

В.И. Пашенко<sup>1</sup>, Ю.М. Сидоренко<sup>2</sup>, канд.техн.наук, доц.

1 - Взрывотехническая лаборатория Государственного научно-исследовательского экспертно-криминалистического центра МВД Украины, г.Киев, Украина;

2 - НТУ Украины "Киевский политехнический институт", г.Киев, Украина

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО МЕТАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛИТЫ

---

*Розглянуті питання процесу вибуху заряду вибухової речовини масою 50кг, який розташований в одній з кімнат квартири другого поверху багатопверхового будинку, що використані для проведення вибухотехнічної експертизи. Описані особливості процесу імпульсного навантаження батареї центрального опалення з використанням методу скінченно-елементного моделювання. Встановлено максимальне значення дальності польоту батареї від фасадної стіни будинку.*

*Detonation of high explosive charge with the mass equal to 50kg and which took place inside of the one of the multistoried house flat was discussed. Researching results were used for technical-explosive examinations. Impulse loading features of central heating radiator were described which were obtained by finite-element modeling. Maximum fly distance of radiator from the house face was calculated.*

---

### Постановка задачи

С каждым годом количество криминальных взрывов в мире, произошедших с применением самодельных взрывных устройств, неуклонно растет. Кроме того, постоянно повышается и уровень квалификации преступников [1, 2]. Следствием этого является то, что каждый новый криминальный взрыв совершается с применением все более сложных, с технической стороны, самодельных взрывных устройств (далее – СВУ). Это в свою очередь усложняет процесс экспертного исследования обстоятельств и механизма таких взрывов и, как следствие, в целом раскрытие таких преступлений. Тогда возникает необходимость в применении новых методов криминалистического исследования СВУ, обстоятельств и механизма их взрыва, анализа и обработки полученной информации и т.д.

Одним из таких методов, позволяющих установить некоторые детали происшествий, связанных с использованием СВУ, является компьютерное моделирование процесса взрыва различных технических устройств, работа которых основана на применении конденсированных взрывчатых веществ (далее – ВВ) [3]. Например, с помощью такого моделирования можно ответить на вопрос о параметрах осколочного поля, которое формируется в результате взрывного разрушения металлического корпуса СВУ, а именно, величину угловой ширины осколочного поля, положение медианы осколочного поля в пространстве, распределение количества осколков и их скорости в угловом секторе разлета, получить информацию о форме осколков и т.д. Наличие таких данных позволит правильно определить уровень опасности поражающих факторов взрыва СВУ, с помощью которого лицом или группой лиц была предпринята попытка совершить свои противоправные действия [4]. С другой стороны, компьютерное моделирование можно применить вместо проведения серии дорогостоящих натуральных экспертных экспериментов [5] целью которых является подтверждение соответствия реконструированной модели СВУ по следовому отображению взрыва на месте происшествия. В качестве примера таких методик можно привести компьютерные алгоритмы, которые реализованы в программах [6-16].

Также компьютерное моделирование может помочь в случае, если проведение натурального экспертного эксперимента в принципе невозможно или трудно осуществимо [17]. Такая ситуация, например, возникла во время проведения комплексной судебной взрыво- пожаро- технической экспертизы последствий взрыва в одном из многоэтажных домов [18].

На решение одной из задач этой экспертизы инициатором экспертизы был поставлен вопрос о возможности нахождения батареи центрального отопления на расстоянии 22 м от фасадной стены дома при условии ее перемещения взрывом [19]. В заключении независимого эксперта указывалось, что батарея отопления пролетела такое расстояние от взрыва при условии, что она находилась в системе отопления в квартире 2 этажа 9 этажного дома на расстоянии 4 м от открытого заряда ВВ – тринитротолуола (далее – ТНТ) весом 50 кг после его взрыва (рис. 1).

На рис. 1 видно, что взрыв происходит практически в закрытом помещении. Заряд ВВ расположен в комнате на полу симметрично относительно левой и правой боковых стен комнаты на расстоянии 4 м от батареи централизованного отопления.

Становится очевидным, что одним из возможных способов получения ответа на поставленный вопрос является использование компьютерного моделирования. Тогда на первом этапе необходимо создать математическую модель моделируемого взрывного процесса.

Проанализировав взаимное расположение предметов, изображенных на рис.1, можно сделать вывод, что численный анализ необходимо проводить в трехмерной (3D) постановке и оценивать во время взрыва поведение

четырёх различных сред, к которым относятся: газообразные продукты детонации заряда ВВ, окружающий их воздух, металл батареи и железобетон стен.

