологии, споделят инструкции за производство на взривни устройства и възможности за идентифициране на високопрофилни цели.

Всичко това налага извършването на съответната научно – изследователска и експериментална работа по изследването на въздушните ударни вълни (ВУВ) при взривяване на взривни вещества, които са един от основните инструменти на терористичните атаки насочени към обекти на КИ и населението. Определянето на параметрите на ВУВ е от съществена важност за опазването на здравето на хората и недопускане разрушаването на КИ.

Актуалността на проблема за защита на сградите произтича от текущото състояние на съвременната среда за сигурност и степента на антитерористична осигуреност на военните и гражданските обекти от националната инфраструктура.

Безопасността на хората в случай на терористични атаки трябва да се осигурява не само с оборудване за контрол и сигурност, но и с подходящи инженерни решения за сгради и съоръжения, позволяващи да се предотврати възможния прогресивен срив на конструкциите под въздействието на взривното натоварване. Всичко това свидетелства за **значимостта на** провежданото изследване. ВУВ са особен вид въздействие. Ударната въздушна вълна представлява първоначалния разрушителен механизъм на една експлозия. Налягането, което тя упражнява върху повърхностите на дадена сграда може да бъде няколко степени по-голямо в сравнение с натоварването, за което тя е предназначена. Разрушителното действие на въздушната УВ се определя от величината

на натоварването, което вълната създава върху обекта. Тази величина, която бързо се изменя във времето, зависи преди всичко от параметрите на самата УВ, от ориентацията на обекта по направлението на фронта на вълната, както и неговите размери и здравината на обекта.

Изследването на въздействието на ударните въздушни вълни върху сгради и съоръжения, разположени в близост до източника на експлозията, е от голямо практическо значение при решаването на въпросите за безопасност и защитата на хората и конструкциите от последиците при взрив на ВВ. Стратегията за борба и прилагането на мерки за смекчаване на последствията от терористични атаки с използване на ВВ, изискват внимание и решения още от етапа на планиране и проектиране, тъй като впоследствие, по време на експлоатацията на съоръжението, решението на този набор от задачи става или все по-трудно и икономически неоправдано или невъзможно.

Целта на настоящият дисертационен труд е оптимизиране на безопасните разстояния за хора и обекти от критичната инфраструктура при терористични атаки с взривни вещества.

Тази цел е постигната чрез решаване на следните задачи:

1. Изследване на съществуващата система за антитерористична защита на критичната инфраструктура при използване на взривни вещества.
2. Изследване на параметрите на ударните въздушни вълни и границите на деформация на конструкциите, подложени на взривно въздействие. Обобщаване на принципите на взривозащитно проектиране и основните подходи за подобряване на взривоустойчивостта на сгради и конструкции.
3. Повишаване на стабилността на сградите и конструкциите, както и сигурността на хората, чрез разработване на модел за анализ на ефектите от взрива върху сгради и конструкции, с цел повишаване тяхната устойчивост срещу взривни въздействия разположени зад твърди или крехки преградни стени.
4. Определяне на минималните безопасни разстояния за остъклените на сгради и за евакуация на хора при различните степени на безопасност, в зависимост от масата на експлозива.

ПЪРВА ГЛАВА

ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КРИТИЧНАТА ИНФРАСТРУКТУРА

През 1997 г. понятието „критична инфраструктура” и нейната защита, като че ли някак неочаквано, заеха място сред приоритетите на правителството на САЩ.[23]. Първоначално отношението към този факт беше по-скоро като към един специфичен „американски” проблем, който администрацията на тогавашния американски президент - Бил Клинтън, постави в дневния ред на националната сигурност на страната с най-силна икономика, на водещата в технологично и военно отношение държава. Терористичните атаки в Ню Йорк и Вашингтон от 11 септември 2001 г., Мадрид (2004), Лондон (2005), при които цивилната инфраструктура беше използвана и като средство, и като цел на атаките, дават силен тласък на възгледа, че традиционните схващания за сигурността на държавите и техните граждани се нуждаят от съществена промяна. Драматичните последици от въздействието на природните стихии в различни части на света в последното десетилетие само засилиха това убеждение и логично наложиха едно по-балансирано разбиране за спектъра на заплахите и подхода към тях. Тези събития бяха симптоматични за дълбочината на проблема и уязвимостта на съвременното общество, обуславящ въпроса за критичните инфраструктури и възможностите за тяхната защита.

В началото на 2021 г. проблемът „защита на критичната инфраструктура” отдавна е престанал да бъде само „американски”. Изминали са едва двадесет години, но без преувеличение може да се твърди, че задачата за изграждане на съвременна национална система за защита на критичната инфраструктура, вече присъства, макар и с различна тежест, в дневния ред на огромна част от правителствата на държави с различно географско разположение. Той вече е сред най-активно обсъжданите от гражданските и от военните експерти в НАТО и ЕС, от експертите в редица специализирани международни организации. Тази вълна се разпространява с нарастваща скорост и приобщава към процеса все повече държави. Тя постепенно заема мястото си сред приоритетите на съвременния свят като цяло.

Понятието „инфраструктура” е въведено през 19 в. от швейцарският военен теоретик Антуан-Хенри Жомини, който изтъква стратегическото и оперативното й значение за ръководството на бойни действия. До средата на 20 в. това е военен термин, с който се обозначава териториалната организация на системата за поддържане и действие на армията. Постепенно терминът „инфраструктура” започва да се използва в икономическата теория и в теорията на управлението. Понастоящем се прилага широко в областта на компютърните науки, икономическата география и в сферата на научните изследвания, по отношение на сигурността.” [11].

По своята същност, критичната инфраструктура е била идентифицирана и съответно защитавана на всеки етап от развитието на човешкото общество, при всички цивилизации, независимо дали е била наричана така. Необходимостта за бъдат защитавани критичните инфраструктури се налага поради самата тяхна същност. Критичната инфраструктура и основните активи са както физически, така и кибер базирани и обхващат всички сектори на икономиката ни, осигурявайки основните

услуги, от които обществото зависи. Всяка една държава притежава множество ключови активи, чиято експлоатация или унищожаване вследствие на терористични атаки биха могли да причинят катастрофални последици за здравето на хората или да доведат до масови жертви или биха могли да имат голямо отражение върху националния престиж и морал. В допълнение на всичко това съществуват критични инфраструктури и ключови активи, които са толкова важни, че нарушаването на тяхната дейност, експлоатация или унищожаване чрез терористична атака може да причини катастрофичен ефект върху сигурността и икономическото благосъстояние на цялото общество.

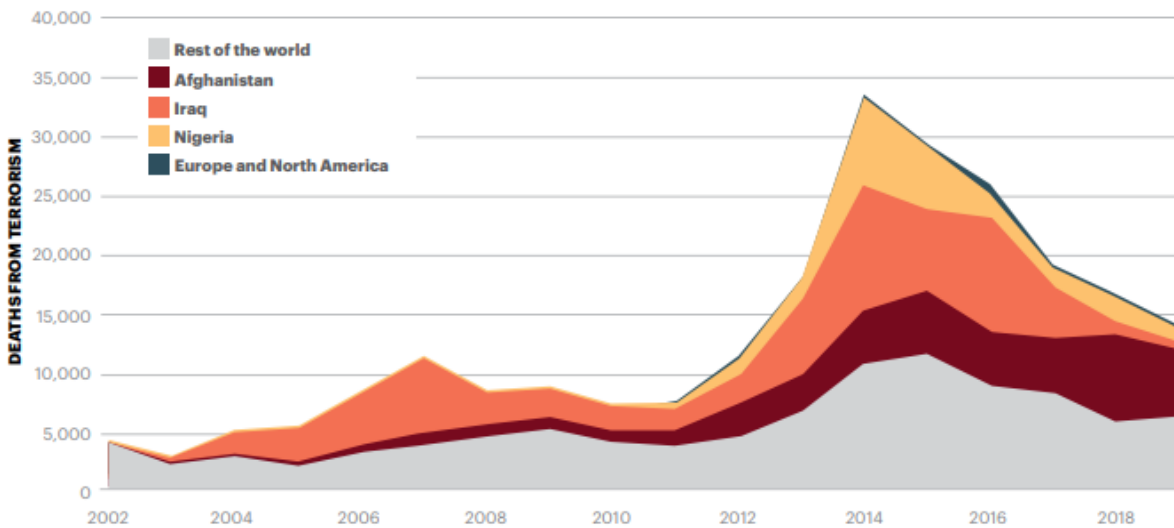
Рамката от цели на терористичните групировки, по отношение на критичната инфраструктура, може да бъде очертана с техния стремеж да:

- заплашат националната сигурност. Една успешна атака срещу критична инфраструктура или ключов актив, като например отбранително технологичната индустриална база, може да окаже неблагоприятен ефект върху националната сигурност;
- причинят масови жертви. Атака с оръжие за масово унищожение насочена срещу голяма концентрация на хора в малки пространства може да доведе до стотици или дори хиляди наранявания или смъртни случаи;
- отслабят националната икономика. Успешна атака срещу критична инфраструктура или ключов ресурс може да доведе до значителни преки и непреки икономически загуби на база на неспособността на актива да предостави своя продукт или услуга;
- навредят на обществения морал и доверието в правителството. Една успешна атака може да внуши чувство на страх в населението. Страхът може да се трансформира в схващане, че правителството не може да осигури сигурност, необходима за защитата на хората от бедствени ситуации;
- причинят неудобство и промени в ежедневните дейности на хората и организациите. Една успешна атака срещу критична инфраструктура или ключов ресурс със сигурност ще накара хората да адаптират своите ежедневни дейности поради загуба на основна стока или услуга, като най-вероятно това ще доведе до някакъв вид неудобство за средния гражданин.

Модерният тероризъм е съвременно явление с глобална насоченост, може би като отговор на развиващия се процес на глобализация. За тероризма е важна максимална ефективност на постигане на целта - всяване на ужас и недоверие към държавата. Убийството на хора не е цел, е средство за всяване на ужас. От тази гледна точка един терористичен акт в Европа е много по-ужасяващ, по-публичен, по-осветен медийно откъдето и да е другаде. Европейските граждани считат, че са защитени от държавата, и посегателството върху сигурността им им се струва невероятно и чудовищно. В същото време, когато бе извършен терористичният акт в Париж срещу редакцията на Шарли Ебдо с 12 убити и 11 ранени, в Нигерия терористичната организация Боку Харам изби над 2000 жени, деца и старци. Целият свят обаче се беше фокусирал и съчувстваше именно на Париж.

Deaths from terrorism, 2002–2019

Total deaths have decreased 59 per cent from their peak in 2014.



Source: START GTD, IEP calculations

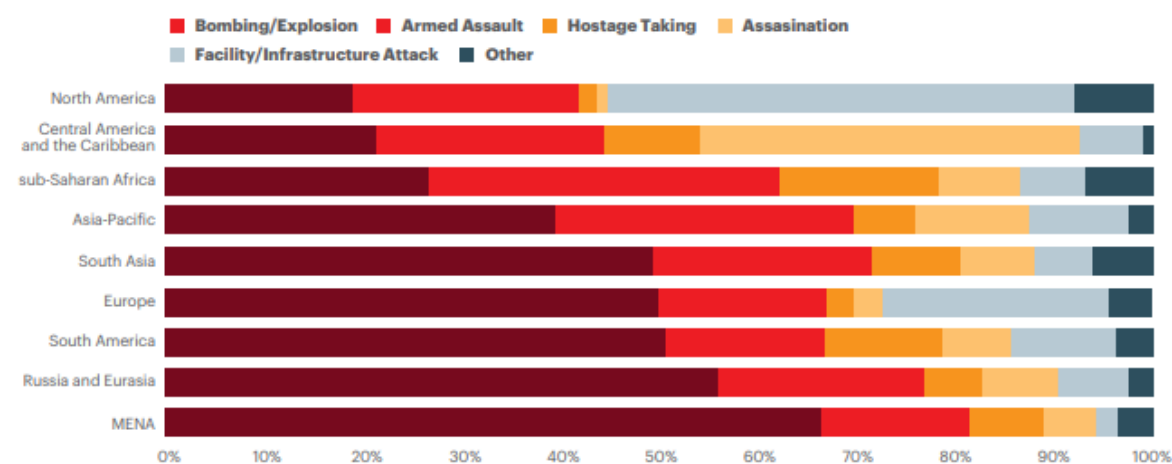
Фигура 1.1. Жертви на терористично атаки, 2002- 2018, Институт за икономика и мир

По данни на лондонския Институт за икономика и мир за глобалния индекс на тероризма за страните в света 2019 г. бележи спад на броя на жертвите при терористични нападения [17]. Общо 15 952 души са загинали при тероризъм, което е спад от 15.2% през 2018 г. Също така има двойно по-малко жертви в сравнение с 33 555 загинали през 2014г. (Фиг. 1.1). Въпреки това, от доклада става ясно, че се е увеличил броят на държавите, в които са извършени терористични атаки в резултат на възхода на крайнодесния тероризъм.

Проучване на Европол показва, че през 2018 г. е имало по-малко нападения в ЕС от предходната година, но за сметка на това са били осуетени повече опити на джихадистки групи. Според доклада на Европол при терористични нападения през 2018 г. в ЕС са били убити 13 души, като всички извършители са били джихадисти. В същото време бележи ръст и броят на задържаните десни екстремисти в ЕС. През 2019 г. те са 44, докато през 2017 г. са били само 20, сочи проучването. Въпреки това Европол обяви, че заплахата от тероризъм в ЕС, особено от радикални ислямисти, продължава да е висока [15].

Type of attack by region, 2002–2019

Bombings and armed assaults are the most common forms of terrorism in most regions.



Source: START GTD, IEP calculations

Фигура 1.2. Видове терористични атаки 2002-2019г.

Видно от данните на фигура 1.2. от 2002 г. насам всички видове тероризъм нарастват. Най-често използваните средства за терористични атаки са експлозивите и взривните устройства (в 47 % от случаите), следвани от огнестрелни оръжия (19 % от случаите). Като е видно от графиката инцидентите, свързани с вземане на заложници, убийства и нападения върху съоръжения или инфраструктура нарастват над десетократно от 2002 г. до 2017 г. В САЩ атаки срещу съоръжения и инфраструктура са най-честата форма на терористични атаки между 2002 г. и 2017 г., с общо 239 атаки [71].

Терористичният акт, осъществен на 18 юли 2012 г. на летището в Бургас, постави Република България във фокуса на вниманието на световната общественост. Участието на страната в световната антитерористична коалиция поражда допълнителни рискове и заплахи за Република България и за българските контингенти в различни кризисни точки по света като потенциален обект на терористични действия.

През 2021 г. не е получавана информация за подготовка или осъществяване на терористична дейност в България, за подготвяно нападение срещу български граждани и интереси зад граница и за изграждане на терористични структури на наша територия. Независимо от това рискът от извършване на терористични атаки у нас и/или срещу български граждани и обекти в чужбина остава актуален.

ИЗВОДИ

Настоящата глава от дисертацията има за цел да представи един по-общ систематичен поглед към някои концептуални въпроси на защитата на съвременната критична инфраструктура на обществото. Изяснени са причините за това, на пръв поглед внезапно появило се и неимоверно бързо нарастващо, внимание на държавите и на международните организации към защитата на част от инфраструктура на съвременното общество.

Направен е секторен анализ на избрани държави - САЩ, Канада и Германия, както и на Европейската критична инфраструктура, част от която е България, с което се цели да бъдат показани техните уникални характеристики и съответно сходни такива.

Всяка една от изследваните държави притежава еднакви сектори, част от инфраструктурата - Енергетика, Финанси, Здравеопазване и др., но и доста различни, определящи нейната индивидуалност.

Определенията на термините “критична инфраструктура” и “защита на критичната инфраструктура” ни дават ясна картина за същността и за съдържанието на обекта на изследване. Разбира се в отделните държави съществуват определени различия по отношение на същността и съдържанието, но те на практика не променят рамката, в която трябва да насочим усилията си за повишаване на сигурността и защитата на инфраструктурата.

Изясняването на термина “критичен” ни дава възможност за разграничение между тези инфраструктури, към които трябва да насочим усилията си и тези, които са важни, но степента на критичност на които ги изключва от рамката на значимите и високо рискови инфраструктури. Именно критичността и най-вече нейната степен е критерият за фокуса на нашите усилия.

И това е особено важно, имайки предвид факта, че както вече беше посочено, не е възможно за всички критични инфраструктури да се осигури 100% сигурност и защита, най-вече по финансови причини. Именно затова приоритизацията, основана на критичността на съответната инфраструктура, може да бъде и полезен инструмент за определяне на нивото на управление на сигурността и защитата на даден обект.

