

УДК 623.565:623.455.8:343.148

**В.І. Пащенко,**  
**Ю.М. Сидоренко,**  
кандидат технічних наук, доцент

## ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИБУХУ ОСКОЛКОВО-ФУГАСНИХ БОЄПРИПАСІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ СУДОВОЇ ВИБУХОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

*Методами комп'ютерного моделювання процесу вибуху ручної осколкової гранати Ф-1, а також реактивних протитанкових гранат ПГ-7ВМ та РПГ-18 встановлені значення кінематичних параметрів їх осколкового поля. Отримані результати можуть бути використані для оцінки рівня небезпеки дії осколкових вибухових пристроїв у ході судової вибухотехнічної експертизи на людей.*

**Ключові слова:** граната, моделювання, осколки, зона ураження, топографія, експертиза.

*Методами компьютерного моделирования процесса взрыва ручной осколочной гранаты Ф-1, а также реактивных противотанковых гранат ПГ-7ВМ и РПГ-18 определены значения кинематических параметров их осколочного поля. Полученные результаты могут быть использованы для оценки опасности действия осколочных взрывных устройств в ходе судебной взрывотехнической экспертизы на людей.*

**Ключевые слова:** граната, моделирование, осколки, зона поражения, топография, экспертиза.

*Due to the methods of the computer modelling of the process of an explosion of a manual fragmental grenade F-1, as well as the jet anti-tank grenades PG-7VM and RPG-18, kinematic parameters of their fragmental field are defined. The results can be used for an estimation of the danger of an action of fragmental explosives while the judicial explosive and technical examination on people.*

**Keywords:** grenade, modelling, splinters, defeat zone, topography, examination

Кількість повідомлень у засобах масової інформації про нові терористичні акти, які скоєні з використанням різноманітних вибухових пристроїв, з кожним роком неухильно зростає. Під час проведення судової вибухотехнічної експертизи кожної такої події, як правило, експерти, крім інших питань, у своєму висновку відповідають про [1]:

- конструкцію вибухового пристрою (далі – ВП) та спосіб його виготовлення;
- спосіб та послідовність підривання ВП;
- рівень професійних навичок осіб, які виготовляли та приводили в дію ВП;
- значення параметрів уражаючих факторів вибуху ВП та ін.

На перший погляд, якщо експерт за результатами своїх попередніх досліджень встановлює, що конкретний вибух вчинений за допомогою ВП промислового

виготовлення (військові боєприпаси), то встановлення значень параметрів уражаючих факторів вибуху таких ВП є досить простим та легким завданням. Але, як показує практика, це далеко не так. Як приклад, тут можна навести дві ситуації, які демонструють протилежне.

#### Перша ситуація

Непоодинокі вибухи проводяться з використанням військових ручних реактивних протитанкових гранатометів промислового виготовлення, таких як РПГ-7, РПГ-18, РПГ-22, РПГ-26 тощо. Як відомо, гранати таких типів є одним із засобів боротьби з броньованою технікою супротивника, такою як танки, бронетранспортери, бойові машини піхоти тощо. Ураження зазначених цілей відбувається за рахунок пробиття їх броньованого захисту високошвидкісним кумулятивним струменем. Параметри цього кумулятивного ураження цілі експерт може знайти у відповідній технічній документації на ВП. Але під час вибуху такі гранати також формують додатковий уражаючий фактор вибуху – осколкове поле, яке утворюється за рахунок руйнування своїх корпусів. Тому інформація про параметри цього поля є невід'ємною частиною експертного висновку вибухотехнічної експертизи. Але, на жаль, вона в технічній документації РПГ, як правило, відсутня, що змушує експерта самотужки проводити додаткові складні та тривалі дослідження.

Провести ці дослідження можливо або експериментальним методом, або чисельно (математично). Оскільки вартість проведення навіть одного експериментального дослідження досить висока і, враховуючи те, що математичні методи стрімко розвиваються разом із потужністю комп'ютерної техніки, постає питання про можливість застосування методів чисельного аналізу таких вибухових процесів при проведенні вибухотехнічної експертизи.

Тому для згаданих вище реактивних протитанкових гранат, а саме ПГ-7ВМ та РПГ-18, був проведений чисельний розрахунок з метою встановлення значень параметрів їх осколкового поля. Ці дослідження були виконані за допомогою комп'ютерної програми ANSYS/AUTODYN [2, 3], яка містить всі основні сучасні методи розв'язання проблем, пов'язаних з фізикою вибуху та високошвидкісного удару.