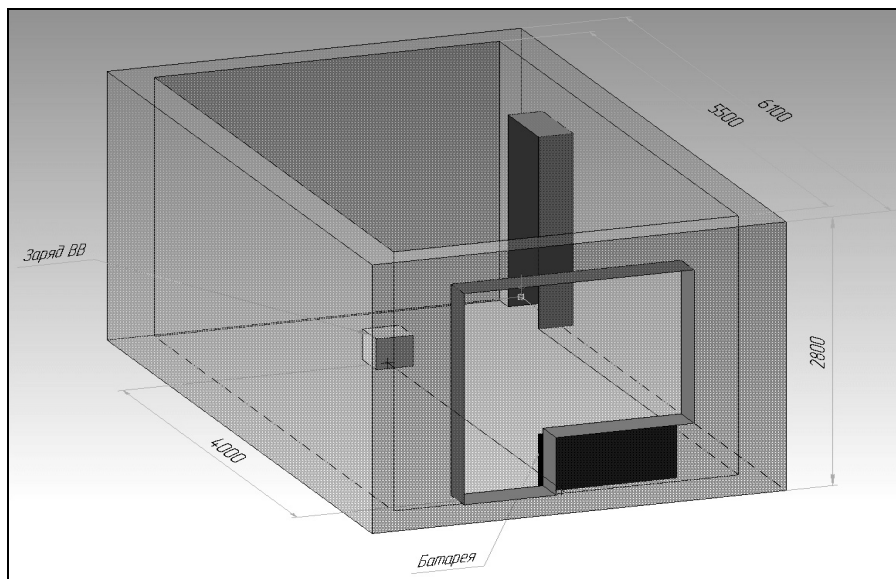


Рис. 1. Схема расположения заряда ВВ, батарей централизованного отопления в комнате одной из квартир многоэтажного дома

#### Метод моделирования

Как известно, существуют несколько подходов к описанию поведения различных сред, которые находятся под воздействием импульсной нагрузки.

Наиболее распространенные – это эйлеровый, лагранжевый и смешанный лагранжево-эйлеровый способ решения задач (далее – ALE-подход) [8, 10, 11]. Как известно, эйлеровый подход построен на принципе исследования поведения сред, которые двигаются через неподвижную расчетную сетку, и дает наилучший результат во время изучения поведения жидкостей и газа. Лагранжевый подход наоборот, использует подвижную связанную со средами расчетную сетку и дает наилучший результат во время изучения поведения твердых материалов, в том числе металлов. Учитывая тот факт, что в рассматриваемой задаче присутствуют как газообразные, так и твердые деформируемые материалы, то компьютерное моделирование проводилось с использованием смешанного ALE-подхода.

Кроме того, особенности геометрии решаемой задачи и технические возможности ПЭВМ заставляют вносить в математическую модель задачи некоторые допущения, не влияющие на достоверность результатов:

1. Моделирование пола квартиры будем проводить в предположении, что он является абсолютно жесткой преградой для расширяющихся продуктов детонации заряда ВВ и его наличие в математической постановке учитывается соответствующими граничными условиями.

2. Так как в поставленной задаче форма заряда ВВ не оговорена, а указана только его масса (50 кг), то она была принята в форме куба. Если принять значение плотности этого заряда равным  $1600 \text{ кг/м}^3$ , тогда величина стороны куба будет составлять 320 мм.

3. Сложная геометрия батареи заменяется моделью в виде эквивалентного параллелепипеда с теми же значениями высоты и ширины равными 600 мм и 1200 мм соответственно. Толщина модели подбиралась из условия равенства ее массы массе батареи равной 75 кг, которая составила 15 мм.

Таким образом, значения массогабаритных параметров основных элементов, которые входят в состав математической модели, можно представить в виде табл. 1.

Таблица 1

Массогабаритные параметры элементов расчетной модели

Элемент	Масса, кг	Размеры, мм			Тип
		Ширина	Высота	Толщина	
Заряд ВВ	50	320	320	320	ТНТ
Батарея отопления	75 (10 секций)	1200	600	15	МС-140

Теперь для решения задачи необходимо определиться с типом конечного элемента, на основе которого все входящие в расчет объекты будут представлены в математическом конечно-элементном (дискретном) виде. Как известно, конечным элементом, с помощью которого проводится наиболее точное трехмерное моделирование процессов взрывного нагружения различных тел и объектов, является 8-узловой элемент в форме параллелепипеда [10, 11].

Размер конечного элемента выбирался с учетом рекомендаций [20]. Одна из них говорит о том, что моделирование процессов взрыва и высокоскоростного соударения тел будет адекватным реальному процессу, если при создании регулярной конечно-элементной сетки на наименьший геометрический размер всех тел, входящих в

рассматриваемую задачу, приходится от 5 до 10 элементов. В связи с тем, что моделирование разных сред будет проводиться с использованием разных математических подходов, а именно, продукты детонации и воздух моделируются в постановке Эйлера, а металл батареи и железобетон стен – в постановке Лагранжа, то и размер конечного элемента для каждой группы сред может быть неодинаковым. Исходя из этого, максимальный размер конечного элемента для батареи зависит от ее толщины и должен быть не более 3х3х3 мм, а для заряда ВВ, продуктов детонации и окружающего их воздуха – не более 64х64х64 мм.