1. Актуалността на проблема за защита на сградите произтича от текущото състояние на съвременната среда за сигурност и степента на антитерористична осигуреност на военните и гражданските обекти от националната инфраструктура.
2. Не съществува разработен интегриран подход за осигуряване на сигурност и защита на критичната инфраструктура, който ясно и точно да даде отговор на въпроса “До каква степен сме осигурили сигурността и защитата на съответния обект, колко сигурен е той?”.
3. Съществува липса в нормативната уредба на единен критерий за защита да сградите съоръженията срещу инциденти от случаен характер като терористични атаки. Във водещи световни норми и кодове липсват детайлни и практически процедури за моделиране и изчисляване на конструкциите под въздействието на взривна вълна. Например, Еврокод като цялостна и единна конструктивна система в Европа значително отстъпва на множеството американски стандарти в

тази област. Разделът, който разглежда случайните по характер въздействия, БДС EN Еврокод 1, част 1-7, е основно фокусирана върху ударните въздействия и съвсем бегло и отчасти засяга взривните, при това се отнася изцяло за вътрешни експлозии. Подход, указания и процедури за изчисляване на конструкциите на сградите и съоръженията на външни експлозии изцяло липсват.

В условията на съвременната среда за сигурност нараства заплахата от терористични действия като пряко е застрашен живота и здравето, както на персонала обитаващ инфраструктурата на отбраната така и на всички граждани обитаващи конвенционалните граждански обекти. Вследствие на тази активност е необходим, но все още не е изготвен пълен документ за осъществяване на мерки за физическа сигурност срещу тероризъм за сгради и съоръжения.

4. Атаките все повече се насочват към обекти от критичната инфраструктура, защото излизането от действие на такива обекти води не само до преки човешки и материални загуби, но и до косвени загуби в качеството на живот на населението, системата за управление и икономическото функциониране.
5. Атаките в повечето случаи преодоляват физическите системи за защита на обектите и им нанасят поражение. Това означава, че физическите мерки за защита не са били добре пресметнати и обновени.

Много са мерките, които следва да се приложат за гарантиране по-висока степен на сигурност на обектите от сектор „Критична инфраструктура“. Част от тях са мерки за повишаване ефективността на системата за защита от терористични атаки като цяло. Като важни такива се предлага да се обърне внимание на следните:

1. Необходимо е да се усъвършенства съществуващата система за антитерористична защита. Съществува потребност от законодателно уреждане на правата и задълженията на всички органи за управление, сили за реагиране и населението при терористични атаки, координацията при управлението на дейностите по защитата от такива, в т.ч. по командването и контрола, конкретните ограничения на правата на гражданите, които могат да се наложат при такива ситуации и др.

2. Следва да се разработи и нормативно регламентира ефикасна методология за оценка на риска от терористични атаки срещу определени критични активи с конкретни критерии и показатели за нива на риска.

3. Следва да се изгради на териториално и обектово ниво система от технически и организационни мерки за контрол и защита от терористични атаки.

3.1. В технически план е необходимо да се обърне внимание на следните мерки:

3.1.1. Широко приложение на детектори за дистанционно откриване на експлозиви. Детекторите за дистанционно откриване на експлозиви (от 20м и повече) могат да помогнат за своевременно откриване на взривни устройства и боеприпаси и предотвратяване внасянето на такива в обекти, в т.ч. на обществения транспорт, контролирането на същите при транспортирането им по пътищата и други приложения. Независимо, че вече на пазара се предлагат такива детектори (например „Снифлекс“), ограничените им възможности и специфичен начин за работа налагат разработването на нови такива с по-големи възможности и за по-широко приложение.

3.1.2. Ограничаване достъпа на автомобили (освен на обществения транспорт) в близост до аерогари, жп и автогари и до други обекти, в които се събират големи групи от хора. При подходящо планиране тази мярка би ограничила въздействието на коли-бомби при терористични нападения.

3.1.3. Изграждане на защитни бариери за пренасочване на ударна вълна от експлозия на коли-бомби, бариери за спиране нападението срещу обекти с автомобили и др.

3.1.4. По-широко приложение на системи за видеонаблюдение на обектово и териториално ниво с възможности за разпознаване на образи на лица, в т.ч. издирвани или свързани с терористични организации.

3.1.5. Проектиране на обекти от критичната инфраструктура с необходимата степен на защита от терористични атаки.

3.2. В организационен план е необходимо да се обърне внимание на следните мерки:

3.2.1. Следва да се изгради система за ефективен контрол на производството, търговията и употребата на вещества, които могат да бъдат използвани за самоделни взривни устройства.

3.2.2. Има необходимост от подобряване на плановете и процедурите за координиране на дейностите и реагиране при терористични атаки на всички нива – обектово, общинско, областно, ведомствено и национално.

С посоченото по-горе не се изчерпват всички мерки, които следва да се приложат за повишаване качеството на управление на риска от терористични атаки. Нарастващата терористична заплаха, резултат на средата, в която живеем днес, реализираните терористични атаки и последиците от същите показват, че ние сме много уязвими и недостатъчно защитени от такива събития. Сложността на решаването на този световен проблем налага консолидирането в борбата с тероризма на цялото прогресивно човечество, прилагането на адекватни политики, стратегии и методологии за управление на този риск, както и разходването на по-големи ресурси за сигурност.

В национален план е необходимо да се изгради ефективна система за управление на националната сигурност, в която основно място да бъде отделено на дейностите касаещи управлението на риска от терористични атаки. Приетият наскоро Закон за управление и функциониране на системата за защита на националната сигурност за съжаление не е добра основа за това.

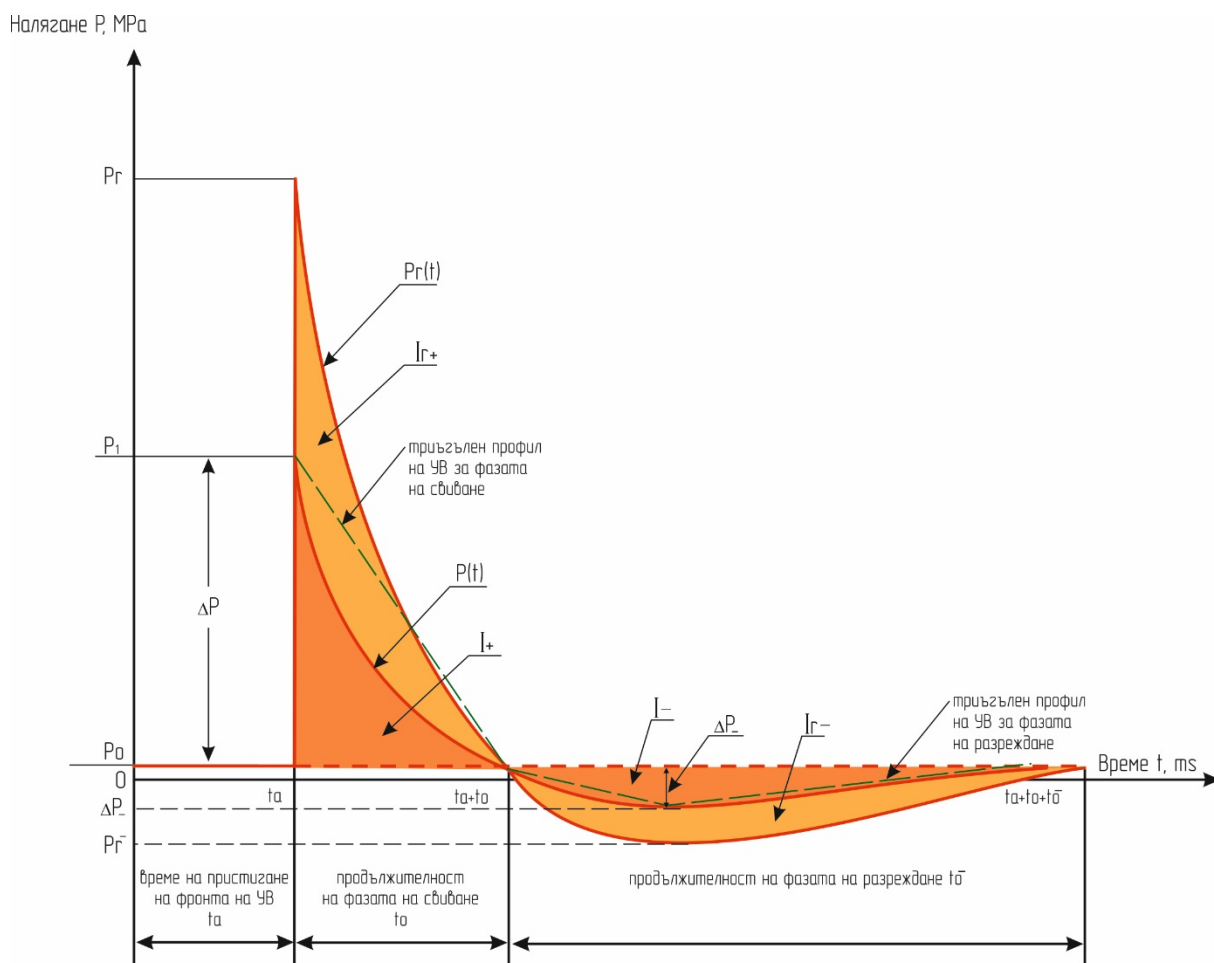
Всичко това налага извършването на съответната научно – изследователска и експериментална работа по изследването на въздушните ударни вълни (ВУВ) при взривяване на взривни вещества, които са един от основните инструменти на терористичните атаки насочени към обекти на КИ и населението. Определянето на параметрите на ВУВ е от съществена важност за опазването на здравето на хората и недопускането разрушаването на КИ.

ВТОРА ГЛАВА

ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ НА ИЗСЛЕДВАНИЯ ПРОБЛЕМ

При взрив на заряд в безграничната въздушна среда се извършва бързо отделяне на големи количества енергия в ограничено пространство. Това води до местно повишаване на температурата и налягането на газообразните продукти на взрива (ПВ), които чрез рязък удар свиват прилежащия към заряда въздух. В резултат на свиваемостта на въздуха и ударното действие на разширяващите се ПВ във въздуха възниква ударна въздушна вълна, която в началния стадий на образуване се движи със същата скорост, с която се движат и ПВ; скоростта на движението на последните в същото време е близка до скоростта на детонация на експлозива. Високата скорост на движение на ПВ се обуславя от съвместното движение с тях на ударната вълна. Ударната вълна се придвижва за сметка на кинетичната енергия, получена от ПВ. При движението във вълната по силата на необратимия характер на свиването се извършва разсейване на енергията (нарастване на ентропията) и превръщане на механичната енергия в топлинна. Спадът на интензивността на ВУВ се извършва също така в резултат на увеличаване на масата на въздуха, която се повлича от вълната с нейното разпространение. Благодарение на това ударната вълна постепенно затихва и се изражда в звукова.

Въздушните ударни вълни (ВУВ) са едно от проявленията на взрива, представляващи потенциална опасност за околните съоръжения и хора. Ударната вълна е тясна преходна област, разпространяваща се със свръхзвукова скорост, в която настъпва рязко увеличаване на плътността, налягането и скоростта. На фиг. 2.5 е показан типичен профил на УВ, в случай на перфектна детонация. Степента на повреждане зависи от интензивността на ВУВ. Силните ВУВ, които водят до разрушаване на дървени и тухлени сгради и съоръжения и които нанасят повреди на механизмите и оборудването, се реализират като правило, в близката до заряда област. Слабите ВУВ (към тях се отнасят вълни, чието свръх налягане на фронта не надвишава 10^4 Pa), които са причина за разрушаването на остъклените и леки повреди на конструктивните елементи на съоръженията, се реализират на големи разстояния от мястото на взрива.



Фиг. 2.5. Профил на падаща и отразена на ударна вълна

P_0	атмосферно налягане, кРа;
$\Delta P (P_+)$	амплитуда на фазата на свиване, кРа;
t_a	време за пристигане на фронта на УВ, s;
$P(t)$	крива на изменение на налягането;
$I_+ (i)$	импулс на фазата на свиване, кРа·s;
$t_0 (\tau_+)$	продължителност на фаза на свиване, s;
I_-	импулс на фазата на разреждане, кРа·s;
$\Delta P_- (P_-)$	амплитуда на фазата на разреждане, кРа;
$t_0^- (\tau_-)$	продължителност на фазата на разреждане, s.
P_r	амплитуда на отразеното налягане.

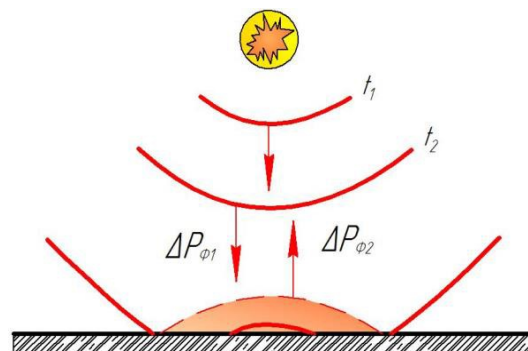
Положителната фаза на вълната на налягането, известна като фаза на свиване, се характеризира с амплитуда на свръхналягане, импулс на фазата на свиване и продължителност на положителната фаза; отрицателна фаза или фаза на разреждане - продължителност, импулс и амплитуда на фазата на разреждане. Често се използва триъгълен профил на взривното натоварване, както е показано от пунктираната линия

на фигура 2.5, като се пренебрегва негативната фаза.

Времето, необходимо на налягането да достигне своята пикова стойност ΔP , се счита за равно на нула (моментално покачване). Това пиково налягане обикновено се нарича свръхналягане. След тази пикова стойност налягането намалява с експоненциална скорост, докато достигне отново стойностите на атмосферното налягане в рамките на период от време, известен като продължителност на положителна фаза, τ_+ . Веднага след положителната фаза стойността на налягането пада под налягането на околната среда, създавайки сили на засмукване. По време на тази фаза налягането достига минималната си стойност, която се обозначава като ΔP_- и накрая расте още веднъж, докато достигне стойностите на атмосферното налягане след продължителност, която е посочена като продължителност на фазата на разреждане, τ_- . Импулсът за всяка от двете фази се определя и изчислява като площта между кривата на налягането и времевата ос, и е известен като положителен I_+ , и съответно отрицателен I_- импулс на свръхналягане.

Когато ударна вълна се срещне с твърда преграда, настъпва нейното отражение и към падащата вълна ($\Delta P\phi_1$) започва да се разпространява отразена вълна ($\Delta P\phi_2$). Преградата задържа движещите се въздушни маси, а налягането и температурата допълнително се увеличават. Налягането на ударната вълна се увеличава най-много, когато здравата неподвижна преграда е перпендикулярна на посоката на вълната. В този случай скоростта на въздуха зад фронта на ударната вълна постепенно спада до нула, а въздухът до преградата се свива много бързо. Следователно образува се нов скок на съгъстяване, при което се прекратява движението на въздуха по посоката на разпространение на действащата вълна и се появява нова ударна вълна - отразена от преградата и движеща се в обратна посока.

При взрив на определена височина над преградата в определена точка в пространството се наблюдава правилно отражение на УВ, аналогично на отражението на звука, светлината и вълните на повърхността на водата от съответстващи прегради (Фиг.2.8).

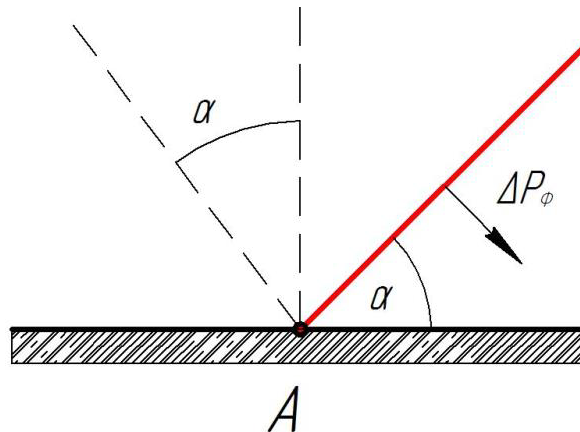


Фигура 2.8 – Схема на правилно отразена ВУВ от преграда

В този случай налягането върху преградата се увеличава повече от два пъти, тъй като свръхналягането на съгъстения въздух във вълната е повлиян от забавения

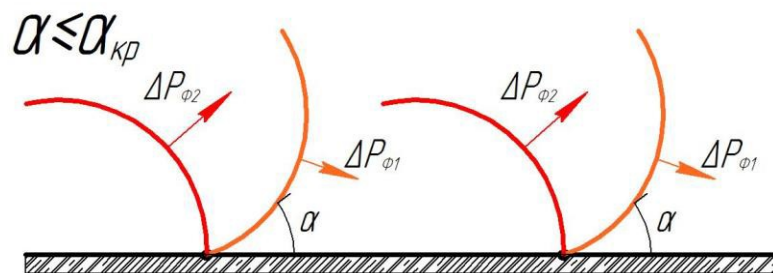
поток на въздуха зад фронта, създаващ допълнителен скоростен напор. Параметрите на отразената ударна вълна се изчисляват при условие, че при препятствието и следователно на фронта на отразената вълна скоростта на въздушния поток е нула. Спадът на налягането на фронта на отразената вълна зависи от ъгъла на падане (α) на ударната вълна.

Ъгълът на падане на вълната се нарича ъгълът α , образуван от повърхността на преградата и допирателната към фронта на вълната с връх в точката на контакт (Фиг. 2.9).