Як відомо, одним з найскладніших етапів будь-якого чисельного моделювання є перехід від розрахункової схеми задачі (рис. 1) до її скінченно-елементної математичної моделі, яка повинна бути здатною адекватно відтворювати реальний фізичний процес, що досліджується експертом.

Наприклад, для розрахункової моделі (схеми) головної частини протитанкової гранати ПГ-7ВМ (рис. 1), у якій геометрія всіх складових елементів має осьову симетрію, чисельний аналіз цієї гранати можна проводити у двовірній вісесиметричній постановці.

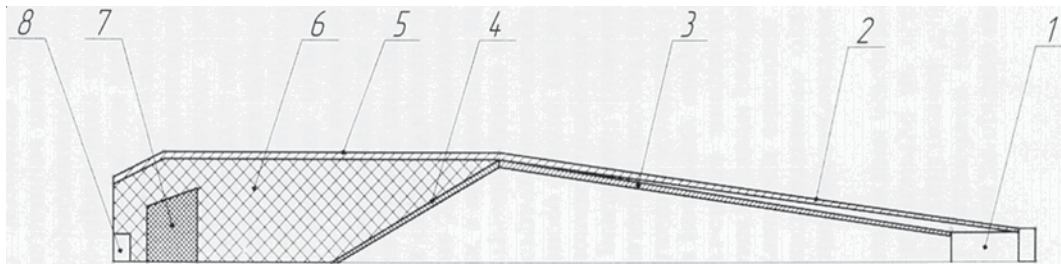


Рис. 1. Розрахункова схема головної частини протитанкової гранати ПГ-7ВМ:

1 – головна частина підричника, 2 – обтічник, 3 – струмопровідний конус, 4 – кумулятивна воронка, 5 – корпус, 6 – заряд вибухової речовини, 7 – вибухова лінза, 8 – донна частина підричника.

Крім того, якщо в висновках експерта необхідно відобразити інформацію лише про кінематичні параметри осколкового поля ВП, а саме:

- кутову ширину осколкового поля (кутовий сектор розльоту осколків);
- орієнтація цього сектора в просторі;
- значення початкової швидкості руху осколків у цьому секторі,

то ці розрахунки можна проводити у континуальній постановці, тобто без урахування процесів руйнування елементів конструкції пострілу. Це дозволяє значно скоротити тривалість чисельного аналізу та не вимагає використання занадто потужних комп'ютерів. Можливість застосування такого підходу була показана у роботах [4–6].

Одним з головних етапів формування скінченно-елементної моделі задачі є вибір методу моделювання, тобто математичного методу, який повинен адекватно описати поведінку середовищ, що моделюються під дією вибухового навантаження. У роботі [7] описані основні проблеми та способи їх вирішення, пов'язані зі створенням скінченно-елементної моделі пострілів РПГ-7 та РПГ-18 у програмі ANSYS/AUTODYN.

На сьогодні найбільше розповсюдження отримали такі два методи – Ейлеревий та Лагранжевий [8–10]. В основу Ейлерового підходу покладений принцип переміщення середовищ, що моделюються, через нерухому, як правило, прямокутну розрахункову сітку. Лагранжевий підхід базується на створенні скінченно-елементної сітки, яка жорстко зв'язується із середовищем та після прикладання певного навантаження деформується разом з ним.

Спочатку було проведено моделювання з використанням Ейлерового підходу. Цей підхід є більш універсальним у порівнянні з Лагранжевим підходом, тому що дозволяє моделювати поведінку середовищ з більшим ступенем деформування, включаючи різні їх завихрення (перекручення). Зовнішній вигляд процесу вибуху головної частини гранати ПГ-7ВМ у цій постановці представлений на рис. 2.

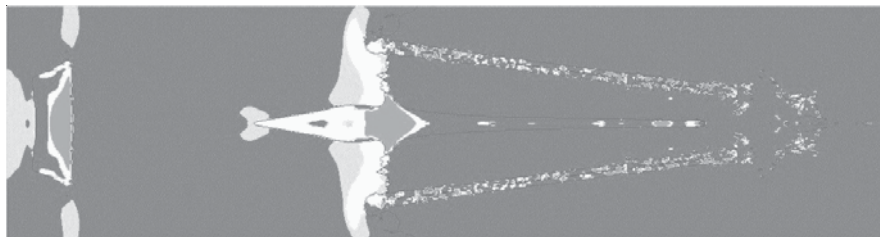


Рис. 2. Кадр комп'ютерного моделювання процесу вибуху головної частини протитанкової гранати ПГ-7ВМ в Ейлеревій постановці (43 мкс)

Аналіз результатів такого розрахунку показав, що в металевих обтічнику та струмопровідному конусі з'являються внутрішні напруження незрозумілого походження із значеннями понад 10 МПа ("паразитні" напруження). У цей же час, навантаження від детонаційної хвилі заряду вибухової речовини (ВР) розповсюджує свою дію тільки на корпус, лінзу та частину кумулятивної воронки.