Из теории дифференциальных исчислений известно, что чем меньше величина дифференциальных приращений, тем точнее получается решение задачи. Однако, уменьшать размер элемента, а, следовательно, увеличивать их общее количество можно с учетом параметра производительности компьютера, на котором планируется провести соответствующий численный эксперимент.

#### Математическая модель задачи

Для решения указанной выше задачи взрывного метания батареи зарядом взрывчатого вещества использовался персональный компьютер с центральным процессором Intel Core2Quad с тактовой частотой 2,83 ГГц, а объем оперативной памяти машины составлял 4 Гб. Данная конфигурация ПЭВМ позволила создать конечно-элементную сетку с параметрами представленными в табл. 2.

Таблица 2

Основные параметры конечно-элементной расчетной сетки

Элемент	Размеры конечного элемента, мм			Количество
	Длина	Ширина	Высота	
Заряд ВВ	40	40	40	512
Воздух	40	40	40	436988
Батарея отопления	3	3	3	400000
Всего				837500

Кроме того, использование ПЭВМ, с указанными выше не наилучшими на сегодняшний день характеристиками, заставило отказаться от моделирования межкомнатной и межквартирной стен комнаты, а также лицевой железобетонной панели дома, на которую крепится батарея централизованного отопления. Вместо них в математической модели задачи вводились граничные условия с условным названием – "прозрачные границы", т.е. расширяющиеся продукты детонации заряда ВВ и метаемая ими батарея могли свободно их пересекать без отражения. В такой формулировке, когда перед батареей пропала преграда в виде лицевой железобетонной панели дома, несколько изменяется суть решаемой задачи. Указанные допущения не влияют на занижение показателей действия взрыва и являются допустимыми для решения данной задачи. В такой новой постановке мы будем определять максимальное расстояние, на которое можно метнуть батарею центрального отопления зарядом ВВ со второго этажа многоэтажного дома. Итоговую математическую модель решаемой задачи можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 2.

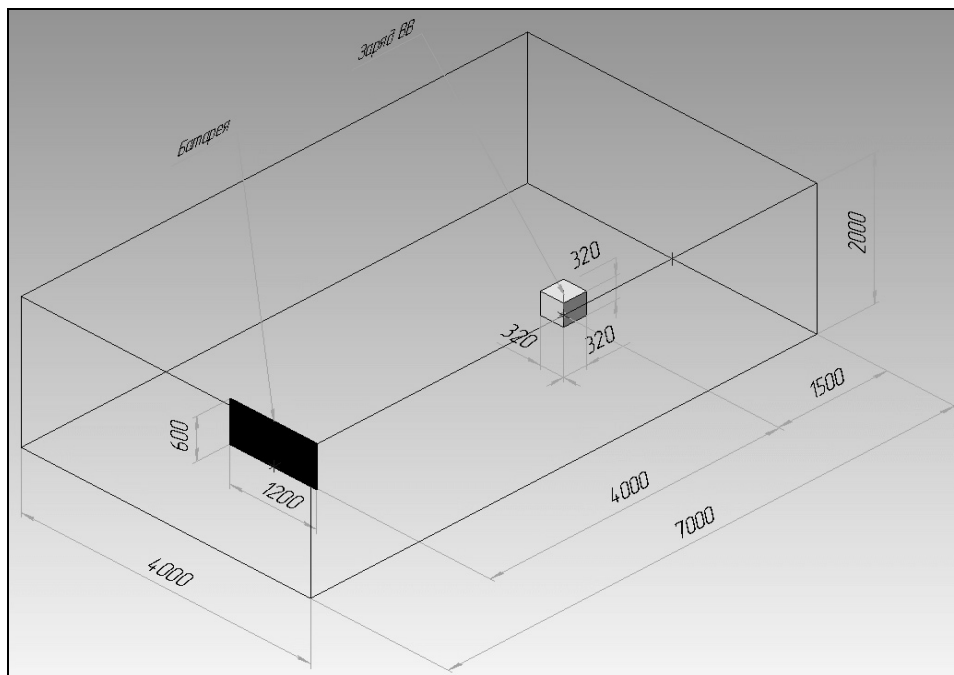


Рис. 2. Расчетная модель процесса взрыва открытого заряда ВВ в квартире многоэтажного дома

Из рис. 2 видно, что размеры расчетной области ограничены высотой в 2 м, шириной в 4 м и длиной в 7 м. Расстояние между центром заряда ВВ и батареей отопления составляет 4 м. Положение точки инициирования детонации заряда ВВ – центральное, т.е. данная точка находится в геометрическом центре куба со стороной 320 мм.

### Методика моделювання

Как указывалось выше, в качестве материала ВВ использовался состав ТНТ. Для проведения компьютерного моделирования для такого заряда из справочников [21, 22] были взяты значения начальной плотности заряда равной  $\rho_0 = 1630 \text{ кг/м}^3$ , скорости детонации  $D = 6930 \text{ м/с}$ , давления продуктов детонации на фронте детонационной волны  $P_{C-J} = 21 \text{ ГПа}$ .