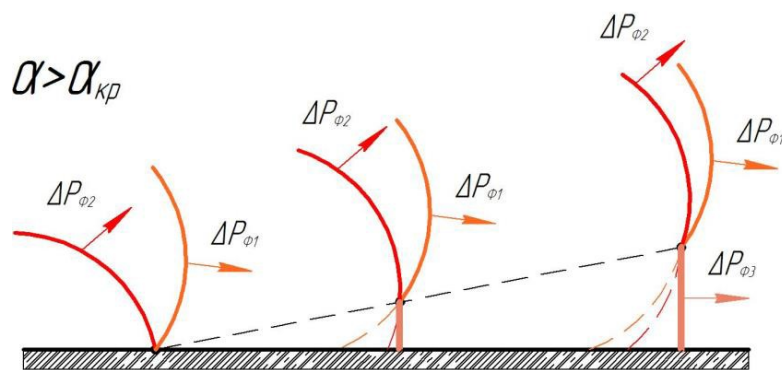
Фигура 2.9 - Ъгъл на падане α , между падащата вълна и преграда.

Нормалното отражение се счита за такова отражение, при което ъгълът α между фронта на вълната и отразяващата я повърхност е равен на нула ($\alpha = 0$). При $\alpha > 0$ се получава така нареченият „кос удар“. Величината на отразената вълна при $\alpha = 0$ се намира според разработената теория на отражението на ударната вълна, експериментално потвърдена от А.В. Беляев.



Фигура 2.11. Схема на разпространение на падаща и отразена вълна

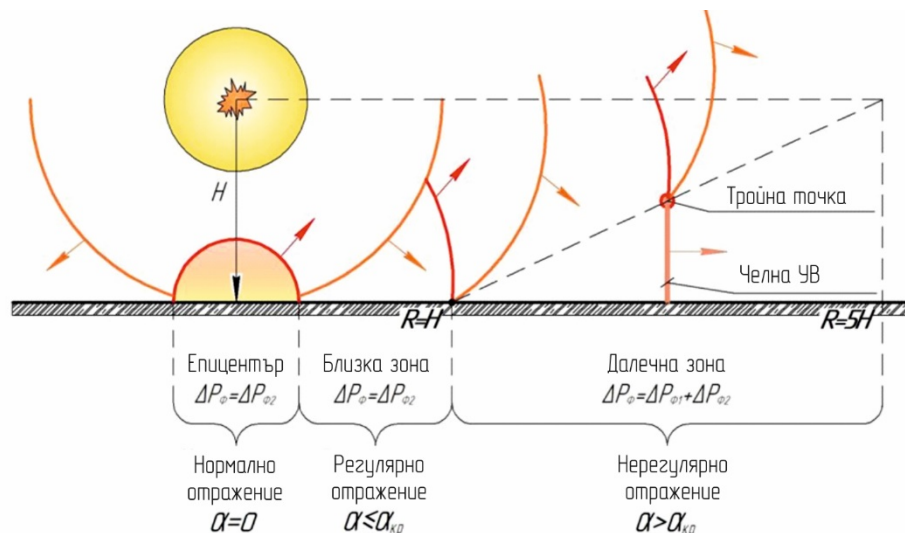
Различават се регулярно (фигура 2.11) и нерегулярно (фигура 2.12) отражение. При регулярното отражение в точката на контакт между падащата ударна вълна и преградата възниква отразена вълна, която през цялото време се движи зад падащата ударна вълна, а не пред нея. Точката на пресичане на двете вълни е на повърхността на преградата.



Фигура 2.12. Схема на нерегулярно отразяване на УВ

Нерегулярното отражение се характеризира с поведението на фронта на отразената вълна, при което той догонва фронта на падащата вълна и постепенно се слива с него, тъй като големи участъци от падащата и отразената вълна се сливат. Точката на пресичане на два фронта постепенно се отделя от повърхността на преградата, образувайки фронта на третата ударна вълна (ΔP_{ϕ_3}), наречена челна вълна, (фиг. 2.12). Фронтът на тази вълна е перпендикулярен на отразяващата повърхност. Свръхналягането във фронта на челната вълна е равно приблизително на свръхналягането при падането на ударната вълна перпендикулярно върху преградата. Това е вярно, ако ъгълът между фронта на падащата вълна и отразяващата я повърхност е малко по-голям от 45° . При увеличаването на този ъгъл челната вълна се увеличава по височина и постепенно нейното свръхналягане започва да се приближава до налягането във фронта на падащата вълна. Когато този ъгъл се приближава до правия, свръхналягането във фронта на челната вълна е около 50% по-голямо от свръхналягането на падащата вълна. По такъв начин свръхналягането в челната вълна става около един път и половина по-голямо, отколкото в падащата вълна.

По принцип картината на отражението на падащата ударна вълна от повърхността може да бъде представена по следния начин (Фигура 1.12). В зоната на т. нар. епицентър на взрива се образува нормално отражение $\alpha = 0$; в близката зона, границите на която са на разстояние, равно на височината на иницирането на заряд ВВ, се образува правилно отражение, ъгълът $\alpha \leq \alpha_{кр}$, където $\alpha_{кр} = 40^\circ$; и накрая, в далечната зона, границите на която са 5 пъти по-големи от разстоянието от точката на инициране на заряд ВВ до повърхността, се образува неправилно отражение, $\alpha > \alpha_{кр}$, т.е. $40^\circ < \alpha \leq 90^\circ$.



Фигура 2.12. Обща схема на отражение на УВ

Ударната въздушна вълна представлява първоначалния разрушителен механизъм на една експлозия. Налягането, което тя упражнява върху повърхностите на сграда може да бъде няколко степени по-голямо в сравнение с натоварването, за което тя е предназначена. Разрушителното действие на въздушната УВ се определя от величината на натоварването, която вълната създава на обекта. Тази величина, която бързо се изменя във времето, зависи преди всичко от параметрите на самата УВ, от ориентацията на обекта по направлението на фронта на вълната, размерите и здравината на обекта.

До настоящия момент във всички норми и правила на водене на взривни работи, и в експертните оценки за последствията от терористичен взрив в качеството на критерии за поразяване се използва един параметър (налягане или импулс).

Традиционния подход определя очакваното ниво на разрушения поради фугасното действие на взрива само по амплитудата на свръхналягането ΔP на УВ, без отчитане на реалния профил на налягането зад фронта на вълната и също така продължителността на действие на фазата на свиване (или) разреждане. В разчета като правило не се използва импулса на статическото налягане.

При това за всяка характерна величина на ΔP_i^* се определя ниво на поражение (разрушение). По някои достатъчно пълни сборници на феноменологични наблюдения [13,14] са приведени значенията на ΔP_i^* . Разминаването на количествените характеристики на величината ΔP_i^* за едно и също ниво на поражение достига приблизително до 2 пъти, което се дължи на субективната оценка за степента на разрушение на обекта. За изготвянето на експертни оценки такава точност на параметрите на взривното въздействие е неудовлетворително.

Представените съображения дават основание да се направи извода, че познаването на нивата на критически значения на свръхналягането ΔP се явява необходимо, но безусловно недостатъчно за точни експертни оценки и прогнози на параметрите на взрива.

По точна представа за поведението на произволна система подложена на въздействие на взривно натоварване, се получава от анализа, при който се отчита времето на действие на вълната върху обекта [12,31,20,18]. От параметрите на УВ най-пълна характеристика на натоварването върху обекта дава кривата на свръхналягането във функция от времето: $\Delta P = f(t)$.

Краят на пространствено-времевият мащаб на въздействие се описва по такъв начин, че се отчита не само амплитудата на вълната, но се определя и величината на статическия I_{st} или динамическия импулс I_{din} .

$$I_{st} = \int_0^t \Delta P dt; \quad (2.28)$$

$$I_{din} = \int_0^t \varphi u^2 dt; \quad (2.29)$$

където:

φu^2 - удвоен динамически напор;

φ и u - плътност и скорост на въздуха.

За да се определи кой параметър е определящ, трябва да се знае времето на действие на фазата на свиване на вълната, което време зависи главно от масата на експлозива и разстоянието до епицентъра на взрива.

В някои случаи разрушението може да бъде частично импулсивно и частично статическо. Понякога разрушението може да бъде причинено от т.н. скоростен напор.

Амплитудата на налягането и статическия импулс определят очакваното механическо повреждане на мишената, а динамическия импулс и амплитудата на скоростния напор задават условия за възможното отхвърляне на обекта от мястото на начална локализация.

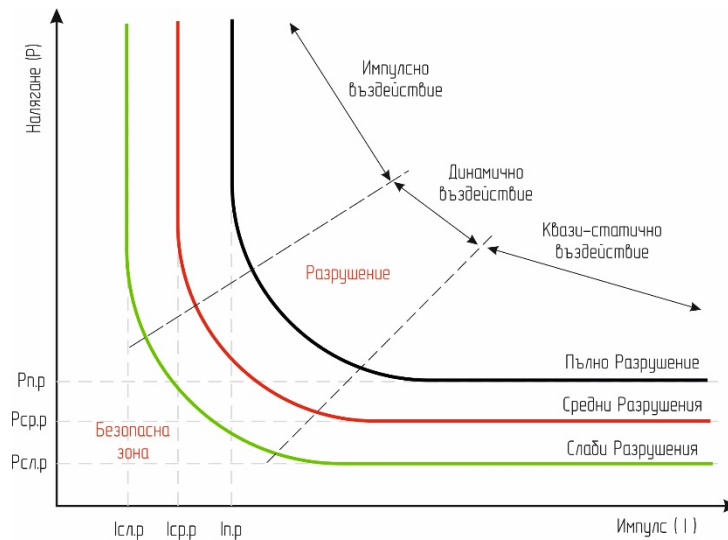
Отчитането на величината на импулса и амплитудата на вълните позволява да се премине на ново (по-високо) ниво на определяне на условията и критериите на поражение.

При това, както показват експериментите и теоретическите решения съвместното въздействие на свръхналягането и относителния импулс на вълната може да бъде отчетено с помощта на обобщен критерий на поражение, който се записва във вида [12,30]:

$$K = (\Delta P - \Delta P^*)(I - I^*) \quad (2.30)$$

където: K – константа (критическите параметри и константата K като правило се определят експериментално за всеки обект и вида на неговото поражение); както и по-рано ΔP^* - критическа амплитуда на налягането, необходима за разрушаването. Допълнително е въведено значението на критическия импулс I^* .

Функцията (2.30) в плоскостта $(\Delta P - I)$ има форма на хипербола с две асимптоми и съответства на критическото значение на максималното свръхналягане и относителния импулс на фазата на свиване на вълната.



Фигура 2.20. Геометрическо представяне на критерия на разрушаване на обекта при фугасното действие на взрива в плоскостта ($\Delta P - I$)

Ако параметрите на взривната вълна I_i и ΔP_i съответстват на точка, която лежи по-горе от кривата на обобщаващия критерий (формула 2.30), то на обекта ще бъде нанесен дадения вид поражение (Фиг.2.20).

Опитът на оценката на нивото на разрушение от взрива на експлозив близко до типични граждански или промишлени обекти е показал, че радиуса на зоната на определено ниво на поражение може да се изчисли по съотношението [16].

$$R_{SI} = K_i G^{0.33} \left[1 + \left(\frac{3180}{G} \right)^2 \right]^{-0.17} \quad (2.31)$$

където:

K_i - коефициент, определящ зоната на разрушение (Таблица 2.3.)

G - маса на заряда в тротилов еквивалент; kg;

Таблица 2.3.

Класификация на зоните на разрушаване на сгради и съоръжения

Клас на зоната на разрушение	К	Р, кПа	Възможни последици, характер на повредите на сгради и съоръжения
1	56	≤ 2	Гранична зона на повреждане на сградите; частично повреждане на остъклението
2	28	14	Разрушаване на бараки, навеси, вътрешни преградни стени на сградите, рамките на вратите и прозорците и керемидите на покривите
3	9,6	28	Разрушаване на полумасивни каменни, тухлени и дървени сгради, обръщане на транспортни средства и скъсване на въздушни електропроводи
4	5,6	70	Разрушаване на масивни тухлени сгради
5	3,8	100	Разрушаване на масивни сгради с бетонна и стоманобетонна конструкция

По съотношенията за R_{SI} може да се построи диаграмата „налягане-импулс“ с указване на съответния клас на зоната на разрушение. По зададената маса на заряда на експлозив намираме R . По приетото G и разчетеното R определяме координатите на точките на „ $\Delta P - I$ ” в диаграмата по известните съотношения от [12,31]. На фиг. 2.23 е дадена съответната диаграма.

Провеждането на разчетите на здравина и оценката на нивото (степената) на поражение на обекта зависят от такава важна характеристика, като периода на собствени колебания на целта (сградата) – T .

В литературата има обширни данни за изпитванията на съоръженията на въздействие на вълните или свободни колебания с малка амплитуда, целта на които е да се определи периода на съответните колебания и собствените коефициенти на затихване.

Периодите на собствени колебания на зданията с твърда конструктивна схема $T(s)$, като правило са в диапазона $0,1..1(s)$ и могат да се оценят по следните емпирически формули:

$$T = \alpha \cdot n; T = 0.014H; T = 0.0905 - H / \sqrt{B}; T = 0.3H \sqrt{Bq} \quad (2.38)$$

където:

n - брой на етапите; α - коефициент, зависещ от конструкцията на зданието и вида на основата (за грунд със средна плътност $\alpha = 0.04 \div 0.09$); H - височина на зданието (m); B - ширина или дължина на зданието (m); $q = 9.81 m/s^2$ - ускорение на силата на тежестта. Опитните данни за T за различни типове съоръжения са представени в табл. 2.4.

При въздушна ударна вълна при която дължината на зоната на свиване е много по-голяма от характерните размери на обекта на поразяване, натоварването има т.н „квазистатически” характер (мигновено постоянно налягане), а деформацията и разрушаването на обектите ще се определя от максималното свръхналягане.

При много къса вълна реакцията на обектите на натоварването се определя от относителния импулс на фазата на свиване – „импулсно” натоварване.

Избора на характера на натоварването при оценката на поразяващото действие на взривните вълни е свързан със съотношението между продължителността на фазата на свиване във вълната τ_+ и периода на собствените колебания на обекта T .

Така например железобетонни здания на 5 до 9 етажа имат период на собствени колебания 0.6-1.2 sec; тухлено здание на 3-4 етажа – около 0.4 sec, тухлени стени (1.5-2 тухли) – 0.015-0.01 sec; железобетонни стени – 0.015 sec, леки прегради – 0.07 sec, остъкление – 0.04 - 0.02 sec.

Таблица 2.4

Периоди на собствените колебания на здания и съоръжения

Здание	Брой етажи	Напречни T, s	Надлъжни T, s
Жилищно с носещи каменни стени	3	0,15	0,16
	5	0,28	0,22
	6	0,37-0,39	-
	8	0,43	0,43
Училище с носещи тухлени стени	3	0,22	0,21
	4	0,30	0,27
	5	0,32	-
Жилищно крупно – панелно	4	0,16	0,15
	5	0,30	0,22
	6	0,36	-
	9	0,40	0,32
Жилищно панелно	14	0,86	0,76
	16	1,20	0,76
Жилищно с долна основа и горни крупно-панелни етажи	4	0,28	0,30
	10	0,64	0,44
	18	1,14	1,05
Административно с тухли: железобетонна основа стоманена основа	12	0,69÷0,96	0,62÷0,89
	12	1,17	1,12
Административно	22	1,10	1,16

Ако времето на действие на взривното натоварване τ_+ е по-голямо от периода на собствени колебания на обекта T , т.е $\tau_+ \geq 10T$ то разрушаващото действие е статическо, определя се от налягането във фронта на ударната вълна ΔP . В този случай съоръжението се деформира и разрушава преди налягането ΔP да се е понижило.

Ако $\tau_+ \leq \frac{T}{4}$ (взрив на артилерийски снаряд или авиобомба от малък и среден калибър), налягането във фазата на свиване бързо спада, преди съоръжението да се деформира и разруши. Но под действие на импулса на налягането съоръжението придобива някакво количество на движение. Разрушението ще настъпи след като е преминала фазата на свиване (ако количеството на движение е достатъчно за да предизвика деформация и разрушение на съоръжението). Този случай се нарича импулсно действие на ВУВ.

При условие $10 \geq \frac{\tau_+}{T} \leq 0.2$, то разрушението има комбиниран характер и за да се оцени трябва да се знае зависимостта на налягането от времето.

За взривове на заряди на експлозив до (2-3) тона е характерно динамическо (импулсно) разрушаване, даже ако нормално съществува неравенството $\tau_+ > T$. Това е така понеже времето τ_+ определя цялата продължителност на действие на фазата на свиване на УВ, а разрушението се предизвиква само от челната част на фазата на свиване.

ИЗВОДИ

Изследването на въздействието на ударните въздушни вълни върху сгради и съоръжения, разположени в близост до източника на експлозията, е от голямо практическо значение при решаването на въпросите за безопасността и защитата на хората и конструкциите от последиците от взрив на ВВ. Стратегията за борба и прилагането на мерки за смекчаване на последиците от терористични атаки с използване на ВВ, изискват внимание и решения още от етапа на планиране и проектиране, тъй като впоследствие, по време на експлоатацията на съоръжението, решението на този набор от задачи става или все по-трудно и икономически неоправдано или невъзможно.