Додаткові дослідження вказали на наявність суттєвого недоліку комп'ютерної програми ANSYS/AUTODYN, а саме неможливість адекватного чисельного відтворення процесів вибухового деформування металевих матеріалів в вісесиметричній Ейлеревій постановці, коли вільний простір навколо них заповнений

повітрям. Таким чином, використання навіть такого відомого в світі програмного продукту, як ANSYS/AUTODYN вимагає постійного контролю та проведення всебічного тестування створеної математичної моделі задачі, що досліджується.

Виходом з цієї ситуації, стало одночасне використання обох підходів – Ейлерового та Лагранжевого спільно з математичною процедурою лагранжево-ейлерового зв'язування їх рішень [8]. Але застосування цього методу було проведено з певними застереженнями, а саме Ейлеревим підходом, крім газоподібних середовищ, таких як продукти детонації заряду ВР та навколишнього повітря, описувалась поведінка металеві мідної кумулятивної воронки. Поведінка інших металевих елементів конструкцій гранати (корпуса та обтічника) описувалась Лагранжевим підходом. Відповідні кадри комп'ютерного моделювання процесу вибуху головної частини РПГ-18 представлені на рис. 3.

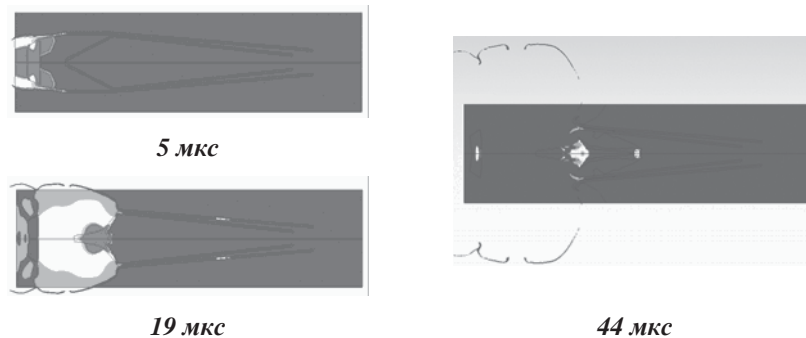


Рис. 3. Кадри комп'ютерного моделювання вибуху головної частини РПГ-18 в лагранжево-ейлеревій постановці

Віднесення кумулятивної воронки до групи середовищ, поведінка яких описується Ейлеревим підходом, зумовлена тим, що застосування для опису її поведінки Лагранжевого підходу призводить до формування критичного з точки зору стабільності розрахунку ступеня деформування скінченно-елементної сітки. Внаслідок цього подальше продовження розрахунку стає неможливим.

По остаточному визначенні математичної моделі РПГ були проведені основні розрахунки процесу їх вибуху, які показали, що в результаті вибуху головної частини протитанкової гранати ПГ-7ВМ формується три осколкових поля – заднє, центральне та головне. Такий результат пояснюється особливостями геометрії головної частини гранати, яка складається із заднього та переднього усічених конусів та центрального циліндру (рис. 1). Крім того, за результатами розрахунку було встановлено, що напрямок руху основної маси осколків у цих потоках відхиляється від напрямку вектора нормалі, побудованого до твірних вказаних геометричних фігур складає понад  $10^\circ$ . Для експерта-криміналіста отримання такої інформації навіть за допомогою натурних експериментальних досліджень є хоч і можливим, але дуже складним завданням.

Неможливим з точки зору обробки результатів натурального експерименту є встановлення причини формування, наприклад, у гранати РПГ-18, яка має схожу з гранатою ПГ-7ВМ геометрію своєї головної частини, не трьох, а чотирьох осколкових полів [11].

Тільки використання методу комп'ютерного моделювання дало змогу встановити, що причиною формування додаткового осколкового поля стало занадто близьке розташування зовнішньої поверхні вибухової лінзи до внутрішньої поверхні задньої конусної частини гранати РПГ-18. Така особливість конструкції РПГ-18 призвела до того, що в задній частині гранати замість одного осколкового поля формується два.

Таким чином, провівши аналіз осколкової дії всіх військових боєприпасів зі складанням відповідного паспорту для кожного з них та порівнявши ці дані з даними про наслідки вибуху ВП, експерт-криміналіст може стверджувати про його промислове виробництво, а також, який саме це ВП.

