

## ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СПОСОБУ МЕТАННЯ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ПОЖЕЖАМИ

*Національний університет цивільного захисту України, (м. Харків)*

*Наведено геометричну модель нової технології гасіння пожеж, основаної на метанні як засобу доставки вогнегасних речовин в зону горіння. При цьому вогнегасна речовина поміщається у спеціальний контейнер, який від температури пожежі після доставки повинен зруйнуватися і вивільнити речовину. Запропонована механіка доставки контейнерів в зону пожежі суттєво відрізняється від відомих, де використовуються пневматичні гармати або гравітаційні металеві машини типу требушет. Особливість цих способів полягає у використанні спеціальних «стартових» технічних пристроїв, призначених для виконання метання контейнерів на велику відстань. Але техніка використовується рідко, з нею при зберіганні не завжди проводяться профілактичні роботи. Пневматична гармата або требушет можуть відмовити, що вплине на своєчасний початок гасіння пожежі. Тому виникла проблема розробки нової технології гасіння пожеж, для якої «стартовий» пристрій був би максимально простим для зберігання і не потребував би значних зусиль та коштів на його утримання в робочому стані.*

*Для реалізації нової технології необхідно розробити відповідне математичне забезпечення. На початковій стадії досліджень це здійснено у вигляді геометричної моделі. В даній роботі виконано моделювання процесу доставки на відстань контейнеру у вигляді двох рознесених вантажів, сполучених невагомим стержнем (скорочено - гантелі). Рознесення вантажів є обов'язковою умовою для механічної реалізації нової технології. Ініціювання руху гантелі здійснюється завдяки одночасній дії двох вибухових імпульсів, спрямованих на кожний її вантаж.*

*Для опису динаміки руху гантелі визначено лагранжіан, а також складено та розв'язано систему трьох диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду. Наведено приклади моделювання траєкторій руху центрів мас вантажів гантелі, а також зображення окремих фаз її обертання. Одержані результати дозволяють рекомендувати необхідні для метання величини вибухових імпульсів, а також оцінити відстань перельоту гантелі залежно від цих значень.*

*Ключові слова: геометричне моделювання; оберти гантелі на площині; рівняння Лагранжа другого роду; окремі фази обертання.*

**Постановка проблеми.** В багатьох сферах діяльності людини виникає необхідність використовувати технології, основані на доставці необхідних речовин способом метання. Наприклад, при масштабних пожежах (лісових або степових) доцільно доставляти вогнегасні речовини в центри загоряння на великі відстані. Також цікавими виглядають технології розкидання на великі відстані мінеральних добрив на поля, а також розпорошення хімічних препаратів як засобів захисту лісових масивів від шкідників. Тому актуальною буде тема розробки нових технологій доставки речовин на великі відстані, основаних на метанні.

**Аналіз останніх досліджень.** Для вирішення цієї проблеми в роботі [1] пропонується використати пневматичну гармату як засіб доставки вогнегасних речовин, поміщених у спеціальний контейнер. В роботі [2] для цього пропонується застосовувати механічний пристрій *требушет* (гравітаційну металеву машину). В роботі [3] розглядаються особливості гасіння лісових пожеж з використанням авіації, а в роботі [4] – наведено способи пожежогасіння на основі ракет. Але для реалізації на практиці наведених технологій пожежогасіння необхідно постійно підтримувати їх робочий стан та вкладати кошти в забезпечення готовності механізмів.

В даній роботі запропоновано спосіб доставки вогнегасної речовини на великі відстані, орієнтований на використання найпростішого технічного забезпечення цього процесу. Для реалізації такого способу необхідне відповідне математичне забезпечення. За основу обрано спосіб безопірного розкриття стержневих конструкцій у невагомості з використанням піропатронів, описаний у роботі [5]. Цю ідею можна використати і для умов земного тяжіння. Математичне забезпечення нової технології полягає у моделюванні доставки на великі відстані речовин, запакованих у спеціальний контейнер. Конструктивно контейнер має вигляд двох рознесених на певну відстань вантажів, сполучених (невагомим) стержнем. Для скорочення такої конструкції названо гантеллю.