В тази глава бяха разгледани различни подходи при оценка на параметрите на ударните вълни, приведени са формули, графики и диаграми, за изчисляване на свръхналягането, импулса и безопасните разстояния. Отбелязано е, че нивото на щетите, претърпени от конструкция, не могат да бъдат определени единствено от познаване на стойностите на налягането и импулса при взрив на ВВ, важно е също така да се знаят характеристиките и динамичните свойства на материалите и формата на конструкцията.

Въз основа на резултатите от извършената работа могат да се направят следните основни изводи:

1. Съществуващите класически измервания на параметрите на взривните вълни във въздуха [2] за съжаление довеждат до грешки, свързани с ограниченията, при които са проведени измерванията.

2. Традиционния подход определя очакваното ниво на разрушения поради фугасното действие на взрива само по амплитудата на свръхналягането ΔP на УВ, без отчитане на реалния профил на налягането зад фронта на вълната и също така продължителността на действие на фазата на свиване (или) разреждане. В разчета като правило не се използва импулса на статическото налягане.

3. Представените съображения дават основание да се направи извода, че познаването на нивата на критически значения на свръхналягането ΔP се явява необходимо, но безусловно недостатъчно за точни експертни оценки и прогнози на параметрите на взрива.

4. Предиизвиканите от взрива увреждания са потенциално смъртоносни и засягат човешкото тяло по различни механизми – въздействие на взривната ударна вълна (първични), пенетриращи и непенетриращи наранявания от летящи фрагменти и околни предмети (вторични), закрити травми вследствие от удара на ускорения субект в околни предмети (третични), отравяния, изгаряния и психосоматични ефекти (четвъртични). При повечето от пострадалите взривните увреждания са причинени по няколко от описаните механизми със засягане на няколко анатомични области и различни органи и системи в тях. Това дава основание да се възприеме термина мултидимензионална травма. Налице са тежко ранени пациенти в условията на голям брой пострадали при недостъпност на медицинския и логистичен ресурс.

5. Изследвани са параметрите и границите на деформация на конструкциите подложени на взривно въздействие. Обобщени са принципите на взривозащитно

проектиране и основните подходи за подобряване на взривоустойчивостта на сгради и конструкции.

6. Към днешна дата аналитичните методи за изчисление преобладават в практиката на изчисляване на строителните конструкции за експлозивни ефекти.

7. Съществуват модерни софтуерни пакети, базирани на метода на крайните елементи и позволяващи да се реши проблемът с числената симулация на въздействието на взрив на ВВ върху конструкции в нелинейна динамична обстановка.

Важна задача при проектирането на взривозащитени конструкции е запазването на тяхната цялост чрез елиминиране на възможността за прогресивно срутване. Това може да се постигне чрез спазване на основните насоки за проектиране на взривозащитени конструкции: изчисляване и анализ на ключови конструктивни елементи, без които сградата не е в състояние да издържи силно натоварване под действието на УВ; създаване на алтернативни начини за разпределяне на натоварването, така че в случай на загуба на един конструктивен компонент сградата да запази своята структурна цялост; използването на полимерни композитни свързващи вещества за подсилване на конструкцията и за поддържане на стабилност, гъвкавост и здравина на конструкцията. Имайки предвид горните параметри, могат да бъдат избрани подходящи материали и подходящи дизайнерски стратегии, за да се намалят ефектите от експлозия.

Установено е, че формите на сградите и размерите значително влияят върху разчетните стойности на очакваното взривно натоварване. Въз основа на проучвания и опит от предишни изследвания е установено, че за да се намали натоварването върху конструкцията, формата на сградите трябва да е такава, че да се избягва отразеното свъхналягане.

Показано е, че в случай на квадратни и правоъгълни форми с дълги лица (граници), има почти постоянен пик на отразеното налягане по цялата лицева фасада, с нормални отражения в центъра и регулярни отражения близо до ъглите на сградата. В допълнение, квадратна форма на сградата води до по-висок отразен пик на свръхналягането в сравнение с дълга правоъгълна сграда. В случай на кръгла структура, най-високата стойност на отразеното свръхналягане се наблюдава в точката на границата, най-близка до експлозията, и където се получава нормално отражение с намаляваща величина към двете страни и към центъра. Доказано е, че параболичната или кубичната форма е по-добра от вертикалната фасада на сградата.

Проектирането на взривозащитена конструкция изисква добри проектантски и строителни умения, както и познания за характеристиките на УВ и поведението на конструкциите, и техните елементи при взривни натоварвания. След като състоянието на натоварване е определено и мястото е избрано, инженерът-конструктор се включва в избора на типа конструкция, необходима за издържане на потенциално взривно въздействие. Въпреки че всички видове конструкции осигуряват определено ниво на устойчивост на взрив, има по-подходящи конструкции от други.

ТРЕТА ГЛАВА

РАЗРАБОТКА НА МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА ВЗРИВА ВЪРХУ СГРАДИ И СЪОРЪЖЕНИЯ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ВЗРИВОЗАЩИТНИ СТЕНИ

3.1 Разработване на модел за анализ на ефектите от взрива

Целта на тази глава е да се разработи модел за анализ на ефектите от взрива (МАЕВ), способен ефективно да определи количествено и да визуализира взривното въздействие върху построени обекти зад взривозащитни стени. Този модел ще позволи да се анализират и сравняват всички възможни варианти за проектиране, за да се избере най-ефективната комбинация от вида на взривозащитната стена и строителния материал, за да се намалят рисковете за безопасността на персонала, сградите и конструкциите подложени на взривно въздействие. Моделът е комбинация от пет основни етапа:

I. Етап за анализ на взривозащитната стена, на който се разработват нови аналитични формули и набор от фактори за ефективност, за да се определи количествено пригодността на крехки взривозащитни стени, включително запълнени с пясък, напълнени с вода и дървени стени, за намаляване на отразеното налягане и импулсно натоварване върху сгради и конструкции.

II. Етап на оценка на щетите, при който се изчислява процентът от площта на всяка сграда или конструкция според петте, класове зони на разрушение, (*Таблица 2.3.*) за да се изчисли общата щета;

III. Етап на визуализация на щетите в резултат на взрива, който показва прогнозираните зони на повреди на сграда или конструкция въз основа на масата на ВВ във взривоопасните граници от взрива, вида на взривозащитната стена и конструктивното изпълнение на сградата;

IV. Етап на анализ на ефективността, който оценява точността и ефективността на разработения модел;

V. Етап на ситуационен анализ, който анализира представянето на разработения модел на конкретен пример.

Взривозащитната стена е физическа бариера, която разделя критичните обекти от заплахата при взривяване на ВВ. Взривозащитните стени функционират, като отразяват част от енергията на взрива, което дава възможност за намаляване на отразеното налягане и импулсното натоварване върху обекта. Това намаляване на взривното въздействие при наличие на твърди стени може да бъде оценено количествено, като се използват уравнения (3.1) и (3.2) за отразеното налягане и импулс, въз основа на аналитични формули, тествани в [33]. Тези уравнения обаче са ограничени до твърди стени и трябва да бъдат разширени, за да се разгледат възможните видове чупливи стени като пълнени с пясък, пълни с вода и дървени стени, които са намерени в референции [91, 52], за да осигурят по-голямо намаляване на взривното натоварване върху обектите.

$$K_{P_{max,ТВ}} = -0.1359 + \left[0.3272 + 0.1995 \log\left(\frac{H}{S}\right) \right] \log \frac{S}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} - 0.5626 \log\left(\frac{H}{S}\right) + 0.4666 \left(\frac{L}{S}\right) \quad (3.1)$$

$$K_{I_{max,ТВ}} = 0.0274 + \left[0.4146 + 0.2393 \log\left(\frac{H}{S}\right) \right] \log \frac{S}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} - 0.5044 \log\left(\frac{H}{S}\right) + 0.2538 \left(\frac{L}{S}\right) \quad (3.2)$$

където $K_{P_{max,ТВ}}$ - коефициентът на корекция за максимално отразеното налягане за твърди стени; H - височината на взривозащитната стена, m ; S - разстоянието между мястото на взрива и обекта, m ; E – ефективна енергия на ВВ, J ; P_0 - атмосферно налягане, Pa ; L е разстоянието на мястото на взрива до взривозащитната стена, m ; $K_{I_{max,ТВ}}$ - корекционният коефициент за максимално отразения импулс за плътни стени.

За да се премахне гореспоменатото ограничение на уравнения (3.1) и (3.2), на този етап се разработват аналитични формули за количествена оценка на ефективността на възможните видове крехки взривозащитни стени при намаляване на отразеното налягане и импулсно натоварване върху обектите, както е показано в уравнения (3.3) и (3.4). Тези уравнения използват разработен набор от коефициенти на ефективност, за да отчетат широк спектър от крехки типове стени, включително различни дебелини на корк, ледени стени, полистирол, полиетиленови листове; различни дебелини на пясъчни контейнери, стени на водни торби и контейнери, пълни с вода. Въз основа на експерименталните данни, представени в [33], е съставена таблица на показателите за ефективност на различни материали за стени в зависимост от дебелината на самия материал (Таблица 3.1).

Таблица 3.1.

Показатели на ефективност на взривозащитни стени

Материал на стената	Дебелина (m)	Показател за ефективност EF_P	Показател за ефективност EF_I	Анализ на показателите на ефективност	
Дебела трупна дървесина	0.08	0.70	1.06	++	-
Тънка трупна дървесина	0.02	1.33	1.33	-	-
Дебела ледена стена	0.60	0.80	0.86	++	+
Тънка ледена стена	0.30	0.97	0.93	+-	+
Пенополистирол	0.05	0.78	1.01	++	-
Полиетиленов лист	<0.01	1.26	1.29	-	-
Дебела пясъчна стена	1.50	0.74	0.64	++	+
Средна пясъчна стена	1.00	0.82	0.71	+-	+
Тънка пясъчна стена	0.50	0.86	0.78	+-	+
Стомана, стандарт СтЗ	0.20	1.00	1.00	+	+
Чували, пълни с вода	0.10	0.71	0.91	++	+
Стена, напълнена с вода	0.60	0.81	0.84	+-	+

$$K_{Pmax,kr} = K_{Pmax,tv} \cdot EF_p, \quad (3.3)$$

$$K_{Imax,kr} = K_{Imax,tv} \cdot EF_I, \quad (3.4)$$

където $K_{Pmax,kr}$ - коефициентът на корекция за максимално отразеното налягане за чупливи /крежки/ стени; EF_p - показател за ефективността на крежките стени при намаляване на налягането; $K_{Imax,kr}$ - корекционен коефициент за максимално отразения импулс за крежките стени; EF_I - индикатор за ефективността на крежките стени при намаляване на импулса.

Показателите за ефективността на крежките взривозащитни стени за намаляване на налягането и импулса измерват тяхната работоспособност при сравнение със стандартна, твърда взривозащитна стена. На този етап се изчислява набор от коефициенти на ефективност на крежките стени за 11 възможни типа крежки стени чрез анализ на експериментални данни от предишни проучвания на взривозащитни стени.

Предишни проучвания са документирали измервания на налягане и импулс при нарастващи разстояния или височини зад взривозащитни стени. Индикаторите за ефективността на крежката стена от уравнения (3.3) и (3.4) се изчисляват на три етапа, които са предназначени:

1. да се използват наличните експериментални данни от фиксирани измервания на взрива в различни точки (n) зад взривозащитната стена;
2. за изчисляване на съотношението на стойностите на налягането и импулса за крежки и твърди стени за всяко място;
3. за изчисляване съотношението на ефективност, като осреднява всички показатели, изчислени в предишната стъпка.

Например коефициентът на ефективност при намаляване на налягането за дебела пясъчна стена се изчислява, като се използва уравнение (3.5), както е показано в таблица 3.2.

$$EF_p = \frac{\sum_{n=1}^N \left(\frac{P_{kr,n}}{P_{tv,n}} \right)}{N} \quad (3.5)$$

$$EF_I = \frac{\sum_{n=1}^N \left(\frac{I_{kr,n}}{I_{tv,n}} \right)}{N} \quad (3.6)$$

където n -местоположението на измереното налягане / импулс зад взривозащитната стена на различни разстояния и / или височини, m ; N е общият брой точки за измерване на налягането и импулса зад взривозащитната стена; $P_{kr,n}$ - налягане на взривната вълна зад крежка стена в точка n (кПа); $P_{tv,n}$ - налягане на взривната вълна зад твърдата преграда в точка n (кПа); $I_{kr,n}$ - импулс зад крежка стена в точка n (кПа · ms / kg^{1/3}); и $I_{tv,n}$ - импулс зад твърдата преграда в точка n (кПа · ms / kg^{1/3}).

Таблица 3.2

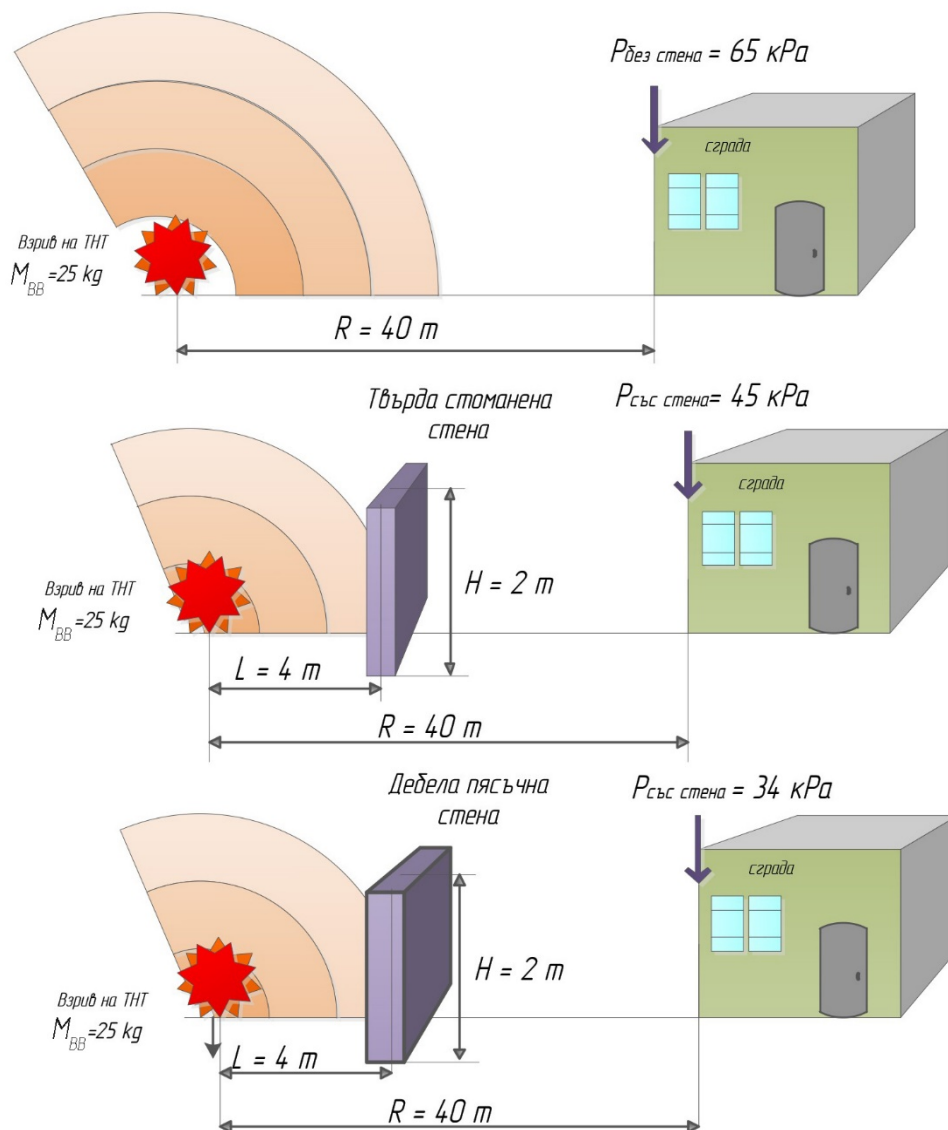
Изчисление на показателя на ефективността на дебела пясъчна стена

Точки на измерване на налягането, N	Разстояние до взривозащитната стена, S (m)	Измерено налягане, $P_{кр.п}$ (кПа) [44]	Измерено налягане, $P_{тв.п}$ (кПа) [43]	Пресметнатата съотношение $\left(\frac{P_{кр.п}}{P_{тв.п}}\right)$	Показател на ефективност EF_P
1	1.35	41	57	0.72	0.74
2	1.50	38	49	0.78	
3	1.65	35	46	0.76	
4	1.80	28	39	0.72	

На този етап се използват уравнения (3.5) и (3.6) за изчисляване на коефициентите на ефективност на налягане и импулс за 11 вида крехки взривозащитни стени. Стойността по-голяма от единица означава, че избраният материал ще се представи по-малко ефективно от стандартната стоманена стена, докато стойност по-малка от единица означава, че крехката стена ще се представи по-добре от стандартната стоманена стена, както е показано в таблица 3.1.