Крім того, правильне використання чисельних методів для дослідження процесу вибуху осколконебезпечних ВП дозволяє судовому експерту встановити фізичні причини формування того чи іншого значення параметра осколкового поля ВП, що опосередковано дозволяє експерту оцінити рівень професійних навичок осіб, які виготовляли та приводили в дію цей ВП.

#### Друга ситуація

Досить часто слідчі або інші учасники судового розслідування ініціюють проведення допиту судового експерта чи виклик його до суду. Як правило, це пов'язано з тим, що, на думку учасників судового розслідування, експерт в своєму висновку наводить багато протиріч. Наприклад, його висновок може містити різні дані про значення радіусу осколкового ураження людини від вибуху ручної осколкової гранати типу Ф-1. Але це можна пояснити тим, що під час складання свого висновку судовий експерт користується спеціальною літературою, яка й містить такі протиріччя.

Наприклад, в роботі [12] вказується, що радіус осколкового ураження гранати Ф-1 становить 200 м. У роботі [13] значення аналогічної величини становить 50–60 м, але уточнюється, що деякі осколки здатні пролетіти до 200 м. У роботі [14] наводиться розрахункове значення радіусу ураження цієї гранати в 40–50 м, у роботі [15] – 20–30 м, а в роботі [16] вже вказується величина – 5 м.

Крім того, ще більше запитань постає в ході розслідування за фактами вибуху гранат Ф-1, коли на достатньо близькій відстані від неї люди не отримують більш-менш суттєвих ушкоджень свого тіла. Поясненням цього можуть стати результати проведених математичних та експериментальних досліджень з оцінювання рівня осколкової небезпеки цієї гранати.

Для вирішення поставленої задачі була проведена робота зі встановлення:

– просторово-масового розподілу осколків гранати за меридіональним кутом розльоту  $f(j,m)$ ;

– годографа значень початкових швидкостей розльоту осколків  $V_0(j)$ .

Для встановлення значень указаних характеристик було проведено комп'ютерне моделювання процесу вибуху цієї гранати в три етапи:

*Етап 1.* Досліджувався процес розширення корпусу гранати Ф-1 під дією внутрішнього тиску продуктів детонації в вісесиметричній континуальній постановці з використанням Ейлеревого підходу до опису поведінки руху суцільного середовища за допомогою програми "Гефест" [17]. Під час проведення розрахунків рифлення зовнішньої поверхні гранати не враховувалося. Загальна картина процесу вибуху моделі гранати Ф-1 наведена на рис. 4.

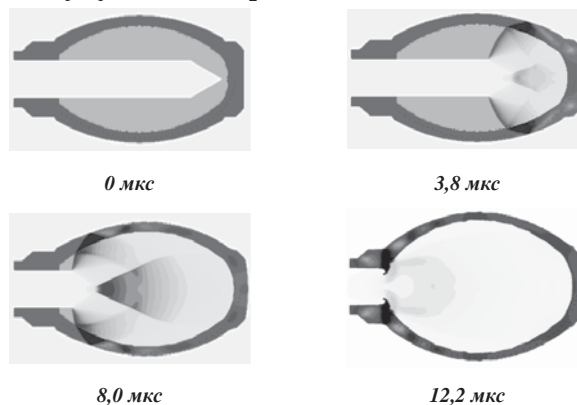


Рис. 4. Кадри комп'ютерного моделювання процесу вибуху моделі гранати Ф-1

Як видно з рис. 4, програма правильно відтворює усі основні відомі фізичні процеси процесу вибухового розширення корпусу гранати, а саме:

- процес формування газової кумуляції на вісі симетрії гранати;
- формування хвильових пульсацій ударних хвиль стискання та розтягу всередині стінки корпусу гранати;
- формування в донній частини гранати зони високих розтягувальних напружень, по якій відбувається її кутовий відкол, та ін.

Для оцінки рівня осколкової небезпеки необхідно мати інформацію про величину кутової ширини сектора розльоту осколків (меридіонального кута розльоту) та його орієнтацію в просторі. Отримати цю інформацію можна за допомогою залежності меридіонального кута розльоту  $j$  різних частин корпусу гранати вздовж його твірної  $s$  (рис. 5).