В результаті огляду літературних джерел не було виявлено аналогічних питань, досліджених іншими авторами. Це дозволило сформулювати наступну проблему досліджень. Розробити геометричну модель процесу доставки на значну відстань контейнера з вогнегасною речовиною способом метання. При цьому головною умовою є простота технічного забезпечення розробленої технології метання. На початковому етапі плануються дослідження без врахування опору повітря.

**Формулювання цілей статті.** Розробити спосіб моделювання переміщення в межах вертикальної площини двох рознесених мас вантажів за умови, що ініціювання руху здійснено в результаті одночасної дії двох вибухових імпульсів, спрямованих на кожний з вантажів.

**Основна частина.** На рис. 1 зображено схему початкового положення гантелі в системі координат  $Ox$ . Гантель складається з двох вантажів масами  $m_1$  і  $m_2$ , сполучених невагомим стержнем. Центр маси

першого вантажу розташований в початку координат. Центр маси другого вантажу розташований на відстані  $h$  від першого на осі  $Ox$ . У якості узагальнених оберемо координати  $x(t)$  і  $y(t)$ , а також кут  $w(t)$ , який вісь гантелі утворює з від'ємною частиною осі  $Oy$ . Вважатимемо, що на масу  $m_1$  діє вибуховий імпульс  $P_x$ , а на масу  $m_2$  – одночасно з попереднім діє імпульс  $P_y$ . За допомогою символів початкове положення гантелі визначається так:  $x(0)=0$ ;  $dx(0)=P_x$ ;  $y(0)=0$ ;  $dy(0)=0$ ;  $w(0)=0$ ;  $dw(0)=P_y$ . Тут і далі всі величини в умовних одиницях ( $g=9.81$ ). Опір повітря не враховується.

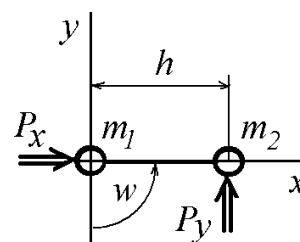


Рис. 1. Схема гантелі

Для опису обертового руху гантелі використаємо лагранжіан  $L=T-V$ , де кінетична і потенціальна енергії обчислюються так:

$$T = 0.5m_1 \left( \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dy}{dt} \right)^2 \right) + 0.5m_2 \left( \frac{dx}{dt} + h \cos(w) \frac{dw}{dt} \right)^2 + 0.5m_2 \left( \frac{dy}{dt} + h \sin(w) \frac{dw}{dt} \right)^2 ; \quad (1)$$

$$V = m_1 y g + m_2 g (y - h \cos(w)) . \quad (2)$$

Лагранжіан дозволяє скласти систему диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду відносно узагальнених координат  $x(t)$ ,  $y(t)$  і  $w(t)$ :

$$(m_1 + m_2) \frac{d^2 x}{dt^2} - h m_2 \sin(w) \left( \frac{dw}{dt} \right)^2 + h m_2 \cos(w) \frac{d^2 w}{dt^2} = 0 ;$$

$$g \sin(w) + \cos(w) \frac{d^2 x}{dt^2} + h \frac{d^2 w}{dt^2} + \sin(w) \frac{d^2 y}{dt^2} = 0 ; \quad (3)$$

$$(m_1 + m_2) \left( g + \frac{d^2 y}{dt^2} \right) + h m_2 \cos(w) \left( \frac{dw}{dt} \right)^2 + h m_2 \sin(w) \frac{d^2 w}{dt^2} = 0 .$$

Розв'язувати систему рівнянь (3) будемо чисельним методом Рунге-Кутти в середовищі математичного процесора Maple. В якості значень параметрів оберемо  $h=5$ ;  $m_1=1$  і  $m_2=2$ , а також значення початкових умов  $x(0)=0$ ;  $y(0)=0$ ;  $dy(0)=0$  і  $w(0)=\pi/2$ .

В результаті розв'язання системи рівнянь Лагранжа другого роду одержуємо в часі  $t$  наближені вирази для значень кута  $\text{sol}w(t)$ , а також для координат  $\text{sol}x(t)$  і  $\text{sol}y(t)$ .