Значимостта на тези изчислени коефициенти на ефективност може да бъде илюстрирана с опростен пример, както е показано на фигури 3.1 и таблица 3.3.

В този пример се приема, че иницирането на ВВ намиращо се в движещо се превозно средство с маса от 25 kg тротилово еквивалент ще се случи на разстояние 40 m от сградата. Примерът показва ефекта от използването на 2 конструкции за взривна защита: стандартна стоманена стена и дебела пясъчна стена. Липсата на взривозащитна стена излага обекта на падащо налягане от 29 кПа и отразено налягане от 65 кПа. Използването на твърда стоманена стена на 4 m от взрива намалява това максимално отразено налягане с 30%, което води до отразено налягане от 45 кПа, докато дебелата пясъчна стена намалява налягането с 48%, което води до налягане от 34 кПа. Този пример показва, че използването на крехка взривозащитна стена може значително да намали максималното отразено натоварване върху обект. Това намаляване на налягането, води до намаляване на щетите върху съоръжението, смъртността на персонала, имуществените щети и загубите на трети страни.



Фигура. 3.1 - Влияние на взривозащитната стена върху нивото на отразеното налягане, възникващо на фронталната стена на сградата (1) няма взривозащитна стена, (2) твърда стоманена взривозащитна стена, (3) дебела пясъчна взривозащитна стена

Таблица 3.3.

Изчисляване на показателя на ефективности на дебела пясъчна стена

Вид на стената	Показател на ефективности EF_P	Корекционен коефициент на максималното отразено налягане	Отразено налягане, $\Delta P_{ф2}$ (кПа)
Отсъствие на стена	-	-	65
Стоманена стена (0,2 m)	1.0	0.7	46
Пясъчна стена (1,5 m)	0.74	0.52	34

В следващия етап за количественото определяне на ефектите от взрива върху всички възможни типове стени, фокусът ще бъде върху разработването на модел за оценка на въздействието на взрива, който изчислява процентната площ на всеки обект в рамките на определени нива на щети, за да се определи общото ниво на щетите от взрива.

3.2 Оценка на входните параметри за модела за анализ на ефектите от взрива

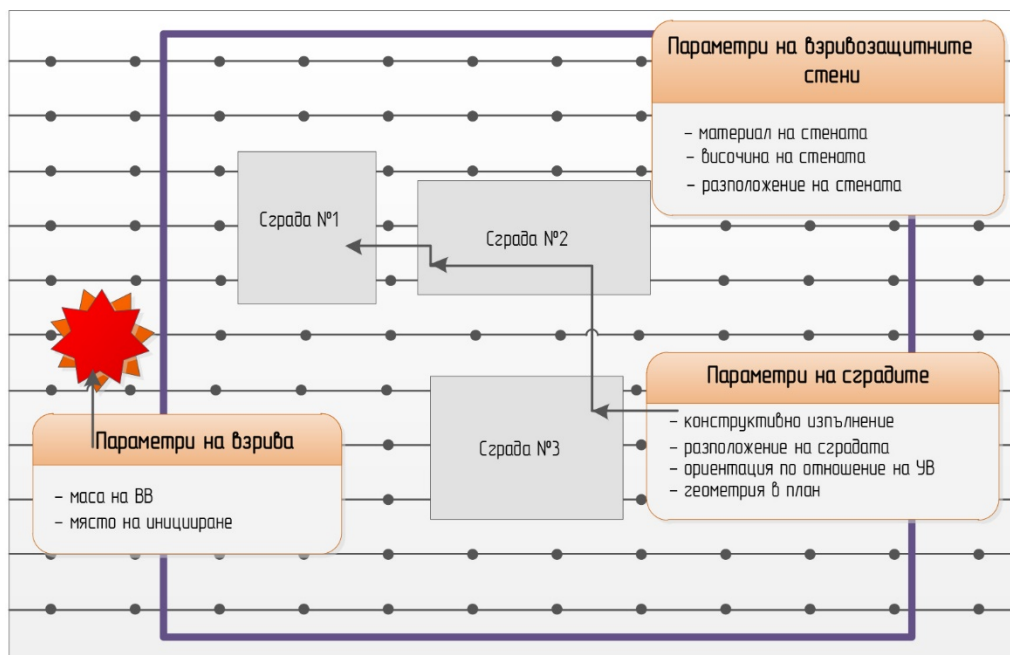
Този етап е свързан с разработването на модел за анализ на ефектите от взрив (МАЕВ), който е в състояние ефективно да определи количествено и да визуализира въздействието на взрив върху изградени сгради и конструкции зад взривозащитна стена. Този етап се състои от четири стъпки:

1. Определяне на входните параметри на модела;
2. Изчисляване на разстоянията между точката на взрив и защитената сграда;
3. Количествено определяне на процента застроена площ в рамките на установените класове на зони за разрушаване (*Таблица 2.3.*)
4. Изчисляване на общата щета на сградата.

Входните параметри на разработения модел са избрани по такъв начин, че да представят всички възможни варианти на проектиране, с цел да се определи най-ефективната комбинация от типа на взривозащитна стена и конструктивно изпълнение за намаляване на рисковете за безопасността на персонала и разрушаването на сгради и конструкции подложени на взривно въздействие. Моделът изисква три основни типа входни параметри:

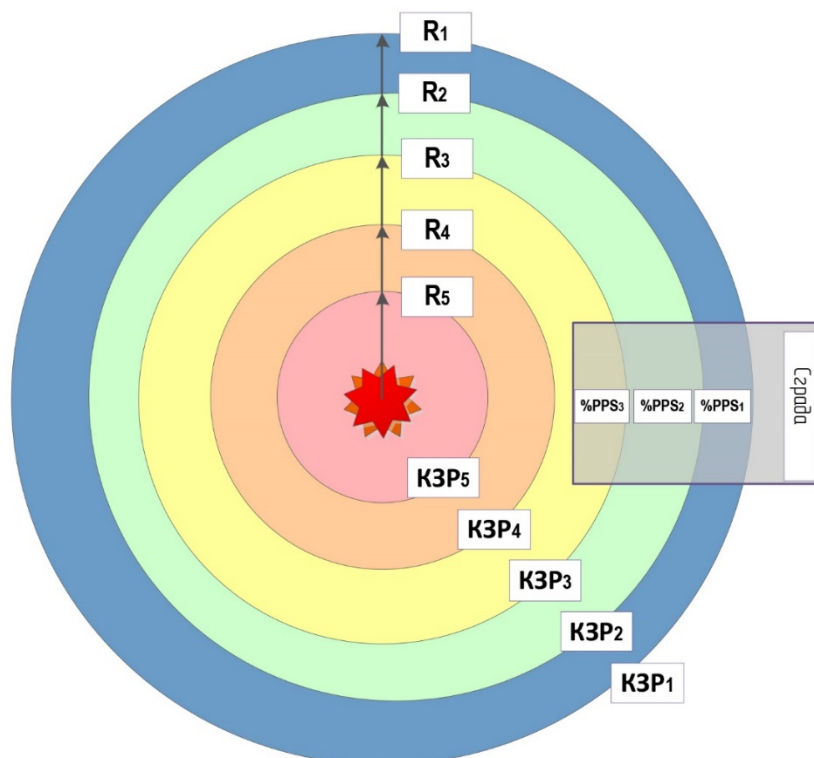
- (1) параметри на сградата: местоположение, конструктивно изпълнение, геометрия в план, ориентация спрямо вероятното направление на взрива;
- (2) параметри на взривозащитната стена: материал на стената, височина и разположение на стената;
- (3) параметри на ВВ: масата на ВВ и местоположение на взрива /разстояние/.

Местоположенията в модела се дефинират с помощта на мрежова система, която позволява задаване на интервала на мрежата. Местоположението на обектите се определя от разположението на техните центрове в мрежовата система, както е показано на фигура 3.2.



Фигура 3.2. Модел на входните параметри

Въз основа на горните входни параметри, моделът е проектиран да оцени взривния ефект, чрез изчисляване на процентната площ на всеки обект, предмет на пет установени КЗР в съответствие с Таблица 2.3 минимум (КЗР-5), слаб (КЗР-4), среден (КЗР-3), силен (КЗР-2), максимум (КЗР-1), както е показано на фигура 3.3.

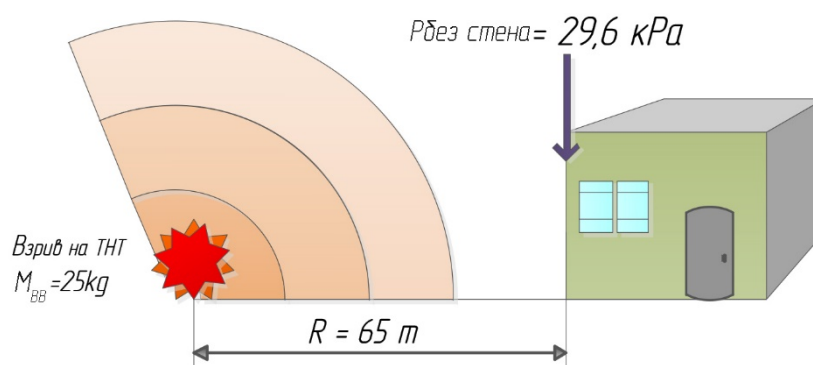


Фигура 3.3. Визуално изображение на процента на поражение на сграда, подложена на различни КЗР

Процент на поразената площ на сграда

Клас на зоната на разрушение (КЗРj)	Разстояние – радиус на зоната на разрушение (Rj)	Процент поразената площ на сградата (%PPSj)
Минимален	R ₁	10
Слаб	R ₂	20
Среден	R ₃	40
Силен	R ₄	60
Максимален	R ₅	100

Тези пет КЗР са дефинирани в този модел, за да се осигури съгласуваност с посочените нива на щети във втора глава – таблица 2.3. За да се изчислят тези процентни площни щети (% PPj), разстоянията (Rj) трябва да бъдат изчислени за всяка комбинация от нива на повреда (j), маса на ВВ (M_{ВВ}), вида на взривозащитната стена и конструктивното изпълнение на сградата. Тези разстояния представляват минималното разрешено разстояние между обекта и опасната зона, осигурявайки желаното ниво на защита. Например, ако сграда, която е проектирана във взривозащитно изпълнение при 30 kPa, се намира на разстояние 65 m от мястото на най-вероятното инициране на ВВ, масата на които е 25 kg, тогава тази сграда ще се намира в зоната на средно увреждане или КЗР-3 (Фигура 3.4). В съществуващите ръководства за безопасност няма методи за изчисляване на безопасните разстояния за сгради и конструкции, разположени зад взривозащитни стени. За да премахнем това ограничение, се предлага нова методология за изчисляване на разстояния, коригирани за взривозащитната стена (ARj), които осигуряват същото ниво на защита на обекти, както съществуващите разстояния за обекти без взривозащитна стена.



Фигура 3.4. Разстояние без взривозащитна стена

В тази стъпка се изчисляват разстоянията (ARj), коригирани с отчитането на наличие на взривозащитна стена, която осигурява същото ниво на защита за обекти зад взривозащитни стени, както и съществуващите разстояния за обекти без взривозащитни стени, както е показано в уравнения (3.7) и (3.9). Стойностите на ARj в настоящия модел се изчисляват за всяка комбинация от ниво на повреда (j), маса на ВВ (M_Г), допустим тип

взривозащитна стена и конструктивното изпълнение на защитената сграда. Изчислението на (AR_j) се извършва в три основни стъпки:

1. Определяне съгласно Наредба № РД-02-20-1 от 19 януари 2017 г. на минималните безопасни разстояния (R_j) за обекти без взривозащитна стена за всяка комбинация от ниво на щети (j), масата на ВВ ($M_{ВВ}$), и конструктивно изпълнение [22];

2. изчисляване на отразеното налягане или импулс върху обект на тези дефинирани разстояния с помощта на уравненията (3.9) и (3.10) за налягане и уравнение (3.11) за импулс; и (3) изчисляване на разстоянието (AR_j), коригирано при наличието на взривозащитна стена, върху която налягането и инерцията се поддържат равни на тези, определени във втория етап, използвайки модификация на хибридният метод на Пауъл за нелинейни уравнения [81] за решения на уравнения (3.7) или (3.9), съответно. Тези три стъпки са разгледани по-долу.

$$P_{\text{без стена}, R_j} = P_{\text{със стена } AR_j} \quad (3.7)$$

$$I_{\text{без стена}, R_j} = I_{\text{със стена } AR_j} \quad (3.8)$$

където $P_{\text{без стена}, R_j}$ - отразеното натоварване върху сграда без взривозащитна стена (кПа); R_j - разстояние до сграда без взривозащитна стена с КЗР $_j$ (m); $P_{\text{със стена } AR_j}$ - натоварване от отразеното налягане върху сградата зад взривозащитната стена (кПа); AR_j е коригираното разстояние до сградата зад взривозащитната стена при ниво на повреда j (m); j - КЗР или ниво на щети (минимално, слабо, средно, силно, максимално); $I_{\text{без стена}, R_j}$ - натоварване на отразения импулс върху обекта без взривозащитна стена (кПа·s); $I_{\text{със стена } AR_j}$ - натоварване на отразения импулс върху обекта зад взривозащитната стена (кПа·s).

Първо, разстоянията до обекти при липса на взривозащитна стена се определят за всяка комбинация от ниво на повреда, маса на ВВ ($M_{ВВ}$), и конструктивно изпълнение, както е показано на диаграмата (Фигура 3.5). Тези 150 възможни комбинации обхващат:

(1) петте КЗР или нивата на щетите, изброени по-горе: минимално, слабо, средно, силно, максимално;

(2) пет най-вероятни маси ВВ, предизвикващи поразяващите фактори на взрива: 30 kg, 100 kg, 250 kg, 500 kg, 2000 kg;

(3) шест често срещани типа сгради по отношение на конструктивно изпълнение: индустриални сгради с лека рамка и безрамкова конструкция, складови тухлени сгради, едноетажни складове с метална рамка и запълване на стени от ламарина, бетонни и стоманобетонни сгради и антисейсмични конструкции, стоманобетонни монолитни сгради с увеличена етажност, дървени къщи.

На второ място, натоварванията на отразеното налягане $P_{\text{без стена}, R_j}$ или импулс $I_{\text{без стена}, R_j}$ на тези определени разстояния се изчисляват, като се използват модифицирани уравнения (3.9) - (3.11), базирани на уравненията за въздушната взривна вълна от С. Кингери и Дж. Балмеш [77], където отразеното налягане и импулс са функция на приведеното разстояние [99]:

$$\text{Ако } 0.06 \leq \frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \leq 2.0, \text{ то}$$

$$P_{\text{без стена}} = e^{\left\{ \begin{aligned} &9.006 - 2.6893 \ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) - 0.6295 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^2 + 0.1011 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^3 + 0.29255 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^4 + \\ &+ 0.13505 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^5 + 0.019736 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^6 \end{aligned} \right\}} \quad (3.9)$$

Ако $2.0 \leq \frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \leq 40$, то

$$P_{\text{без стена}} = e^{\left\{ \begin{aligned} &8.8396 - 1.733 \ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) - 0.64 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^2 + 2.293 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^3 - 0.08232 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^4 + \\ &+ 0.14247 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^5 - 0.0099 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^6 \end{aligned} \right\}} \quad (3.10)$$

Значение на импулса в случая:

$0.06 \leq \frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \leq 40$, то

$$I_{\text{без стена}} = e^{\left\{ \begin{aligned} &6.7853 - 1.3466 \ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) + 0.101 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^2 - 0.01123 \left[\ln \left(\frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]^3 \end{aligned} \right\}} \quad (3.11)$$

Трето, разстоянията, коригирани заради наличието на взривозащитни стени, се изчисляват, за да се определи количествено въздействието от въвеждането на различни взривозащитни стени върху посочените разстояния. Както е показано на диаграмата (Фигура 3.9), в третия етап се изчисляват разстоянията (AR_j), коригирани заради наличието на взривозащитна стена, които поддържат налягането или импулса, равни на тези, определени с помощта на модифицирания хибриден метод на Пауъл за нелинейни уравнения във втората стъпка за решаване на уравненията (3.7) и (3.8). На този етап се изчисляват 6000 уникални стойности на AR_j чрез количествена оценка на ефективността на 11 възможни опции за взривозащитни стени при намаляване на отразеното налягане или импулсно натоварване върху обекти за всяка от 150 проектни комбинации на нивото на повреда, като се вземе предвид масата на ВВ (M_{ВВ}) и конструкцията, посочена по-горе. Тези опции за взривозащитна стена покриват възможни комбинации:

1. Десет вида взривозащитни стени, включително 6 вида крехки стени, за които са получени показателите за ефективност, изброени в таблица 3.1, спрямо стандартна твърда стоманена стена [37]. Трябва да се отбележи, че списъкът на крехки материали за

взривозащитни стени не включва ледени стени и торбички, пълни с вода, изброени в Таблица 3.1., поради невъзможността за тяхното използване в реалната действителност.