Расширение продуктов детонации данного ВВ описывалось уравнением состояния среды в форме Джонса-Уилкинса-Ли (JWL) [21, 22]:

$$p = A \cdot \left(1 - \frac{\omega}{R_1 \cdot V}\right) \cdot e^{-R_1 \cdot V} + B \cdot \left(1 - \frac{\omega}{R_2 \cdot V}\right) \cdot e^{-R_2 \cdot V} + \frac{\omega \cdot E}{V},$$

где:  $V$  – относительный объем продуктов детонации, а остальные константы уравнения принимали следующие значения:

$$A = 371,2 \text{ ГПа}; B = 3,231 \text{ ГПа}; R_1 = 4,15; R_2 = 0,95; \omega = 0,3; E_0 = 9,27 \text{ ГПа}.$$

Для описания поведения материала батареи использовалась идеальная упруго-пластическая модель с кинематическим упрочнением среды [11-14, 16].

Значение плотности материала было принято равным  $\gamma_0 = 7850 \text{ кг/м}^3$ , модуля упругости первого рода  $E = 210 \text{ ГПа}$ , коэффициента Пуассона  $\mu = 0,33$ , предела текучести  $\sigma_T = 288 \text{ МПа}$  а тангенциального модуля упругости  $E_T = 1 \text{ ГПа}$ .

Поведение окружающего воздуха с начальным значением плотности равным  $\rho_0 = 1,26 \text{ кг/м}^3$  описывалось с помощью линейного полинома в форме:

$$P = C_0 + C_1 \cdot \mu + C_2 \cdot \mu^2 + C_3 \cdot \mu^3 + (C_4 + C_5 \cdot \mu + C_6 \cdot \mu^2) \cdot E,$$

где:  $\mu = \frac{\rho}{\rho_0} - 1$ ;  $\rho$  – текущее значение плотности воздуха.

Величины других параметров уравнения выбирались согласно рекомендациям [11, 21].

### Результаты

Продолжительность непрерывного расчета такой задачи на указанной выше ПЭВМ составила приблизительно 1,5 недели. Для хранения результатов расчета на компьютере пришлось выделить примерно 25 Гбайт дискового пространства. Некоторые кадры моделирования представлены на рис. 3.

На рис. 3 видно, что приблизительно к 50 мкс завершается процесс детонации заряда взрывчатого вещества. В этот момент времени массовый фронт продуктов детонации в тех местах, где находились грани непрореагировавшего заряда ВВ, имеет явно выраженные выпуклые формы с максимальным значением давления на своей поверхности равным 2,2 ГПа. Постепенно расширяясь, к 150 мкс внешняя поверхность продуктов детонации приобретает вид полусферы, а давление газа на ее поверхности падает почти в 50 раз до величины 45,5 МПа. Кроме того, обращает на себя внимание неравномерный характер распределения значений давления на этой поверхности, о чем свидетельствуют круговые пятна интенсивного оттенка.

Также, характерной особенностью процесса является то, что если исходную форму заряда ВВ куб увеличить до размеров облака продуктов детонации, которое сформировалось в данный момент времени, то центры указанных пятен совпадут с его вершинами.

В дальнейшем, к 450 мкс полусфера продуктов детонации постепенно преобразовывается в форму пирамиды со сглаженными вершинами направление движения газа, в которых совпадает с направлением векторов нормали проведенного из геометрических центров граней куба (заряд ВВ). К этому времени максимальное значение давления на фронте продуктов детонации уменьшается еще приблизительно в 10 раз до величины 5 МПа. В последующие моменты времени 900 и 1350 мкс форма продуктов детонации сохраняется, а значение давления на их фронте снижается до 2,5 и 1,4 МПа соответственно. По результатам расчета можно сделать вывод, что наиболее существенное падение значения давления на фронте продуктов детонации происходило в течении первых 100 мкс процесса с момента завершения процесса детонации заряда ВВ.

К 1650 мкс на рис. 3 наблюдается процесс подхода продуктов детонации к модели батареи центрального отопления с формированием в ней кругового поля внутренних напряжений. С целью более наглядного представления процесса обтекания батареи газообразными продуктами детонации на последующих компьютерных кадрах батарея не показана. В момент времени 2250 мкс в результате взаимодействия продуктов детонации и батареи видно формирование в продуктах детонации двух областей. Первая область – область торможения движения осевого потока газа, в которой начинает подниматься давление с 1 МПа до 1,977 МПа, что объясняется выводами теории отражения волн от жестких преград [21].

В результате такого отражения продуктов детонации от батареи, они начинают ускорять свое движение как в боковом та и в вертикальном направлениях. Это приводит к формированию второй области – области разгоняющегося газа, который начинает огибать препятствие (батарею) сверху.

Детальное изучение волновых процессов представленных на всех расчетных кадрах показало, что в момент времени 1650 мкс, когда в батарее возникли первые внутренние напряжения, продуктов детонации не имели непосредственного контакта с ней (рис. 4).