На рис. 2 наведено фрагмент програми з використанням синтаксису мови Maple, за допомогою якої можна обчислити і побудувати по  $N$  точок, координати яких розташовані на таких траєкторіях руху: центра мас  $(X1, Y1)$  першого вантажу, центра мас  $(X2, Y2)$  другого вантажу, а також центра мас  $(X3, Y3)$  всієї гантелі. Тут  $m_1$  і  $m_2$  – значення мас вантажів.

```

for i from 0 to N do
  ugol := solw(T*i/N):
  X1[i] := solx(T*i/N):
  Y1[i] := soly(T*i/N):
  X2[i] := X1[i] + h*sin(ugol):
  Y2[i] := Y1[i] - h*cos(ugol):
  X3[i] := (m1*X1[i] + m2*X2[i]) / (m1+m2):
  Y3[i] := (m1*Y1[i] + m2*Y2[i]) / (m1+m2):

```

Рис. 2. Фрагмент програми для побудови точок на траєкторіях

Варіювати будемо величинами вибухових імпульсів  $dx(0)$  та  $dw(0)$ . На рис. 2 наведені траєкторії та положення гантелі при значеннях вибухових імпульсів  $dx(0)=12$  та  $dw(0)=7$ . Час польоту гантелі – 4.7 сек.

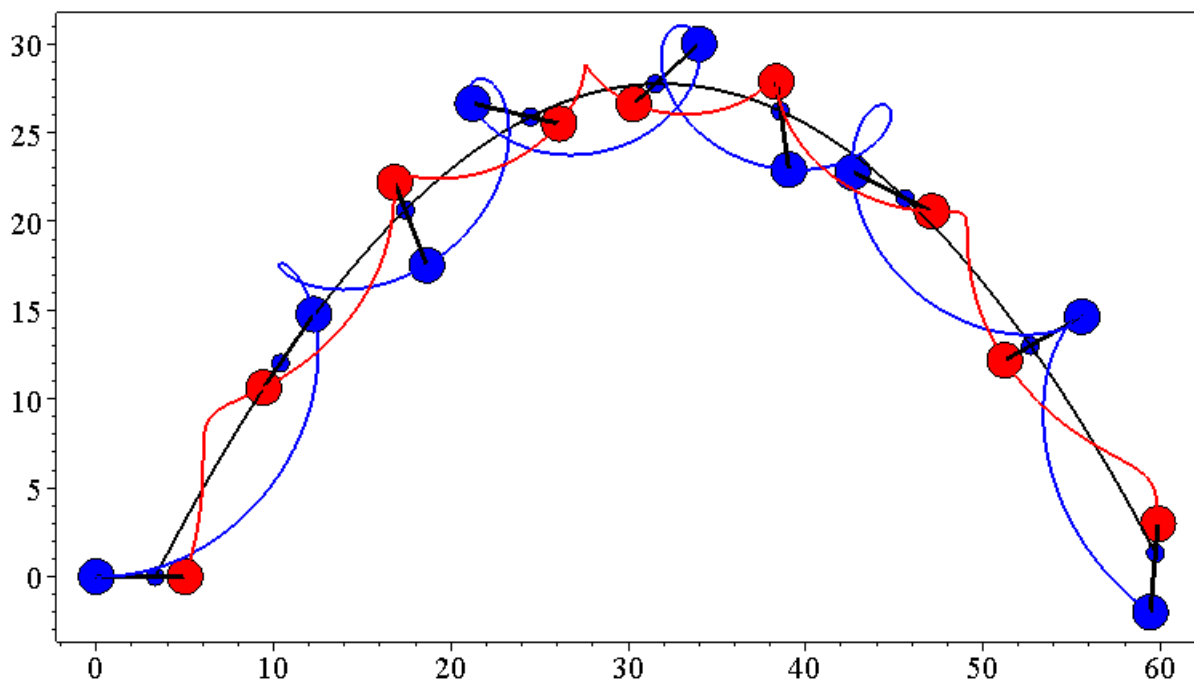


Рис. 2. Траєкторії та положення гантелі при  $dx(0)=12$  та  $dw(0)=7$

На рис. 3 наведені траєкторії та положення гантелі при значеннях вибухових імпульсів  $dx(0)=7$  та  $dw(0)=12$ . Час польоту гантелі – 8.1 сек.