2. Четири височини за взривозащитната стена: 2m, 3m, 4m и 5m.

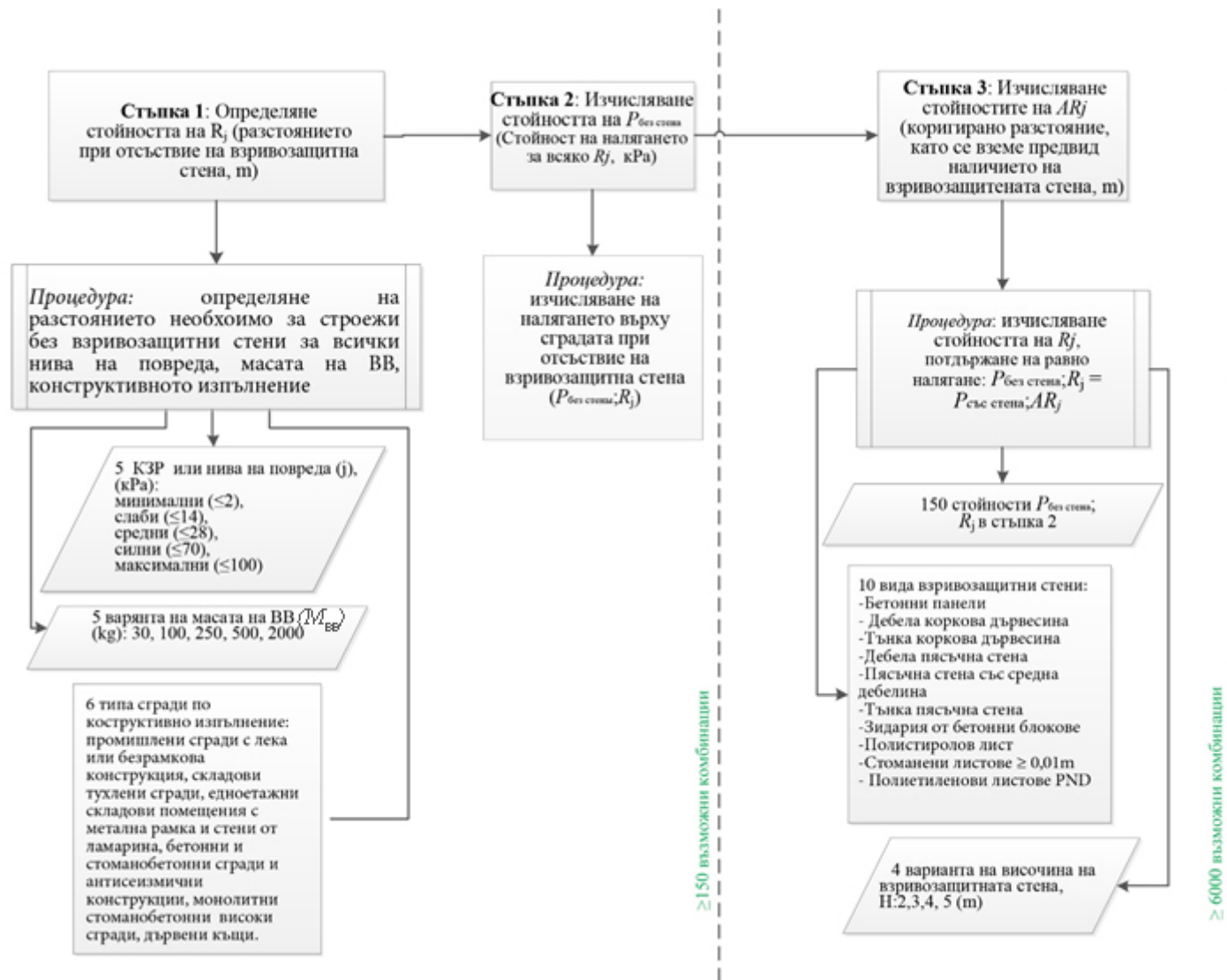
За да се извършат тези изчисления, е необходимо да се определи количествено характеристиката на крехките и твърди взривозащитни стени с намаляване на отразеното налягане и импулсното натоварване на обектите. Намаляването на максимално отразеното натоварване върху обекта се определя чрез умножаване на налягането върху обекта при липса на стена ($P_{\text{без стена}}$) от уравнения (3.9) и (3.10) по съответния корекционен коефициент за взривозащитна стена (K_{Pmax}), както е показано в уравнение (3.12). Намаляването на отразеното импулсно натоварване върху обекти се определя количествено чрез умножаване на отразения импулс на обект при липса на стена ($I_{\text{без стена}}$) от уравнение (3.11) по съответния корекционен коефициент за импулса в присъствието на взривозащитна стена (K_{Imax}), както е показано в уравнение (3.9). След това, ако е необходимо, за решаване на уравнения (3.7) и (3.8) се използва модифициран хибриден метод на Пауъл за нелинейни уравнения, като се изчислява стойността на AR_j за $P_{\text{със стена};AR_j}$ която стойността е по-малка или равна на $P_{\text{без стена};R_j}$ или $I_{\text{със стена};AR_j}$ чиято стойност е по-малка или равна на $I_{\text{без стена};R_j}$, изчислената на втория етап.

$$P_{\text{със стена}} = K_{Pmax} \cdot P_{\text{без стена}} \quad (3.12)$$

$$I_{\text{със стена}} = K_{Imax} \cdot I_{\text{без стена}} \quad (3.13)$$

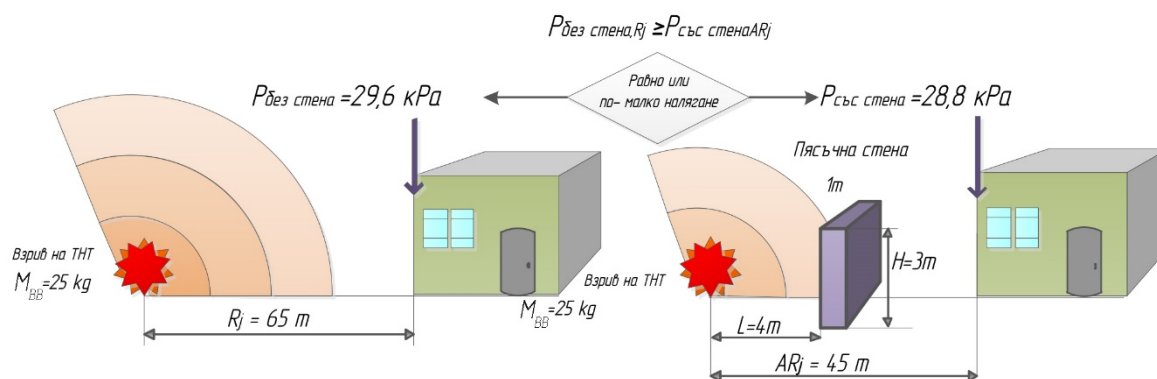
Изчисленията, направени в горните три етапа, могат да бъдат илюстрирани с прост пример, както е показано на фиг. 3.6. В този пример се приема, че сградата от стоманобетон, трябва да се намира извън зоната на умерени повреди ($j = 3$) с най-вероятен взрив на ВВ с маса в границите на 25 kg. Необходимо е да се сравни разстоянието, необходимо за защита на съоръжението при липса на взривозащитна стена, с коригираното разстояние, като се вземе предвид наличието на 3 m пясъчна взривозащитна стена с дебелина 1 m, за да се защити сградата. На първия етап се определя разстоянието от 65 m (R_j), което е необходимо, за да се осигури необходимото ниво на защита на сграда без взривозащитна стена.

На втория етап, за да се изчисли разстоянието, определено в първата стъпка, се използват уравнения (3.9) и (3.10). Решението на уравнението (3.10) показва, че на разстояние 65 m обектът ще изпитва натоварване с отразено налягане от 29,6 kPa. На третият етап чрез решаване на уравнение (3.8) с помощта на модифицирания хибриден метод на Пауъл за нелинейни уравнения, коригиран, като се вземе предвид наличието на взривозащитна стена, се изчислява разстоянието за обект, защитен от широка пясъчна стена с височина 3 m, при която отразеното налягане е 28,8 kPa. Това изчисление дава коригирано разстояние (AR_j) от 45 m. Това изчисление може да бъде проверено и допълнително обяснено с помощта на уравнение (3.12). При AR_j , равна на 45 m, $P_{\text{със стена}}$ изчислено чрез умножение на $P_{\text{без стена}}$ по K_{Pmax} [изчислено по уравнение (3.3)] за 3 m пясъчна стена със средна дебелина, за която се смята, че е на разстояние от 4 m от мястото на взрива. Извършването на тези изчисления води до следните резултати: $P_{\text{без стена};45} = 52.7$ kPa и $K_{Pmax} = 0,55$ при умножение дават $P_{\text{със стена};45} = 29$ kPa.



Фигура 3.5. Етапи на изчисляване на разстоянието отчитаючи наличието на взривозащитна стена

Този пример показва, че крехките взривозащитни стени могат значително да намалят разстоянието, необходимо за осигуряване на необходимото ниво на защита на сградите и структури в сравнение с разстоянието, необходимо за обекта в отсъствие взривозащитна стена. В допълнение, това намаляване на необходимото разстояние, значително увеличава гъвкавостта при планирането на терена, като позволява на проектантите да изграждат допълнителни обекти в освободеното пространство или да намалят заемащата площ от опасно производствено съоръжение.



Фигура 3.6. Разстояние, коригирано поради наличието на взривозащитна стена

3.3. Оценка на ефективността на разработения модел

Целта на този етап е анализ на ефективността на предложения модел (МАЕВ), чрез сравняване на разчетните резултати, получени при нейното използване с резултатите, получени с помощта на програмата VAPRO версия 6.2, разработена от Агенцията по съкращаване на военната заплаха и възможната защита, публикувани в [21], а също с резултатите получени в TOXI+Risk. Анализът на ефективността бе направен, чрез сравняване на 19 проектни конфигурации, които се състояха от 9 конфигурации без взривозащитна стена и 10 конфигурации със стоманени взривозащитни стени.

Работоспособността на МАЕВ бе анализирана с използване на два критерия: точност и ефективност. Точността на дадения модел бе оценена по изчислителен път:

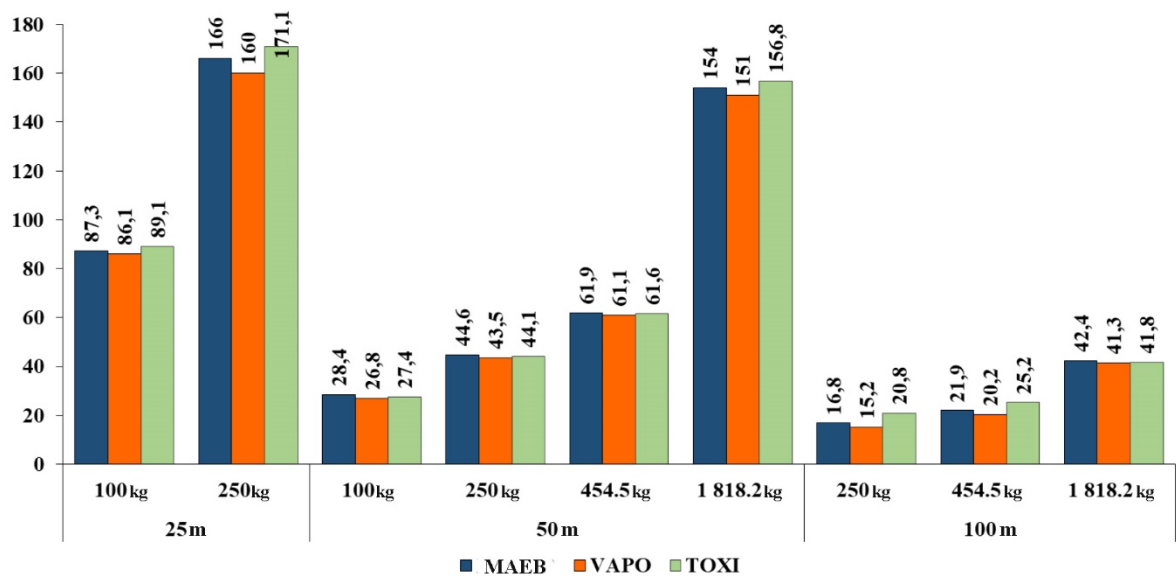
1. Средна разлика между получените стойности на отразеното налягане, с помощта на дадения модел и TOXI+Risk, VAPRO (ΔP), е показана в уравнения (3.16, 3.18);
2. Процентната разлика между отразеното налягане, получено при трите модела (% P), е показана в уравнения (3.17, 3.19).

Тези средни и процентни разлики са изчислени за диапазона от възможни варианти на проектите решения. Бяха анализирани общо 19 комбинации от маса на ВВ, разстояния и използване на взривозащитни стени, включително 9 проектни конфигурации без взривозащитна стена и 10 варианта с взривозащитна стена. На първия етап се анализират варианти на конструкции без взривозащитна стена. Изчислено е отразеното налягане, приложено към сградата. Тъй като [86] представя данни за изчислените стойности на масата на заряда в TNT еквивалент, сравнителни

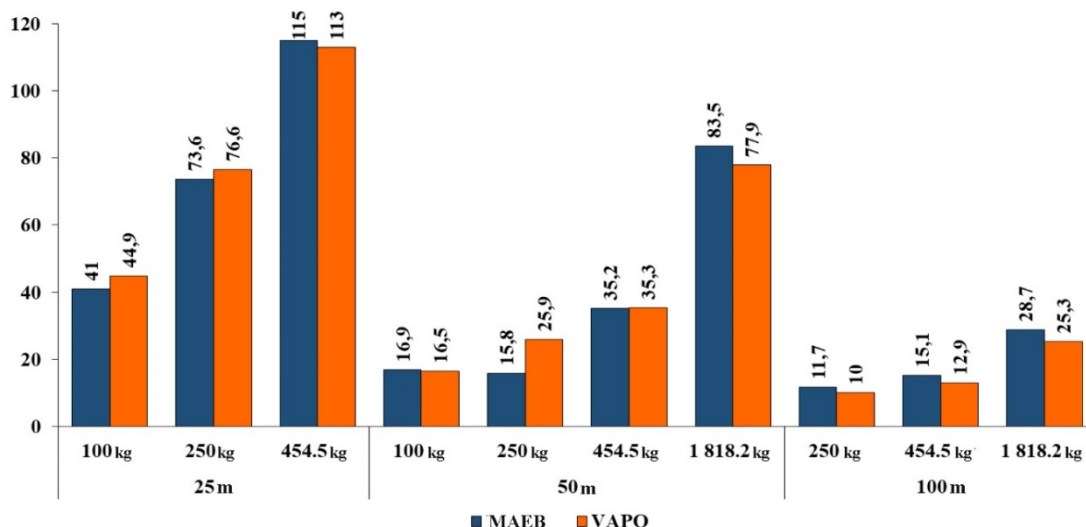
конфигурации в модела МАЕВ също са извършени с преобразуване на стойностите на масата на ВВ в тротилов еквивалент.

Както е показано на фиг. 3.9, деветте комбинации от маса и разстояние включват: (1) TNT маса от 100 и 250 kg на 25 m; (2) маса в TNT 100, 250, 454,5 и 1,818,2 kg на разстояние 50 m; и (3) маса в TNT 250, 454,5 и 11 818,2 kg на разстояние 100 m. Освен това диаграмата (Фигура 3.9) показва средните стойности на отразеното налягане, изчислени с помощта на разработения модел МАЕВ, изчислени от TOXI + Risk и според получените данни в софтуерния пакет VAPO.

На втория етап от разработването на конструкция с взривозащитна стена се изчислява отразеното налягане върху конструкциите зад 5-метрова взривозащитна стена. Десетте комбинации от TNT еквивалент и разстояние включват: (1) 100 и 250 kg маси на 25 m; (2) маса 100, 250, 454,5 и 1,818,2 kg на разстояние 50 m; и (3) маса в TNT 250, 454,5 и 11 818,2 kg на разстояние 100 m. Диаграмата по-долу (Фигура 3.10) показва средните стойности на отразеното налягане, изчислени с помощта на разработения модел МАЕВ, използвайки взривозащитна стена и според данните, получени в софтуера VAPO. Изчисляването в TOXI + Risk с използване на взривозащитна стена не беше извършено, тъй като в момента софтуерният модул не отчита препятствията пред действието на УВ.