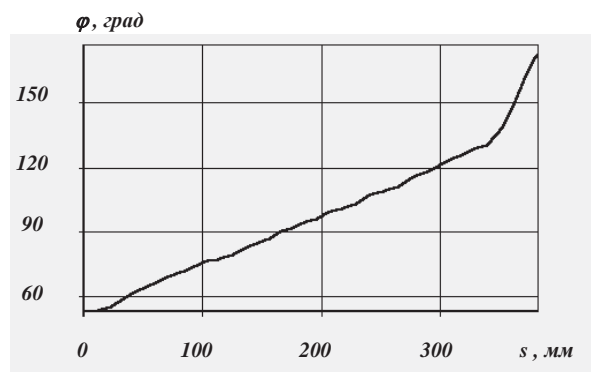


Рис. 5. Розподіл значень меридіонального кута розльоту  $j$  вздовж твірної корпусу гранати Ф-1

Як видно з рис. 5, вздовж цієї твірної у гранати Ф-1 формується дві характерні зони: головна та донна з високим значенням градієнта кута  $j$ . Це призводить до того, що 80 % маси її корпусу розлітається в достатньо великому куті –  $84^\circ$  ( $48 \div 132^\circ$ ).

Перший етап моделювання завершується побудовою законів розподілу маси корпусу гранати та її початкової швидкості руху за кутовими, наприклад  $6^\circ$ , зонами розльоту (рис. 6).

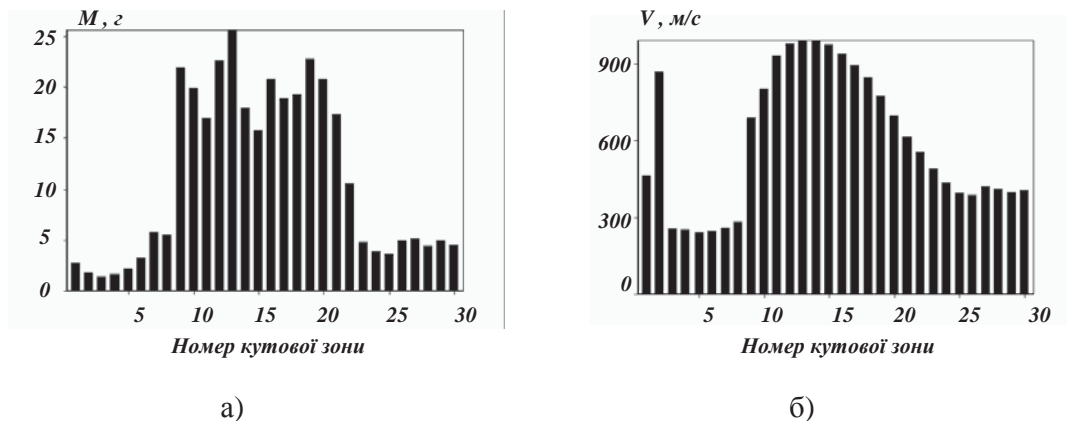


Рис. 6. Розподіл маси корпусу гранати Ф-1  $M$  (а) та швидкості її руху  $V$  (б) за  $6^\circ$  кутовими зонами

Етап 2. На цьому етапі отриманий розподіл маси корпусу гранати за допомогою гіпервейбуловської статистичної моделі осколкового спектра [18–20] (розподілу кількості осколків за масою) перераховується в осколковий спектр  $f_j(m)$  в кожній кутовій зоні:

$$f(m) = \xi \cdot \frac{\alpha}{m_a} \cdot \left(\frac{m}{m_a}\right)^{\alpha-1} \cdot e^{-\left(\frac{m}{m_a}\right)^\alpha} + (1-\xi) \cdot \frac{\beta}{m_b} \cdot \left(\frac{m}{m_b}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{m}{m_b}\right)^\beta}$$

де  $m_a$ ,  $m_b$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  – характеристичні маси та показники якості дроблення основного та супутнього спектрів відповідно;  $\xi$  – коефіцієнт, що встановлює співвідношення цих частин спектра.

Результати розрахунку осколкового спектра гранати Ф-1 та його параметри (маса  $M_j$ , початкова швидкість польоту осколків  $V_j$ , імпульс  $I_j$  та кінетична енергія  $W_j$  сумарної маси осколків в  $j$ -й кутовій зоні) представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунковий просторово-масовий розподіл осколків гранати Ф-1