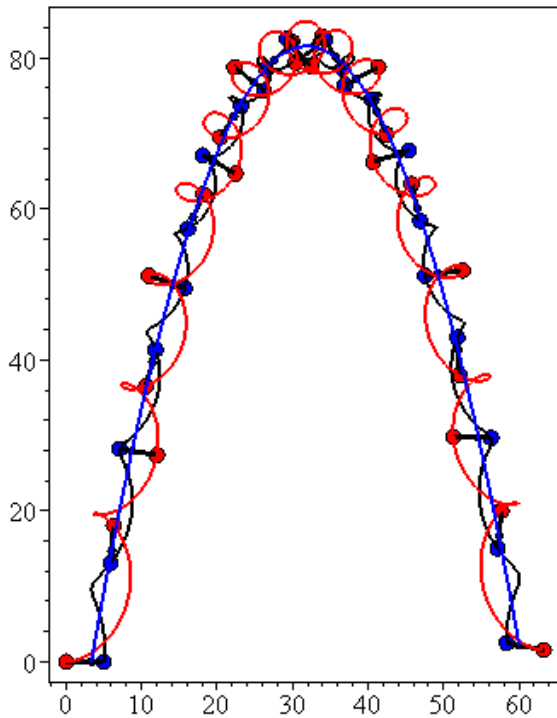


Рис. 3. Варіант розрахунків при  $dx(0)=7$  та  $dw(0)=12$

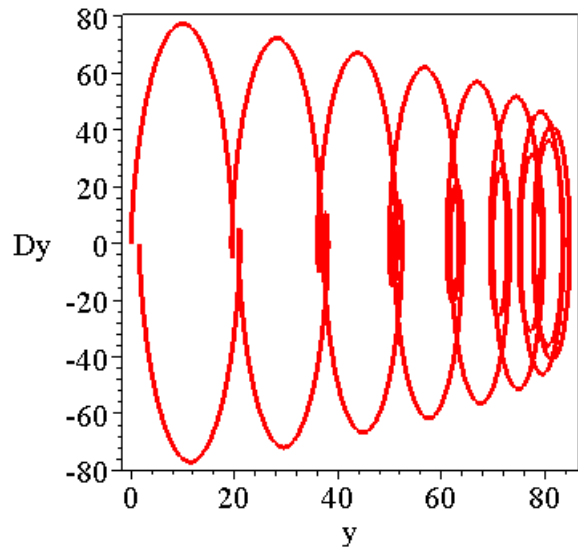


Рис. 4. Фазова траєкторія для узагальненої координати  $y(t)$

Порівняння рисунків 2 і 3 показує, що заміна місцями піропатронів з різними значеннями вибухових імпульсів приводить до заміни характеру траєкторій – з настільної до навісної. У обох випадках гантель долетить на відстань 60 (умовних величин). При чому, побудовані на рис. 3 навісні траєкторії виглядають симетрично відносно відстані 30 умовних величин. Це характеризує фазова траєкторія для узагальненої координати  $y(t)$ , яка зображена на рис. 4 і є типовою фазовою кривою навісної траєкторії доставки гантелі. Існування регулярної кривої на фазовій площині  $Oydy$  вказує на певні особливості процесу метання гантелі. Для погодження взаємних значень імпульсів  $dx(0)$  і та  $dw(0)$  можна використати лінії, побудовані у системі координат  $Oydy$  (рис. 4) – тобто у фазовому просторі  $\{y, dy\}$ .

Для практики більш прийнятні настільні траєкторії доставки гантелі (рис. 2). Тому далі будемо розглядати переважно настільні траєкторії. На рис. 5 зображена типова фазова крива настільної траєкторії доставки гантелі, де по горизонталі відкладено переміщення  $y(t)$  центра мас першого вантажу, а по вертикалі – швидкість  $dy(t)$  центра мас першого вантажу. При цьому у глобальних координатах переміщення  $y(t)$  визначає висоту підйому гантелі.