Фигура 3.9. Сравняване на резултатите от изчислението на отразеното налягане върху сграда без взривозащитна стена върху сграда



Фигура 3.10. Сравняване на резултатите от изчислението на отразеното налягане върху сграда при наличие на взривозащитна стена върху сграда

Резултатите от анализа потвърждават, че методологията за изчисляване на взривните натоварвания в тази част на модела, използвайки уравненията на ударната вълна (3.9, 3.10, 3.11), съставена на базата на [19] и корекционните коефициенти за твърда стена [33] дава резултати, много близки до тези които се генерират от VAPO и TOXI + Risk, както е показано на диаграми 3.9 и 3.10. Средната и процентна разлика между стойностите на отразеното налягане, получени при използване на трите модела, е: 2,1 kPa и 4,0% за конструкция без взривозащитна стена за VAPO и MAEB и 1,6 kPa и 2,3% за TOXI + Risk; и 1,2 kPa и 3,9% за конструкция със стоманена взривозащитна стена за VAPO. Тези разлики в изчислените взривни натоварвания между, VAPO и TOXI + Risk са минимални и като цяло можем да говорим за проверимостта на MAEB.

$$\Delta P = \frac{\sum_{n=1}^N (P_{MAEB;n} - P_{VAPO;n})}{N} \quad (3.18)$$

$$\%P = \frac{\left[\sum_{n=1}^N \left(\frac{P_{MAEB;n} - P_{VAPO;n}}{P_{VAPO;n}} \right) \cdot 100\% \right]}{N} \quad (3.19)$$

$$\Delta P = \frac{\sum_{n=1}^N (P_{MAEB;n} - P_{TOXI;n})}{N} \quad (3.20)$$

$$\%P = \frac{\left[\sum_{n=1}^N \left(\frac{P_{MAEB;n} - P_{TOXI;n}}{P_{TOXI;n}} \right) \cdot 100\% \right]}{N} \quad (3.21)$$

където ΔP е средната разлика между стойностите на отразеното налягане, получена при използване на MAEB и VAPO (kPa); n е броят на конфигурациите по разстояние и маса; N е общият брой на анализирани конфигурации; P_{MAEB} е натоварването на отразеното налягане върху обекта, изчислено с помощта на MAEB за конфигурация n (kPa); P_{VAPO} / P_{TOXI} - Отражено налягане върху обекта, изчислено с помощта на VAPO или TOXI + Risk за конфигурация n (kPa); $\% P$ - средната процентна разлика между стойностите на отразеното налягане, получени при използване на MAEB и VAPO на дадено разстояние.

Резултатите от този анализ подчертават точността и ефективността на разработения модел MAEB.

ИЗВОДИ

Тази глава представя модел за анализ, количествена оценка и визуализиране на взривното въздействие върху построени обекти зад твърди или чупливи взривозащитни стени. Този модел е разработен на пет етапа:

1. по време на етапа на анализ на взривозащитната стена е разработен метод за количествено определяне на ефективността на възможните видове крехки взривозащитни стени при намаляване на отразеното налягане и импулсно натоварване върху сгради и конструкции, включително стоманени и бетонни стени, пясъчни стени, стени запълнени с вода, дървени стени;
2. на етапа на оценка на щетите върху обект, процентът на площта на всеки обект се изчислява в рамките на пет установени нива на щети, за да се определи общото ниво на щетите;
3. на етапа на визуализация на повреда в резултат на взрив на ВВ, прогнозираната площ на повреда се показва въз основа на масата на ВВ, вида на взривозащитната стена, конструктивните решения на сградата;
4. на етапа на изучаване на конкретни примери се анализира ефективността на разработения модел, а
5. на етапа на анализ на ефективността се оценява точността на разработения модел.

Основното предимство на това проучване е разработването на нов модел, който позволява ефективно и точно анализиране и сравняване на всички възможни варианти за проектиране, за да се избере оптималното проектно решение, което минимизира рисковете за безопасността на персонала в сградите и конструкциите от заплахата от взрив.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БЕЗОПАСНИТЕ ЗОНИ ЗА ОСТЪКЛЕНИЕТО НА СГРАДИ ПРИ ВЗРИВ НА ВВ

Най-слабият конструктивен елемент на всички здания и съоръжения е остъклението. При осигуряване целостта на остъклението се гарантира липсата на разрушения на зданията и съоръженията от действието на ударната въздушна вълна на взрива. Повреждането (счупването) на остъклението се получава като правило под въздействие на слаби УВВ. Към тях се отнасят такива вълни, налягането на фронта на УВВ, на които е $\Delta P < 10^4 \text{Pa}$. На параметрите и условията на разпространяване на слабите УВВ оказват влияние различни фактори, най-важни от които са: атмосферните условия в момента на взрива (температурните градиенти по височина, скоростта и посоката на вятъра), физико-механичните свойства на земната повърхност, наличие на различни прегради на пътя на УВВ, положението на заряда от експлозив относно обекта и т.н.

На основата на обработката на експериментални данни за разчета на основните параметри на слабите УВВ при взрив на заряди от експлозив на повърхността на земята са изведени следните зависимости:

$$\Delta P = 4,7 \cdot 10^5 K_T K_M \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{r} \right)^{1/5} \quad (4.21)$$

$$i = 160 \cdot K_T \frac{Q^{2/3}}{r} \quad (4.22)$$

$$\tau_+ = 0,65 \cdot Q^{\frac{1}{6}} r^{\frac{1}{2}} 10^{-3} \quad (4.23)$$

където:

K_T - коефициент, отчитащ влиянието на физико-механическите свойства на конкретната земна повърхност на интензивността на УВВ (значенията на K_T са дадени в таблица 4.1).

K_M - коефициент на метеорологичните условия в момента на взрива: Той отчита възможността за увеличаване на интензивността на УВВ, когато $K_M < 1$. Значенията на K_M зависят от конкретните метеорологични условия и разстоянието между взрива и преградата.

Експериментално е установено, че в близката зона на взрива повреждането на остъклението се наблюдава при въздействие на импулса на фазата на свиване на УВВ повече от 4,5 Pa.s. Като пределно допустимо се приема значението на импулса $i = 2,5 \text{ Pa.s}$. В средната (разстояние по-големи от 200 m) и далечната зона на взрива разрушаването на остъклението се наблюдава при налягане на фронта на УВВ – 1500 Pa.s. Като пределно допустимо за остъклението (при обикновени стъкла) е прието значението на свръхналягането $\Delta P = 500 \text{ Pa.s}$. Пределно допустимото значение на свръхналягането и импулса се определя изхождайки от приетата степен на безопасност (първа, втора или трета), таблица 4.2

Пределно допустимо значение на свръхналягането

Степен на безопасност	Възможни повреди на остъклението	Свръхналягане ΔP , Pa.s.	Импулс на фаза на свиване i , Pa.s
1	Отсъствие на повреди на остъклението	500	2,5
2	Случайни повреди на остъклението	1500	4,5
3	Пълно разрушаване на остъклението	5000	20,0

Както вече беше споменато по-горе, в средната и далечна зона на взрив, критерий за опасност на взрива (на разстояние до 200 m) е импулсът на фазата на свиване на УВВ.

При извеждане на формулите за разчет на радиуса на опасната зона трябва задължително да се отчита зависимостта на коефициента за метеорологичните условия K_M и от разстоянията.

Тогава от формулата (4.21) при $\Delta P_{\text{доп}}=500$ Pa и $i=2,5$ Pa.s за летния сезон, получаваме следните формули за определяне на радиуса на опасната зона под действието на УВВ на остъклението за първа степен на безопасност (отсъствие на повреди).

$$r=200 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3} \quad \text{при} \quad Q \geq 1000 \text{ kg} \leq 10\,000 \text{ kg}.$$

$$r=65 \cdot K_T \cdot Q^{1/2} \quad \text{при} \quad 125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}.$$

$$r=63 \cdot K_T \cdot Q^{1/3} \quad \text{при} \quad 2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}.$$

$$r=63 \cdot K_T \cdot Q^{2/3} \quad \text{при} \quad Q \leq 2 \text{ kg}.$$

За втора степен на безопасност (случайни повреди на остъклението), при:

$\Delta P=1500$ Pa и $i=4,5$ Pa.s, се предлагат следните формули:

$$r=100 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3} \quad \text{при} \quad Q \geq 1000 \text{ kg} \leq 10\,000 \text{ kg}.$$

$$r=30 \cdot K_T \cdot Q^{1/2} \quad \text{при} \quad 125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}.$$

$$r=35 \cdot K_T \cdot Q^{1/3} \quad \text{при} \quad 2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}.$$

$$r=35 \cdot K_T \cdot Q^{2/3} \quad \text{при} \quad Q \leq 2 \text{ kg}.$$

За трета степен на безопасност (пълно разрушаване на остъклението), при:

$\Delta P=5000$ Pa и $i=20,0$ Pa.s, се предлагат следните формули:

$$r=40 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3} \quad \text{при} \quad Q \geq 1000 \text{ kg} \leq 10\,000 \text{ kg}.$$

$$r=8 \cdot K_T \cdot Q^{1/2} \quad \text{при} \quad 125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}.$$

$$r=8 \cdot K_T \cdot Q^{1/3} \quad \text{при} \quad 2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}.$$

$$r=8 \cdot K_T \cdot Q^{2/3} \quad \text{при} \quad Q \leq 2 \text{ kg}.$$

През зимния сезон, при наличието на отрицателни температури, получените разстояния трябва да се увеличат 1,5 пъти ако $Q > 2$ kg.

Съгласно действащия в момента Правилник за безопасността на труда при взривните работи радиусите на опасната зона по действие на УВВ на остъклението, за първа, втора и трета степен на безопасност, са дадени в инструкциите за определяне на безопасните разстояния при взривните работи [1].

Радиусите на опасната зона се изчисляват, съгласно формулите:

$$R = K_M \sqrt{Q} \text{ (m)} \quad (4.24)$$

$$R = K_{\Pi} \sqrt[3]{Q} \text{ (m)} \quad (4.25)$$

където:

R – минимално допустимо разстояние от епицентъра на взрива до обекта (m)

Q – маса на заряда (тротилов еквивалент), kg.

K_M и K_{Π} – коефициенти зависещи от масата на заряда и от характера на повредите.

Стойностите на тези коефициенти за открит заряд се определят съгласно таблица 4.3.

• За открити заради по-големи от 10 тона при 1,2 и 3 степен на безопасност се приема коефициент K_{Π} и се използва формула (4.25)

• За всички останали степени на безопасност се използва коефициент K_M и формула (4.24)

Таблица 4.3.

Значения на коефициентите K_M и K_{Π} за открит заряд

Степен на безопасност	Възможни повреди	Открити параметри		
		Q,t	K_M	K_{Π}
1	Отсъствие на повреди	<10t	50÷150	-
		>10t	-	400
2	Случайни повреди на остъклениято	<10t	10÷30	-
		>10t	-	60÷100
3	Пълно разрушаване на остъклениято	<10t	5÷8	-
		>10t	-	30÷50

В таблица 4.4 са предложени нови формули и коефициенти за определяне на безопасните зони за остъкление под въздействието на УВВ за количества експлозиви до 10000 kg.

Таблица 4.4.

Коефициенти за определяне на безопасните зони за остъкление на въздействието на УВВ за количества експлозиви до 10000 kg.

Степен на безопасност	Възможни повреди	Открит заряд с маса до 10 t
1	Отсъствие на повреди	$r=200 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3}$, при $Q \geq 1000 \text{ kg}, \leq 10\,000 \text{ kg}$. $r=65 \cdot K_T \cdot Q^{1/2}$, при $125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}$. $r=63 \cdot K_T \cdot Q^{1/3}$, при $2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}$. $r=63 \cdot K_T \cdot Q^{2/3}$, при $Q \leq 2 \text{ kg}$.
2	Случайни повреди на остъклениято	$r=100 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3}$ при $Q \geq 1000 \text{ kg}, \leq 10\,000 \text{ kg}$. $r=30 \cdot K_T \cdot Q^{1/2}$ при $125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}$. $r=35 \cdot K_T \cdot Q^{1/3}$ при $2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}$. $r=35 \cdot K_T \cdot Q^{2/3}$ при $Q \leq 2 \text{ kg}$.
3	Пълно разрушаване на остъклениято	$r=40 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3}$, при $Q \geq 1000 \text{ kg}, \leq 10\,000 \text{ kg}$. $r=8 \cdot K_T \cdot Q^{1/2}$, при $25 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}$. $r=8 \cdot K_T \cdot Q^{1/3}$, при $2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}$. $r=8 \cdot K_T \cdot Q^{2/3}$, при $Q \leq 2 \text{ kg}$.

Според формулите и коефициентите от Правилника по безопасност на труда при взривните работи за експлозив – тротил с маса 0,200 kg; 0,400 kg; 1 kg; 2 kg; 5 kg; 10 kg; 15 kg; 20 kg; 25 kg; 30 kg; 35 kg; 40 kg; 45 kg; и 50 kg; радиусът на опасната зона за 1,2 и 3 степени на безопасност са дадени в таблица 4.5.

Таблица 4.5.

Радиус на опасна зона за различни степени на безопасност според формулите и коефициентите от Правилника по безопасност на труда при взривните работи

<u>ПЪРВА СТЕПЕН НА БЕЗОПАСНОСТ</u>	<u>ВТОРА СТЕПЕН НА БЕЗОПАСНОСТ</u>	<u>ТРЕТА СТЕПЕН НА БЕЗОПАСНОСТ</u>
$R_1=(50\div 150)\sqrt{0,200}=(20\div 60)$ m	$R_1=(10\div 30)\sqrt{0,200}=(4\div 12)$ m	$R_1=(5\div 8)\sqrt{0,200}=(2\div 3,2)$ m
$R_2=(50\div 150)\sqrt{0,400}=(30\div 90)$ m	$R_2=(10\div 30)\sqrt{0,400}=(6\div 18)$ m	$R_2=(5\div 8)\sqrt{0,400}=(3\div 4,8)$ m
$R_3=(50\div 150)\sqrt{1,00}=(50\div 150)$ m	$R_3=(10\div 30)\sqrt{1,00}=(10\div 30)$ m	$R_3=(5\div 8)\sqrt{1,00}=(5\div 8)$ m
$R_4=(50\div 150)\sqrt{2,00}=(70\div 210)$ m	$R_4=(10\div 30)\sqrt{2,00}=(14\div 42)$ m	$R_4=(5\div 8)\sqrt{2,00}=(7\div 11,2)$ m
$R_5=(50\div 150)\sqrt{4,00}=(100\div 300)$ m	$R_5=(10\div 30)\sqrt{4,00}=(20\div 60)$ m	$R_5=(5\div 8)\sqrt{4,00}=(10\div 16)$ m
$R_6=(50\div 150)\sqrt{6,00}=(122\div 367)$ m	$R_6=(10\div 30)\sqrt{6,00}=(24,5\div 73,5)$ m	$R_6=(5\div 8)\sqrt{6,00}=(12,2\div 19,6)$ m
$R_7=(50\div 150)\sqrt{8,00}=(141\div 424)$ m	$R_7=(10\div 30)\sqrt{8,00}=(28,3\div 84,9)$ m	$R_7=(5\div 8)\sqrt{8,00}=(14,1\div 22,6)$ m
$R_8=(50\div 150)\sqrt{10,00}=(160\div 480)$ m	$R_8=(10\div 30)\sqrt{10,00}=(32\div 96)$ m	$R_8=(5\div 8)\sqrt{10,00}=(16\div 25,6)$ m
$R_9=(50\div 150)\sqrt{15,00}=(195\div 585)$ m	$R_9=(10\div 30)\sqrt{15,00}=(39\div 117)$ m	$R_9=(5\div 8)\sqrt{15,00}=(19,5\div 31,2)$ m
$R_{10}=(50\div 150)\sqrt{20,00}=(225\div 675)$ m	$R_{10}=(10\div 30)\sqrt{20,00}=(45\div 135)$ m	$R_{10}=(5\div 8)\sqrt{20,00}=(22,5\div 30)$ m
$R_{11}=(50\div 150)\sqrt{25,00}=(250\div 750)$ m	$R_{11}=(10\div 30)\sqrt{25,00}=(50\div 150)$ m	$R_{11}=(5\div 8)\sqrt{25,00}=(25\div 40)$ m
$R_{12}=(50\div 150)\sqrt{30,00}=(215\div 825)$ m	$R_{12}=(10\div 30)\sqrt{30,00}=(55\div 165)$ m	$R_{12}=(5\div 8)\sqrt{30,00}=(27,5\div 44)$ m
$R_{13}=(50\div 150)\sqrt{35,00}=(300\div 900)$ m	$R_{13}=(10\div 30)\sqrt{35,00}=(60\div 180)$ m	$R_{13}=(5\div 8)\sqrt{35,00}=(30\div 48)$ m
$R_{14}=(50\div 150)\sqrt{40,00}=(315\div 945)$ m	$R_{14}=(10\div 30)\sqrt{40,00}=(63\div 189)$ m	$R_{14}=(5\div 8)\sqrt{40,00}=(31,5\div 50,4)$ m
$R_{15}=(50\div 150)\sqrt{45,00}=(335\div 1005)$ m	$R_{15}=(10\div 30)\sqrt{45,00}=(67\div 201)$ m	$R_{15}=(5\div 8)\sqrt{45,00}=(33,5\div 53,6)$ m
$R_{16}=(50\div 150)\sqrt{50,00}=(350\div 1050)$ m	$R_{16}=(10\div 30)\sqrt{50,00}=(71\div 213)$ m	$R_{16}=(5\div 8)\sqrt{50,00}=(35,5\div 56,8)$ m

Съгласно разработената методика, радиусът на опасната зона за същото количество експлозив- тротил, за 1, 2 и 3 степен на безопасност, при $K_T=1$, изчислени по предложените формули са в табл. 4.6.:

Таблица 4.б.