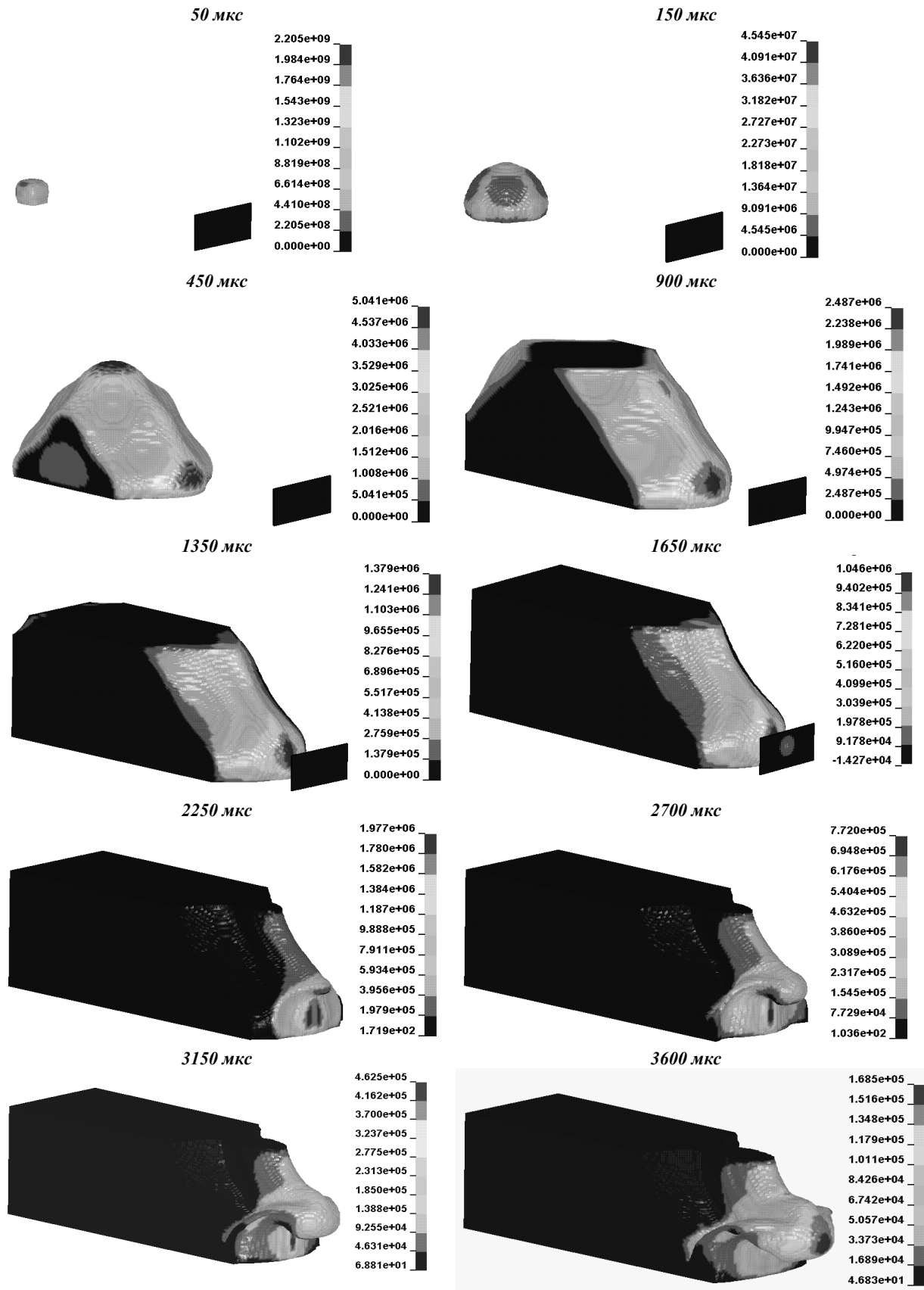


Рис. 3. Кадры компьютерного моделирования процесса взрывного метания модели батареи отопления многоквартирного дома. (с 2250мкс батарея не отображалась)