№	$\varphi$ , град	Масова група, г					$N_j$	$M_j$ , г	$V_j$ , м/с	$I_j$ , Н·с	$W_j$ , Дж
		0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	1-1,5					
1	0-6	3	1				4	2,79	466	1,298	608
2	6-12	2	1				3	1,85	870	1,570	1395
3	12-18	1					1	1,44	257	0,353	96
4	18-24	1	1				2	1,66	252	0,383	106
5	24-30	2	1				3	2,27	241	0,477	133
6	30-36	3	2				5	3,31	247	0,662	202
7	36-42	6	3	1			10	5,92	260	1,145	400
8	42-48	6	3	1			10	5,65	284	1,074	455
9	48-54	24	14	5	2	2	47	22,4	689	9,076	10627
10	54-60	26	14	5	2	1	48	20,42	803	8,202	13154
11	60-66	26	13	4	1		44	17,29	933	6,574	15067
12	66-72	41	18	4	1		64	23,17	980	7,031	22255
13	72-78	51	19	4	1		75	26,24	990	5,421	25738
14	78-84	39	12	2			53	18,42	991	1,922	18095
15	84-90	35	10	1			46	16,15	976	0,013	15384
16	90-96	45	14	2			61	21,29	941	-2,076	18831
17	96-102	41	13	2			56	19,38	892	-3,580	15426
18	102-108	41	14	2			57	19,76	847	-5,156	14174
19	108-114	41	18	4	1		64	23,32	773	-7,323	13956
20	114-120	31	16	5	1	1	54	21,27	698	-7,411	10364
21	120-126	20	12	4	2	1	39	17,73	616	-6,406	6718
22	126-132	10	6	2	1	1	20	10,82	553	-3,998	3309
23	132-138	2	1				3	4,93	492	-1,801	1194
24	138-144	1	1				2	3,99	438	-1,411	764
25	144-150	1	1				2	3,73	397	-1,283	589
26	150-156	1	1				2	5,08	388	-1,801	765
27	156-162	2	1				3	5,28	421	-2,110	934
28	162-168	2	1				3	4,51	414	-1,826	773
29	168-174	3	2	1			6	5,06	400	-2,014	810
30	174-180	3	2	1			6	4,65	406	-1,887	765
Всього		510	215	50	12	6	793	339,8		-4,883	213096

Тут слід зазначити, що для оцінки достовірності отриманих розрахункових даних були проведені відповідні експериментальні дослідження із визначення координатних характеристик розльоту осколків при вибуху гранати Ф-1 з використанням стенду кутового уловлювання [21]. Отримані результати експерименту добре узгоджуються з математичними результатами.

Також слід відзначити, що представлення інформації про осколкове поле різноманітних ВП у вигляді табл. 1 значно спростить роботу експертам-криміналістам з реконструкції ВП. Така таблиця містить повну інформацію про розташування осколків ВП у просторі та їх енергетику.

*Етап 3.* На цьому етапі на основі даних табл. 2 безпосередньо проводиться оцінка рівня осколкової небезпеки осколкового поля ВП. Для цього можна скористатися теорією убивчих інтервалів [20] за допомогою якої знаходиться значення відстані від місця вибуху ВП на якому осколок зберігає значення своєї польотної швидкості більше за убивчу:

$$I_{yb} = \frac{1}{A} \cdot \ln \left( \frac{V_j}{V_{yb}} \right),$$

де  $A$  – балістичний коефіцієнт осколка,  $1/м$ ;  $V_{yb}$  – убивча швидкість осколка,  $м/с$ .

Якщо в якості цілі розглядати людину, то в математичній постановці її можна замінити еквівалентним прямокутним дюралевим листком товщиною  $h_{дор}^{екв} = 3$  мм, висотою  $H = 1700$  мм, площа якого дорівнює  $S_{ц} = 0,85$  м<sup>2</sup>. Розрахунки показують, що в кутових зонах з 3 по 8 кількість ефективних осколків дорівнює нулю у зв'язку з незначним значенням початкової швидкості руху. В кутових зонах 25, 26, 28 та 29 осколки тільки однієї масової групи 1–1,5 г теоретично можуть завдати шкоди людині, але у гранати Ф-1 у цих кутових зонах осколки просто відсутні.

Також моделювання показало, що деякі осколки мають величину убивчого інтервалу понад 200 м, що підтверджує дані [12, 13]. Але кількість таких осколків дуже мала, і якщо розрахувати імовірність потрапляння цих осколків у ціль на такій відстані, то вона буде зовсім малою.

Таким чином, обробка даних про просторово-масовий розподіл осколків ВУ із застосуванням рівнянь теорії убивчих інтервалів дозволяє не тільки визначити кількість ефективних осколків ВУ, а й дізнатися про їх належність конкретній кутовій зоні розльоту.

Крім того, для повноти оцінки рівня осколкової небезпеки різноманітних ВУ необхідно оперувати виключно поняттями імовірності настання тієї чи іншої події, а саме, імовірністю потрапляння осколка в ціль та імовірністю ураження цілі осколком у разі його потрапляння в неї. Наприклад, для гранати Ф-1 були розраховані радіуси осколкового ураження цілі з вірогідністю 0,2 та 0,7, тобто радіуси звичайного та суцільного ураження (рис. 7).