Радиус на опасна зона за различни степени на безопасност, съгласно разработената методика

ПЪРВА СТЕПЕН НА БЕЗОПАСНОСТ	ВТОРА СТЕПЕН НА БЕЗОПАСНОСТ	ТРЕТА СТЕПЕН НА БЕЗОПАСНОСТ
R ₁ =21,5 m	R ₁ =12,0 m	R ₁ =2,7 m
R ₂ =34,0 m	R ₂ =19,0 m	R ₂ =4,3 m
R ₃ =63,0 m	R ₃ =35,0 m	R ₃ =8,0 m
R ₄ =79,4 m	R ₄ =44,0 m	R ₄ =10,1 m
R ₅ =100,0 m	R ₅ =55,6 m	R ₅ =12,7 m
R ₆ =114,5 m	R ₆ =63,6 m	R ₆ =14,5 m
R ₇ =126,0 m	R ₇ =70,0 m	R ₇ =16,0 m
R ₈ =135,7 m	R ₈ =75,4 m	R ₈ =17,2 m
R ₉ =155,4 m	R ₉ =83,6 m	R ₉ =19,7 m
R ₁₀ =171,0 m	R ₁₀ =95,0 m	R ₁₀ =21,7 m
R ₁₁ =184,2 m	R ₁₁ =102,3 m	R ₁₁ =23,4 m
R ₁₂ =195,8 m	R ₁₂ =108,8 m	R ₁₂ =24,9 m
R ₁₃ =206,1 m	R ₁₃ =114,5 m	R ₁₃ =26,2 m
R ₁₄ =215,5 m	R ₁₄ =119,7 m	R ₁₄ =27,4 m
R ₁₅ =224,1 m	R ₁₅ =124,5 m	R ₁₅ =28,5 m
R ₁₅ =232,1 m	R ₁₅ =129,0 m	R ₁₅ =29,5 m

С цел практическа проверка на получените резултати за радиуси на опасните зони за остъкляване при 1,2 и 3 степени на безопасност беше проведен експеримент. Експериментът беше проведен на полигона на завод „Миджур” с. Горни Лом, собственост на фирма ВИДЕКС АД. Целта на експеримента беше да се потвърдят резултатите за радиусите на опасната зона. Бяха взривени заряди на TNT. с маси: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 и 50 kg. За всяко количество експлозив бяха проведени три опита. Като мишена беше използван стандартен прозорец с размери 4x3 m и дебелина на стъклото 3 mm.

Изпитанието беше проведено на равно поле без налични прегради между заряда на експлозив и мишената. В резултата от проведените експерименти бяха констатирани следните резултати:

Таблица 4.7

Получени резултати от проведените изпитания с тротилови заряди при първа степен на безопасност

Първа степен на безопасност (липсва разрушаване)						
Маса на експлозив, (kg)	Първи опит		Втори опит		Трети опит	
	Разстояние, (m)	Резултат	Разстояние, (m)	Резултат	Разстояние, (m)	Резултат
1	61	ЛР	63	ЛР	65	ЛР
2	77	ЛР	79	ЛР	81	ЛР
4	98	ЛР	100	ЛР	102	ЛР
6	112	ЛР	114	ЛР	116	ЛР
8	124	ЛР	126	ЛР	128	ЛР
10	133	ЛР	135	ЛР	138	ЛР
15	153	ЛР	155	ЛР	158	ЛР
20	169	ЛР	171	ЛР	173	ЛР
25	182	ЛР	184	ЛР	186	ЛР
30	193	ЛР	195	ЛР	197	ЛР
35	204	ЛР	206	ЛР	208	ЛР
40	213	ЛР	215	ЛР	217	ЛР
45	222	ЛР	224	ЛР	226	ЛР
50	220	ЛР	232	ЛР	234	ЛР

*Липсва разрушение (ЛР)

Таблица 4.8

Получени резултати от проведените изпитания с тротилови заряди при трета степен на безопасност

Трета степен на безопасност (пълно разрушаване на остъкленията)						
Маса на експлозива, (kg)	Първи опит		Втори опит		Трети опит	
	Разстояние (m)	Резултат	Разстояние, (m)	Резултат	Разстояние, (m)	Резултат
1	7	P	8	P	9	P
2	9	P	10	P	11	P
4	12	P	13	P	14	P
6	14	P	15	P	16	P
8	15	P	16	P	17	P
10	16	P	17	P	18	P
15	19	P	20	P	21	P
20	21	P	22	P	23	P
25	22	P	23	P	24	P
30	24	P	25	P	26	P
35	25	P	26	P	27	P
40	26	P	27	P	28	P
45	28	P	29	P	30	P
50	29	P	30	P	31	P

*Разрушение (P)

ИЗВОДИ

От извършените теоретични изследвания и тяхната експериментална проверка могат да се направят следните основни изводи:

1. Съгласно действащата нормативна уредба за определяне на безопасните разстояния за остъклението на сградите, тези разстояния не могат да бъдат прецизно определени и границите им са в много широк диапазон. Това води до затруднения както при извършването на промишлени взривни работи, така и при определяне на безопасните от терористични нападения разстояния.

2. Формулирани са достатъчно точни математически зависимости, които експериментално бяха доказани. Същите с голяма точност определят безопасните разстояния за остъклението на сградите.

3. Направените експериментални изследвания позволиха определянето на минималното разстояние за евакуация на хора при различните степени на безопасност, в зависимост от масата на експлозива, който би могъл да се помести в различни автомобили (коли бомби).

4. Извършените изследвания могат да бъдат използвани при разработването на методики за охрана на потенциално опасни обекти от критичната инфраструктура.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ

От извършената научно-изследователска работа по превенция на терористични атаки срещу хора и критичната инфраструктура могат да се направят следните основни изводи и препоръки:

1. Актуалността на проблема за защита на сградите произтича от текущото състояние на съвременната среда за сигурност и степента на антитерористична осигуреност на военните и гражданските обекти от националната инфраструктура.
2. Критичната инфраструктура представлява: обекти или системи от националното стопанство, или част от тях, които играят съществена роля при експлоатацията на критичните обществени функции, включително здравето, безопасността, сигурността, икономическото или социалното благосъстояние на хората.
3. Атаките все повече се насочват към обекти от критичната инфраструктура, защото извеждането от експлоатация на такива обекти води не само до преки човешки и материални загуби, но и до косвени загуби, касаещи лишаване на населението от управлението и функционирането на икономиката на страната. В повечето случаи преодоляват физическите системи за защита на обектите и ги поразяват. Това означава, че физическите мерки за защита не са били добре пресметнати и обновени.
4. Не съществува разработен интегриран подход за гарантиране на сигурност и защита на критичната инфраструктура, който ясно и точно да даде отговор на въпроса “До каква степен сме осигурили сигурността и защитата на съответния обект, колко сигурен е той?”.
5. Съществува липса в нормативната уредба на единен критерий за защита на сградите и съоръженията срещу инциденти от случаен характер като терористични атаки. Във водещи световни норми и кодове липсват детайлни и практични процедури за моделиране и изчисляване на конструкциите под въздействието на взривна вълна. Например, Еврокод като цялостна и единна конструктивна система в Европа значително отстъпва на множеството американски стандарти в тази област. Разделът, който разглежда случайните по характер въздействия, БДС EN Еврокод 1, част 1-7, е основно фокусиран върху ударните въздействия и съвсем бегло и отчасти засяга взривните, при това се отнася изцяло за вътрешни експлозии. Подход, указания и процедури за изчисляване на конструкциите на сградите и съоръженията на външни експлозии изцяло липсват.
6. Анализът на параметрите на взривните вълни показва, че съществува голямо отклонение на описаните данни за всички параметри на взривните вълни. Определянето на енергията на взрива по свръхналягането и импулса води до грешка в 1,5-2 пъти.
7. До настоящия момент на основата на наличните данни на измерванията няма възможност за определяне степен на коректировка, която е целесъобразно да се внесе в съотношенията при провеждане на експертни оценки.

8. Изследвани са параметрите и границите на деформация на конструкциите, подложени на взривно въздействие. Обобщени са принципите на взривозащитно проектиране и основните подходи за подобряване на взривоустойчивостта на сгради и конструкции.
9. Към днешна дата аналитичните методи за изчисление преобладават в практиката на изчисляване на строителните конструкции за експлозивни ефекти.
10. Съществуват модерни софтуерни пакети, базирани на метода на крайните елементи и позволяващи да се реши проблемът с числената симулация на въздействието на взрив на ВВ върху конструкции в нелинейна динамична обстановка.
11. Съгласно действащата нормативна уредба за определяне на безопасните разстояния за остъклените на сградите, тези разстояния не могат да бъдат прецизно определени и границите им са в много широк диапазон. Това води до затруднения както при извършването на промишлени взривни работи, така и при определяне на безопасните от терористични нападения разстояния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването на въздействието на ударните въздушни вълни върху сгради и съоръжения, разположени в близост до източника на експлозията, е от голямо практическо значение при решаването на въпросите за безопасност и защитата на хората и конструкциите от последиците при взрив на ВВ. Стратегията за борба и прилагането на мерки за смекчаване на последиците от терористични атаки с използване на ВВ, изискват внимание и решения още от етапа на планиране и проектиране, тъй като впоследствие, по време на експлоатацията на съоръжението, решението на този набор от задачи става или все по-трудно и икономически неоправдано или невъзможно.

Въз основа на извършената комплексна научно-изследователска работа са предложени нови формули и коефициенти за определяне на безопасните разстояния за остъклените на сгради при взривяване на „коли-бомби“.

По така определените нови формули и коефициенти са извършени изчисления на безопасните разстояния за бетонни и стоманобетонни елементи от конструкцията на сгради.

С разработването на формулния апарат и неговото внедряване в практиката ще се повиши безопасността за хората при необходимост от извеждане от потенциално опасни обекти, предмет на заплахата от бомбен тероризъм.

С внедряване на новия формулен апарат ще се намалят разходите жива сила и техника, поради по-голяма прецизност за определяне на безопасните разстояния за евакуация на хората.

Представеният материал може да помогне за въвеждане в темата и в повечето случаи да образува основа, позволяваща да се започне надеждна оценка за поведението на конструкциите подложени на взривно въздействие. Това е важно за инженерите-конструктори, тъй като Еврокодовете (EN 1991-1-7) все още не се справят с този тип натоварване и няма налични съответни европейски насоки.

НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработен е модел за анализ, количествена оценка и визуализиране на взривното въздействие върху построени обекти зад твърди или крехки взривозащитни стени. Този модел позволява ефективно и точно анализиране и сравняване на всички възможни варианти за проектиране, за да се избере оптималното проектно решение, което минимизира рисковете за безопасността на персонала в сградите и конструкциите от заплахата от взрив.
2. Въз основа на извършената комплексна научно-изследователска работа са предложени нови формули и коефициенти за определяне на безопасните разстояния за остъклението на сгради при взривяване на ВВ.
3. Чрез научен практически експеримент бе проверена верността на предложените коефициенти и формули. Проверката доказва верността на теоретичните изчисления.
4. Определени са минималните разстояния за евакуация на лицата при различните степени на безопасност. В практически аспект това конкретизира разстоянията на „отцепване” на районите застрашени от терористични атаки с ВВ, гарантиращи надеждно безопасността на хората.

ИСПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. 29 Правилник по безопасността на труда при взривните работи, 1997.
2. 30 Садовский, М. А. Механическое действие воздушных ударных волн по данным экспериментальных исследований. Сб. "Физика взрыва". М. АН СССР, 1952, с. 20-111.
3. Саздов, В. Наръчник по взривни работи. С., Профиздат, 1982.
4. Саламахин Т.М., „Разрушение взрывом элементов конструкций”
5. Саламахин Т.М., „Действие взрыва на элементы конструкций”
6. Светлов, В. Я. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. "Недра". Москва, 1966.
7. Сильников М. В., Петров А. В., Орлов А. В. Давление на фронте ударной волны при взрыве заряда тротила массой 0,075-1,2 кг/ Труды Второй межрегиональной научно-практической конференции "Разработка новой спецтехники для органов внутренних дел". СПб Университет МВД РФ С. Петербург, 2000, с. 226.
8. Сильников М. В., Михайлин А. И., Орлов А. В., Химичев Ф. А., Ноздрачев А. В. Параметры ударной волны при взрыве заряда тротила 0,075-1,2 кг. Труды Четвертой Всероссийской научно-практической конференции "Актуальные проблемы защиты и безопасности" СПб 2000, Т.2. с. 572.
9. Сильников М. В., Тюрин М. В. Поражение человека взрывной ударной волной. Труды Второй межрегиональной научно-практической конференции "Разработка новой спецтехники для органов внутренних дел". СПб Университет МВД РФ, С. Петербург, 2000, с.18.
10. Сильников, М. В., Петров, А. В., Сергеев, В. Е. Экспериментальное измерение импульса воздушной ударной волны при взрыве заряда тротила массой до 1 кг. Труды Второй межрегиональной научно-практической конференции "Разработка новой спецтехники для органов внутренних дел". СПб Университет МВД РФ, С. Петербург, 2000, с. 230.
11. 46 Хаджитодоров, С., Защита на критичната инфраструктура в националното законодателство на Република България, „Експерт - БД“, 2007 г.
12. 49 Baker W. E., Cox P. A., Westine P. S. et al. et al. Explosion hazards and evaluation. Elsevier, Amsterdam – N. Y. Oxford, 1983.
13. 56 Gould K., Tempo K., High explosive field tests, DMA, 6137F, 1981, 86 p.
14. 63 Clancey V. J. The effects explosion/ I. Chem. E. Sympo, Ser., №71, 1982, p.87-108.
15. 64 European union terrorism situation and trend report, 2019.
16. 68 Giesbrecht H. et al. Analysis explosion hazards on spontaneous release of inflammable gases / Ger. Chem. Eng., 1981, v.4, №2-3, p.305-325.
17. 71 Global Terrorism Index 2018. Institute for Economics and Peace. November 2018 London.
18. 73 Held M. Similarities of shock wave damage in air and in water / Propell. Explos. Pyrotechnics, 1990, v. 15, №2, pp. 149-156.

19. 77 Kingery C.N. and Bulmash G., «Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst», Report ARBL-TR-02555, U.S. Army BRL, Aberdeen Proving Ground, MD, 1984.
20. 80 Methods for the calculation or the physical effects of the escape of dangerous materials, TNO, 1980.
21. 86 Nichols, J. F., and Doyle, G. (2014). —Current engineering models and capabilities in the vulnerability assessment and protection option (VAPO) software.∥ ASCE Structures Congress 2014, Applied Research Associates, Raleigh, NC, 176–187.
22. Pietersen C. M. Consequences of accidental releases of Hazardous materials / J. Loss. Process. Ind., 1990, v.3, №1, p.136-141.
23. 88 President's Commission on Critical Infrastructure Protection, Critical Foundations: Protecting America's Infrastructures (1997).
24. Richmond D. R., Damon E. G. Biomedical effects of impulse noise, FN NR 209/93, 87 p.
25. Risk Management Series. Reference manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings. The Federal Emergency Management Agency FEMA 426. December, 2003.
26. Rose, T. A., Smith, P. D., and Mays, G. C. (1995). —The effectiveness of walls designed for the protection of structures against airblast from high explosives.∥ Proc. Inst. Civ. Eng., 110(1), 78–85.
27. Rose, T. A., Smith, P. D., and Mays, G. C. (1997). —Design charts relating to protection of structures against airblast from high explosives.∥ Proc., ICE-Struct. Build., 122(2), 186–192.
28. Rose, T. A., Smith, P. D., and Mays, G. C. (1998). —Protection of structures against airburst using barriers of limited robustness.∥ Proc. Inst. Civ. Eng., 128(2), 167–176.
29. Rickman, D. D., Murrell, D. W., and Armstrong, B. J. (2006). —Improved predictive methods for airblast shielding by barrier walls. ∥ASCE Structures Congress 2006, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
30. 95 Sperraza J. Dependence of external blast damage to A25 Aircraft on peak pressure impulse, BRC MR 575, 1951.
31. 96 Strehlov R. A., Baker W. E. The characterization and evaluation of accidental explosion. Prog. Energy Comb. Sci. 1976, v. 2, №1, c.27-60.
32. Unified Facility Criteria (UFC) of Whole Building Design Guide a program of National Institute of Building Sciences, DOD Facilities Standardization Program: standard designs that are applicable to Army, Navy and Air Force.
33. 102 Zhou, X. Q., and Hao, H. (2008). —Prediction of airblast loads on structures behind a protective barrier.∥ Int. J. Impact Eng., 35(5), 363–375.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. Mollova Z., 2019. Blast load analysis and effect on building structures, Journal of Mining and Geological Sciences, Volume 2, 70-75, ISSN 2682-9525 (in English).
2. Mollova Z., New insights into the impact of blast wave on the human body, Journal of Mining and Geological Sciences, Volume 2, 75-81, ISSN 2682-9525 (in English).