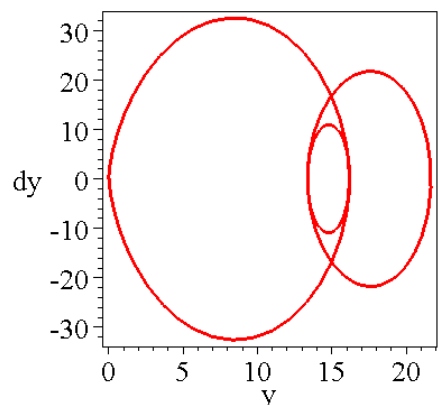


Рис. 5. Фазова траєкторія

Обчислення показують, що при незмінному значенню  $dw(0)=5.69$  «вертикального» вибухового імпульсу гантель відлетить на відстань  $H$  за незмінний час  $t=3.9$ . І що саме головне, траєкторія польоту центру маси першого вантажу буде симетричною відносно відстані  $H/2$ , що вказує на відсутність хаотичності руху гантелі. В таблиці показана залежність відстані  $H$  від значення  $dx(0)$  «горизонтального» вибухового імпульсу.

Таблиця

$dx(0)$	30	25	20	15	10
$H$	120	100	85	65	47

На рис. 6 і 7 зображено ілюстрації настільних траєкторій для випадків  $dx(0)=15$  і  $dx(0)=25$ . Час польоту гантелі 3.9 сек для обох варіантів.