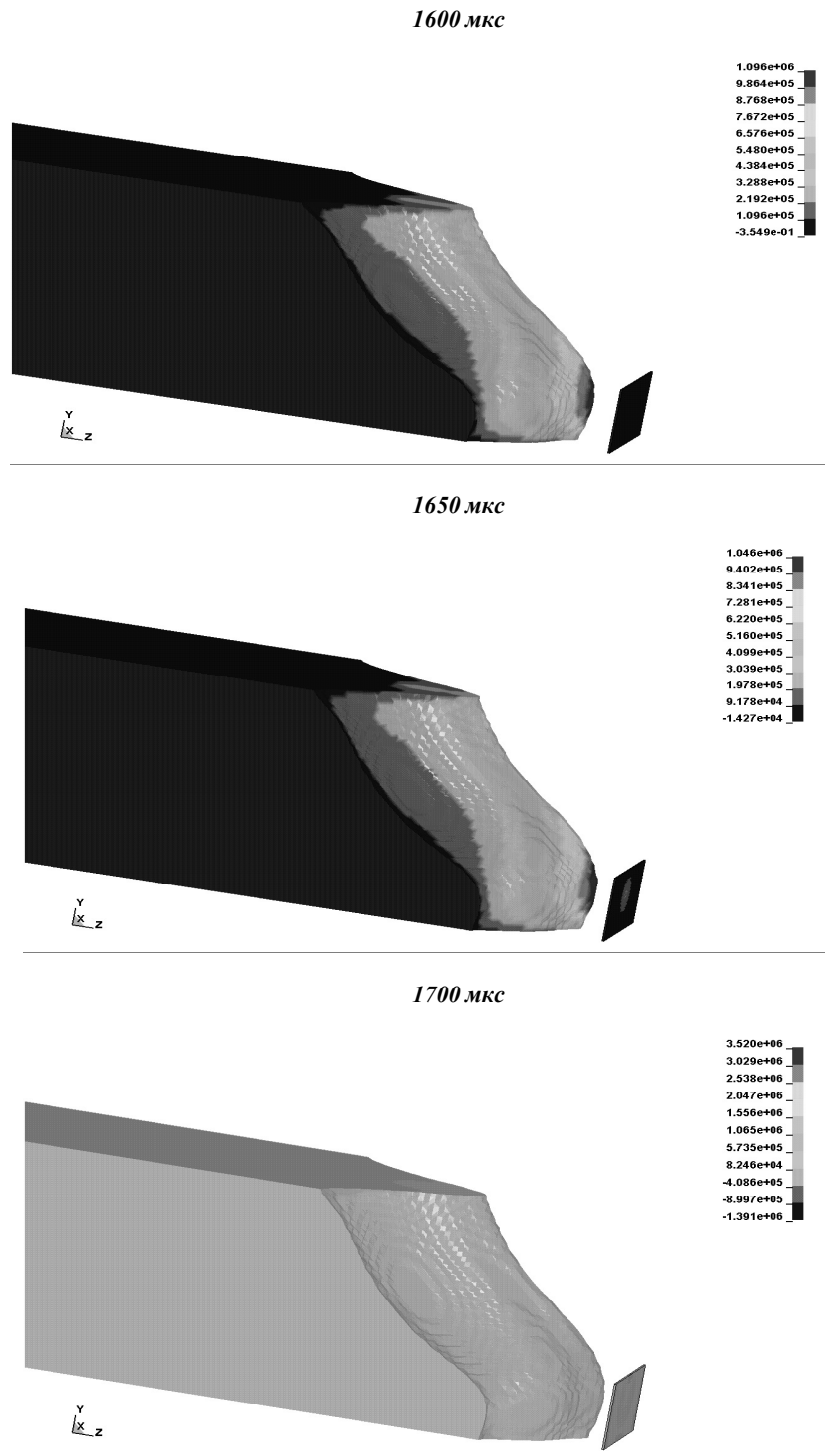


Рис. 4. Увеличенные кадры компьютерного моделирования процесса ударного нагружения модели батареи отопления многоквартирного дома

Это говорит о том, что сначала батарея была нагружена внешним давлением, которое создала воздушная ударная волна (далее – ВУВ). Формирование подобных волн хорошо описано в работе [21]. В момент выхода детонационного фронта, распространяющегося по заряду ВВ на его внешнюю поверхность, происходит ударное взаимодействие сильно сжатых продуктов детонации с окружающим воздухом. В результате такого взаимодействия возникло формирование в нем волны сжатия, скорость распространения которой превышает скорость расширения продуктов детонации. Очевидным становится и то, что через некоторое время окружающие заряд ВВ предметы будут воспринимать на себе внешнюю нагрузку от его взрыва в два этапа. Сначала подойдет ударная волна сжатия, а

затем с некоторым запаздыванием появиться нагрузка от набегающего массового потока газообразных продуктов детонации.

На рис. 5 приведена расчетная зависимость изменения во времени значения максимального давления на поверхности батареи, которое возникает в результате взрыва заряда ТНТ массой 50 кг на определенном расстоянии ( $m$ ) от нее (рис. 2).

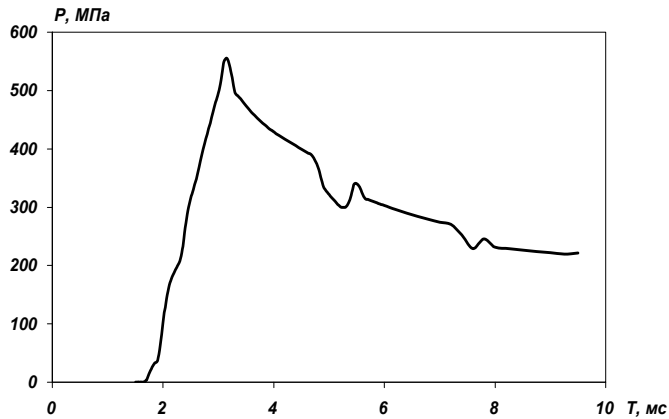


Рис. 5. Изменение величины давления на поверхности модели батареи централизованного отопления многоквартирного дома при ударном нагружении

Данные расчета показывают, что действие ВУВ было несильным и кратковременным. Ее воздействие длилось с 1650 мкс по 1850 мкс.