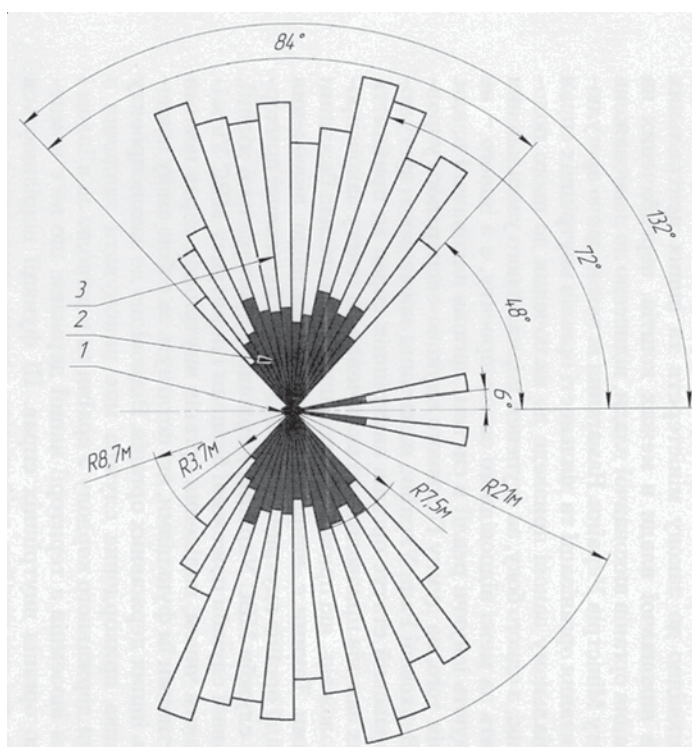


Рис. 7. Координатний закон ураження живої сили осколковим полем ручної гранати  $\Phi$ -1:

- 1 – граната  $\Phi$ -1; 2 – зона ураження живої сили з імовірністю 0,7;  
3 – зона ураження живої сили з імовірністю 0,2

Для цього було використано рівняння із визначення значення імовірності ураження цілі осколковим полем (координатний закон ураження):

$$G = 1 - e^{-\frac{N_i \cdot S_{\text{ц}}}{2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot (\cos \gamma_1 - \cos \gamma_2)}},$$

де  $N_i$  – кількість осколків  $i$ -ої масової групи;  $\gamma_1, \gamma_2$  – значення границь кутового сектора, в якому розлітаються осколки;  $R$  – радіус осколкового ураження, м.

Враховуючи те, що в одному секторі розльоту можуть рухатися осколки з різних масових груп, то ефективність їх дії по цілі оцінювалась за формулою узагальненого ураження:

$$p = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot \dots \cdot (1 - p_n),$$

де  $p_1, p_2, p_n$  – вірогідності ураження цілі 1, 2 і  $n$ -ою масовою групою осколків.

З рис. 7 видно, що врахування імовірнісних критеріїв оцінки ефективності осколкового ураження ВП призводить до того, що значення радіусів осколкового ураження виходять значно меншими за 200 м. Такий висновок добре узгоджується з даними інших літературних джерел, описаних раніше. Будь-яке значення радіусу розльоту не можна усереднювати за всіма напрямками розльоту осколків, воно має бути прив'язане до якогось конкретного сектора осколкового ураження.

*Висновки*

1. На сьогодні чисельні методи математичного моделювання процесу вибуху осколонебезпечних вибухових пристроїв дозволяють отримати достатньо повну інформацію про параметри їх осколкового поля, яка необхідна для якісного проведення вибухотехнічної експертизи.

2. Для виключення появи у висновках судового експерта протиріч, пов'язаних з оцінкою рівня осколкової небезпеки вибухових пристроїв, необхідно відмовлятися від поняття середнього радіусу осколкового ураження ВП, а відповідати на питання – на якій відстані та в якому напрямку від місця вибуху ВП його осколкове поле може завдати шкоди людині із заданим рівнем імовірності.

3. У більшості випадків тільки використання комп'ютерного моделювання процесу вибуху ВП дозволяє судовому експерту, крім встановлення параметрів осколкового поля ВП, встановити фізичні причини формування відповідних значень, що, у свою чергу, великою мірою допомагає оцінити рівень професійних навичок особи (осіб), яка виготовляла та приводила в дію конкретний ВП.