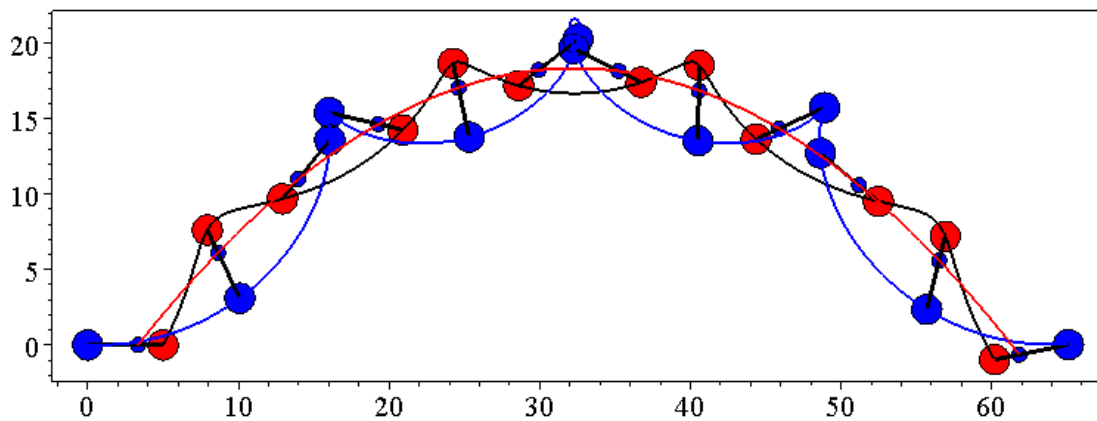


Рис. 6. Фази обертів гантелі для  $dx(0)=15$  і  $dw(0)=5.69$

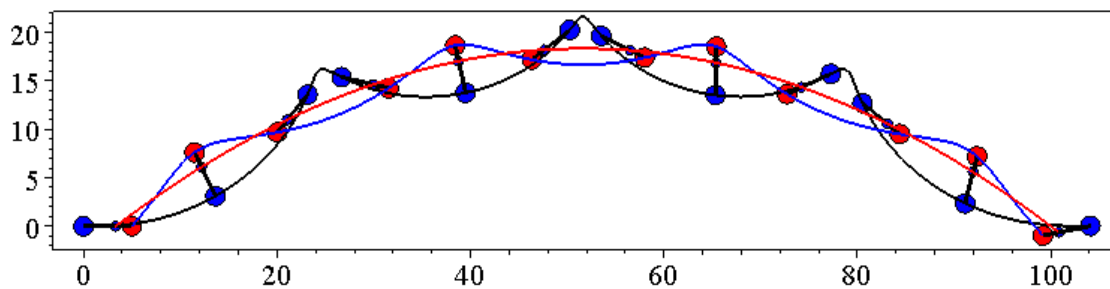


Рис. 7. Фази обертів гантелі для  $dx(0)=25$  і  $dw(0)=5.69$

Наведену на рис. 1 схему «стартової» установки пропонується реалізувати на практиці. Для цього необхідно виготовити її у вигляді залізобетонного блока з отворами. На рис. 8 зображено перетин блока вертикальною площиною. Гантель перед стартом встановлюється на відповідні отвори. За допомогою одночасної дії вибухових імпульсів  $P_x$  і  $P_y$  гантель починає здійснювати в польоті обертання навколо центра мас. Умовні величини вибухових імпульсів наведені вище.

Зазначимо, що конструкція контейнерного типу гантелі набагато простіша (і дешевша) від конструкції ракет, які використовуються для гасіння пожеж [4].

Для впровадження розглянутої технології в практику пожежних необхідно довершити моделювання динаміки гантелі, додавши врахування опору повітря та напрямків і сили вітру. А також провести ще ряд досліджень. Необхідно виготовити «стартовий» залізобетонний пристрій (рис. 8), здатний двома одночасними вибуховими імпульсами надати рух гантелі. Залізобетонний блок доцільно розмістити на автопричепі і оперативно доставляти його до місця пожежі. До цього ще необхідно обрати вид вибухової речовини (піропатрона) і розробити заходи по її безпечній експлуатації. А також необхідно вибрати матеріал для виготовлення корпусу гантелі, який був би міцним і протидіяв його руйнуванню вибухами, а з іншого боку - який би легко випаровувався під впливом температури пожежі.

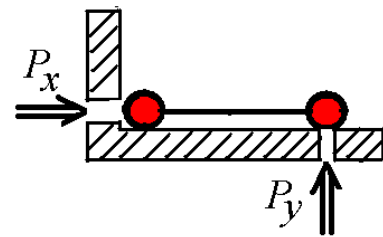


Рис. 8. Схема «стартової установки»

В запропонованій технології нема необхідності вкладати кошти в забезпечення постійної готовності залізобетонного блоку з отворами. Така установка не потребує розгортання. Отже, запропонований спосіб задовольняє умові використання найпростішого технічного забезпечення процесу доставки вогнегасник речовин на великі відстані.

**Висновки.** Запропонований спосіб пожежогасіння дозволяє змодельювати переміщення гантелі у вертикальній площині, коли на її вантажі у стартовому положенні одночасно подіяли два вибухових імпульси. Реалізацію ідеї на практиці можливо здійснити з використанням простого технічного рішення – залізобетонного блоку з отворами.

## Література

1. Ковалев А.А., Калиновский А.Я., Хмиров И.М. Разработка отдельных аспектов контейнерного метода пожаротушения / *Проблемы пожарной безопасности*. Сб. научных трудов. Харьков : НУГЗУ. Выпуск 44, 2018. С.57-69.
2. Сухарькова О.І., Табакова І.С. Визначення траєкторії переміщення вантажу гравітаційної металеві машини / *Сучасні проблеми моделювання*. Зб. Наукових праць. Мелітополь: МДПУ ім.Б. Хмельницького. Вип. 9. 2017. С. 147-151.
3. Арцибашев Е.С., Гусев В.Г. Авиационные способы борьбы с лесными пожарами в условиях радиационного загрязнения радионуклидами / Сб. науч. тр. Гомель : АН Беларуси, 2002. Вып. 54. 190 с.

4. Пекинских пожарных «вооружили» установками залпового огня [Электронный ресурс] 2017, Режим доступа: <https://topwar.ru/109311-pekinskih-pozharnyh-vooruzhili-ustanovkami-zalpovogo-ognya.html>.

5. Куценко Л.М., Семків О.М., Запольський Л.М. Модель розкриття чотириланкової стержневої конструкції з рухомою точкою відліку /. *Сучасні проблеми моделювання*. Зб. Наукових праць. Мелітополь: МДПУ ім.Б. Хмельницького, 2020. Випуск 17. С. 47-53.