За это короткое время давление на ее поверхности поднялось до 30 МПа, что соответствует характерному излому на графике рис. 5 (точка с координатами:  $t \approx 2$  мс,  $P \approx 30$  МПа).

В дальнейшем значения графика резко увеличиваются и достигают максимума в 555 МПа. Последующее падение значений давления говорят о том, что давление в постепенно расширяющихся продуктах детонации падает, и они заканчивают разгонять батарею к 3...3,5 мс. Данный вывод подтверждают графики изменения значения ускорения и скорости центральной части батареи (рис.6).

Из рис. 6-б видно, что в районе 3...3,5 мс значение ускорения батареи уже колеблется в районе нуля. Это привело к тому, что значение скорости достигло

своего максимума 17,2 м/с и прекратило свой рост (рис.6-а).

Для оценки значения максимальной дальности полета батареи, которая была выброшена со второго этажа многоэтажного дома в результате взрыва в квартире заряда ВВ массой 50 кг можно воспользоваться известными баллистическими формулами, описывающими полет тела под действие притяжения Земли брошенного под углом к горизонту [23]:

$$H = H_0 + V_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2},$$

где:  $H_0$  – начальная высота с которой была выброшена батарея (4 м);  
 $V_0$  – начальная вертикальная скорость спуска батареи (0 м/с);  
 $g$  – ускорение свободного падения (10 м/с<sup>2</sup>);  
 $t$  – время полета, с, которое равно:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot H_0}{g}} = 0,894 \text{ с}.$$

Используя формулу для равномерно движущегося тела, получим дальность полета:

$$L = V \cdot t = 15,4 \text{ м}$$

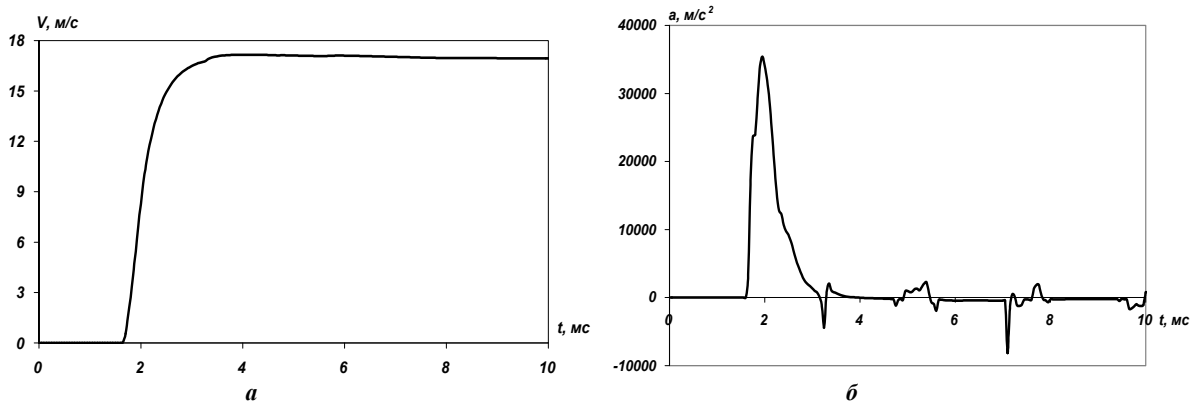


Рис. 6. Изменение скорости (а) и ускорения (б) батареи центрального отопления многоквартирного дома при ударном нагружении

Таким образом, дальность полета батареи отопления составила 15,4 м. На самом деле полученное расстояние на практике будет еще меньше, т.к. помещение имеет боковой вход, через который часть воздушной ударной волны и массового потока расширяющихся продуктов детонации будет выходить. Кроме того, движение воздушной ударной волны и массового потока продуктов детонации будет частично ослаблено за счет их воздействия на фасадную и боковые стены квартиры в начальный период их разрушения.

#### Выводы.

Результаты моделирования показали, что:

- процесс взрывного нагружения модели батареи центрального отопления многоквартирного дома состоит из двух этапов. Первый – нагружение ее воздушной ударной волной, второй – массовым потоком расширяющихся продуктов детонации заряда взрывчатого вещества;
- в виду достаточно большой удаленности батареи от эпицентра взрыва действие на нее воздушной ударной волны сильно ослабляется, поэтому основное значение своей скорости полета батарея получает за счет воздействия скоростного потока газообразных продуктов детонации;
- в результате предполагаемого взрыва заряда взрывчатого вещества массой 50 кг в одной из комнат квартиры второго этажа многоэтажного дома установленная в ней батарея центрального отопления не может вылететь на расстояние 22 м от фасада дома. Максимальная дальность свободного полета батареи с такой высоты составляет менее 15,4 м;
- отсутствие криминалистических следов воздействия продуктов детонации на поверхности батареи, ее контактного взаимодействия с преградой – фасадной стеной дома и ограждением балкона, также подтвердило правильность результатов моделирования. В целом в выводах комплексной экспертизы указывалось, что признаки взрыва заряда конденсированного взрывчатого вещества в одной из комнат квартиры второго этажа многоэтажного дома не происходило.
- из приведенного примера становится очевидным, что численное моделирование действия взрыва на окружающую обстановку с использованием ПЭВМ позволяет на более высокой научной основе формировать обоснованные выводы эксперта в рамках судебной взрывотехнической экспертизы.