4. Для того, аби якісно скористатися при проведенні вибухотехнічної експертизи сучасними методами моделювання процесів вибуху ВП, судовий експерт повинен мати відповідну математичну та фізико-технічну підготовку.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. *Прохоров-Лукін Г.В.* Методика комплексного дослідження вибухових пристроїв, вибухових речовин і слідів вибуху / Г.В. Прохоров-Лукін, В.І. Пашенко, В.І. Биков та ін. – К. : МЮ України, МВС України, 2007. – 218 с.
2. ANSYS [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http : // www.ansys.com/](http://www.ansys.com/); <http://www.autodyn.ru/>.
3. AUTODYN, Theory Manual, Century Dynamics Ltd. Horsham, UK, 2003.
4. *Одинцов В.А.* Моделирование процесса взрыва осколочно-фугасного снаряда с помощью двумерного гидрокода / В.А. Одинцов, Ю.М. Сидоренко, В.С. Туберозов // Оборонная техника. – 2000. – № 1–2. – С. 49–55.
5. *Колобанова А.Е.* Основы динамики разрушения оболочек : учеб. пособ. / А.Е. Колобанова, В.В. Селиванов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. – 98 с., ил.
6. *Сидоренко Ю.М.* К вопросу о влиянии разрушения корпуса осколочно-фугасного снаряда на процесс формирования осколочного поля / Ю.М. Сидоренко // Артиллерийское стрелковое вооружение. – 2009. – № 2. – С. 24–30.
7. *Пашенко В.И.* Особливості створення скінченно-елементної моделі пострілу ручного протитанкового гранатомету / В.И. Пашенко, М.В. Бондар, А.М. Бізер, Ю.М. Сидоренко // Збірник наукових праць Академії ВМС імені П.С. Нахімова. – 2011. – Вип. 3 (7). – С. 20–29.
8. *Муйземнек А.Ю.* Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA : учебное пособие / А.Ю. Муйземнек, А.А. Богач. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2005. – 106 с.
9. Численные методы в задачах физики взрыва и удара : учебник для вузов / А.В. Бабкин, В.И. Колпаков, В.Н. Охитин и др.; под ред. В.В. Селиванова. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – Т. 3. – 516 с.
10. *Рудаков К.М.* Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій : навч. посіб. / К.М. Рудаков. – К. : НТУУ “КПІ”, 2007. – 379 с.; іл.
11. *Пашенко В.И.* Кинематические параметры осколочного поля выстрелов ручных гранатометов / В.И. Пашенко, М.В. Бондар, А.М. Бізер, Ю.М. Сидоренко // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2011. – № 4. – С. 1–8.
12. Инструкция по очистке местности от взрывоопасных предметов: Приказ Главнокомандующего Сухопутными войсками от 09.08.1974 № 55. – Военное издательство МО СССР. – М., 1975. – 80 с.
13. *Дильдин Ю.М.* Основы криминалистического исследования самодельных взрывных устройств : учеб. пособ. / Ю.М. Дильдин, В.В. Мартынов, А.Ю. Семенов, А.А. Шмырев. – М. : ВНКЦ МВД СССР, 1991. – 97 с.

14. Леонидов Ф. Подготовить гранаты / Ф. Леонидов // Оружие. – 1999. – № 8. – С. 60–65.
15. Полевой Устав FM 3-23.30 Grenades and Pyrotechnic Signals. HEADQUARTERS DEPARTMENT OF THE ARMY Washington, DC, 1 September 2000. – 157 с.
16. Матвейчук В.В. Взрывное дело : учеб.-практ. пособ. / В.В. Матвейчук. – М. : Академический Проект, 2005. – 512 с.
17. Сидоренко Ю.М. Методика двумерного компьютерного моделирования процессов функционирования осколочно-фугасных боеприпасов /Ю.М. Сидоренко // Артиллерийское стрелковое вооружение. – К. : НТЦ АСВ, 2005. – № 1. – С. 18–21.
18. Одинцов В.А. Гиперэкспоненциальные спектры взрывного разрушения металлических цилиндров / В.А. Одинцов // Изв. РАН. Механика твердого тела. – М., 1992. – № 5. – С. 48–55.
19. Одинцов В.А. Статистические модели осколочных спектров артиллерийских снарядов / В.А. Одинцов, Ю.М. Сидоренко // Боеприпасы. – 2000. – № 3. – С. 53–58.
20. Физика взрыва : в 2 т. / С.Г. Андреев, Ю.А. Бабкин, Ф.А. Баум и др. ; под ред. Орленко Л.П. – Изд. 3-е, перераб. – Т. 1. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 832 с.
21. Патент 2131583 РФ. Способ испытания осколочного боеприпаса с круговым полем разлета осколков и стенд для его реализации. МКИ F42В 35/00. В.А. Одинцов (Россия), НИИ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, заявл. 05.04.1996, опубл. 10.06.1999.

Отримано 23.08.2012