## **ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПОСОБА МЕТАНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПОЖАРАМИ**

*Л.Н. Куценко, А.Я. Калиновский, О.Г. Поливанов*

Приведена геометрическая модель новой технологии тушения пожаров, основанная на способе метания как средстве доставки огнетушащих веществ в зону горения. При этом огнетушащее вещество помещается в специальный контейнер, который от температуры пожара должен разрушиться и его высвободить. Предложенная механика доставки контейнеров в зону пожара существенно отличается от известных, где используются пневматические пушки или гравитационные метательные машины типа требушет. Особенность этих способов заключается в использовании специальных «стартовых» технических устройств, предназначенных для выполнения метания контейнеров на большое расстояние. Но такая техника используется редко, при хранении с ней не всегда проводятся профилактические работы. Пневматическая пушка или требушет могут отказать, что повлияет на своевременное начало тушения пожара. Поэтому возникла проблема разработки новой технологии тушения пожаров, для которой «стартовое» устройство было бы максимально простым для хранения, и не нуждалось бы в значительных усилиях на его содержание в рабочем состоянии.

Для реализации новой технологии необходимо разработать соответствующее математическое обеспечение. На начальной стадии исследований это выполнено в виде геометрической модели. В данной работе осуществлено моделирование процесса доставки на расстояние контейнера в виде двух разнесенных грузов, соединенных невесомым стержнем (сокращенно - гантели). Разнесения грузов является обязательным условием для механической реализации новой технологии. Инициирование движения гантели осуществляется благодаря одновременному действию двух взрывных импульсов, направленных на каждый ее груз.

Для описания динамики движения гантели определен лагранжиан, а также составлена и решена система трех дифференциальных уравнений Лагранжа второго рода. Приведены примеры моделирования траекторий



движения центров масс грузов гантели, а также изображения отдельных фаз ее вращения. Полученные результаты позволяют рекомендовать необходимые величины взрывчатых импульсов, а также оценить расстояние перелета гантели в зависимости от этих значений.

*Ключевые слова: геометрическое моделирование; обороты гантели на плоскости; уравнения Лагранжа второго рода; отдельные фазы вращения.*

## **GEOMETRIC MODELING METHOD THROWING FIRE FIGHTING**

*L. Kutsenko, A. Kalinovsky, O. Polivanov  
National University of Civil Defense of Ukraine*

*A geometric model of the new fire extinguishing technology based on the hinged method of throwing as a means of delivering fire extinguishing substances to the combustion zone is presented. In this case, the extinguishing agent is placed in a special container, which should be destroyed by the temperature of the fire and release it. The proposed mechanics of delivering containers to the fire zone is significantly different from the known ones, where pneumatic guns or gravitational throwing machines of the trebuchet type are used. A feature of these methods throwing is the use of special “starting” technical devices designed to throw containers over a long distance. But such a technique is rarely used; during storage, preventive maintenance is not always carried out with it. Therefore, a pneumatic gun or trebuchet may fail, which will affect the timely start of a fire extinguishing. Therefore, the problem arose of developing a new fire extinguishing technology, for which the “starting” device would be as simple as possible for storage, and would not require significant efforts to maintain it in working condition. To implement the new technology, it is necessary to develop appropriate software. At the initial stage of research, this is done in the form of a geometric model. In this work, we simulated the process of delivery to a container in the form of two spaced loads connected by a weightless rod (abbreviated as dumbbells). Diversion of goods is a prerequisite for the mechanical implementation of new technology. The initiation of the movement of the dumbbell is due to the simultaneous action of two explosive pulses directed at each of its loads.*

*To describe the dynamics of dumbbell motion, a Lagrangian is defined, and a system of three second-order Lagrange differential equations is compiled and solved. Examples of modeling the trajectories of the centers of mass of the weights of the dumbbell, as well as images of the individual phases of its rotation are given. The results obtained allow us to recommend the necessary*

*values of explosive pulses, as well as to evaluate the distance of the flight of the dumbbell, depending on these values.*

*Keywords: geometric modeling; dumbbell revolutions on a plane; Lagrange equations of the second kind; individual phases of rotation.*