#### Список літератури

1. Новожилов Г.В., Вдовин Н.В., Михайлин А.И., Сильников М.В., Терентьев У.И. Противодействие террористическим взрывам на воздушном транспорте. – М.: Изд. РАРАН, 2005. – Вып. 4 (45). Приложение. – 20с.
2. Пашенко В.И. Использование специальных знаний при расследовании преступлений, совершенных с применением взрывных устройств: [учебно-практ. пособие] / В.И. Пашенко, В.В. Гудков. – К.: ГНИЭКЦ МВД Украины, 2003. – 116с.
3. Бейкер У. Взрывные явления: оценка и последствия. В двух книгах / У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстрайн, Дж. Кулеш, Р. Стрелов. – М.: Мир, 1986. – Кн. 1. – 319 с., Кн. 2. – 384 с.
4. Курин Г.И. Криминалистические исследования по реконструкции самодельных осколочных взрывных устройств по следам их воздействия на окружающую обстановку. Автореф. дис. канд. юрид. наук / Г.И. Курин. – Волгоград, 1999. – 24с.
5. Дильдин Ю.М. Предварительная расчетная оценка параметров взорванного заряда взрывчатого вещества по данным осмотра места происшествия / Ю.М. Дильдин, А.И. Колмаков, А.Ю. Семенов, А.А. Шмырев. – М.: ВНИИ МВД СССР, 1986. – 68с.
6. Расчет газодинамических течений на основе метода концентраций / С.М. Бахрах, Ю.П. Гоголева, М.С. Самигулин и др. // Докл. АН СССР. – М., 1981. – Т. 257, № 3. – С. 566-569.
7. Кореньков В.В. Двумерные нестационарные течения сжимаемых жидких сред с подвижными границами. Постановка задачи и алгоритм численного решения / МВТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 1986. – 25 с. – Рук. деп. ВИНТИ 25.07.86, № 5442-В86.
8. 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.
9. Сидоренко Ю.М. Методика двумерного компьютерного моделирования процессов функционирования осколочно-фугасных боеприпасов // Артиллерийское стрелковое вооружение. – Киев: НТЦ АСВ, 2005. – №1. – С. 18-21.
10. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій: Навч. посібник. – К.: НТУУ "КПІ", 2007. – 379 с.: іл.
11. 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.
12. <http://www.ls-dyna.ru/>;
13. <http://www.autodyn.ru/>;
14. <http://www.ansys.com/>;
15. Лавриков С.А. Программный комплекс для моделирования процессов контактного взаимодействия твердых тел // Артиллерийские ствольные системы, боеприпасы, Сб. трудов 2 Междунар. конф., Киев, 27-29 окт. 1998. – Киев, 1998. – С. 36-51.
16. John O. Hallquist. LS-DYNA. Theory manual. Livermore Software Technology Corporation. March 2006.
17. Пашенко В.И. Реконструкція саморобних вибухових пристроїв по слідах вибуху: [метод. реком.] / В.И. Пашенко, В.П. Оніщенко, І.Б. Неділько. – К.: ДНДЕКЦ МВС України, 2004. – 35 с.
18. Комиссионная комплексная взрыво-пожарно-техническая экспертиза по взрыву в жилом доме № 67 по ул. Некрасова в г. Евпатории Автономной республики Крым от 16.02.2009 года № 4/19-8/1. – Симферополь: ДНДЕКЦ МВС України. – 68 с.
19. Заключение независимого эксперта по взрыву в жилом доме № 67 по ул. Некрасова в г. Евпатории Автономной республики Крым от 23.01.2009 года № 1. – К., 2009. – 23 с.
20. Одинцов В.А., Сидоренко Ю.М. Моделирование процесса взрыва стандартного осколочного цилиндра с различной степенью детализации // Оборонная техника. – 2001. – № 1-2. – С. 17-20.
21. Физика взрыва / С.Г. Андреев, Ю.А. Бабкин, Ф.А. Баум и др. / Под ред. Орленко Л.П. – Изд. 3-е, перераб. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – Т.2. – 656 с
22. LLNL Explosive Handbook. Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants / B.M. Dobratz. Livermore. – California, 1981. – 257 p.
23. Джанколи Д. Физика: В 2-х т. Т.1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 656с.