

к.т.н., доцент **А. Я. Калиновський**,  
kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1021-5799>  
Національний університет цивільного захисту України (м.Харків)

## **РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ БАГАТОГРАННИХ КОНТЕЙНЕРІВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН**

*Запропоновані геометричні моделі контейнерів для доставки вогнегасних речовин в зону пожежі, розташованої на значній відстані. Технологія транспортування базується на механічній операції метання. Для цього речовину (наприклад, вогнегасний порошок) поміщають у тверду оболонку – спеціальний контейнер. Після доставки до місця пожежі контейнер повинен зруйнуватися і вивільнити речовину, що сприятиме гасінню пожежі. У існуючому способі віддаленої доставки використовується контейнер, який має форму циліндра. В цьому випадку в якості стартової установки використовується пневматична гармата. Складність полягає у тому, що для забезпечення стійкості руху в процесі польоту циліндр повинен обертатися навколо своєї осі. Стартовий імпульс такому обертанню при проходженні циліндра дулом пневматичної гармати надається «вихровим» потоком стисненого повітря, який складно комутувати.*

*Тому виникає необхідність розробки нових способів віддаленої доставки вогнегасних речовин в зону пожежі шляхом застосування інших принципів метання. Серед таких способів увагу привертає застосування требушет-механізмів та імпульсних установок. В разі використання требушет-механізмів контейнери обирають за формами, близькими до сферичних. Для імпульсних установок (з піропатронами) доцільно використати контейнери, які складаються з двох сферичних ємностей, сполучених стержнем (подібно спортивній гантелі). Ініціювання обертово-поступального руху гантелі у вертикальній площині при цьому здійснюється завдяки дії вибухових імпульсів, спрямованих на кожний її вантаж заздалегідь розрахованими напрямками.*

*Для застосування на практиці требушет-механізмів або імпульсних установок необхідно розробити конструкції оболонок контейнерів. Для цього слід поєднати розв'язки декількох задач з суперечливими вимогами. По-перше, конструкція гантелі повинна бути міцною і витримати стартові зусилля і напруги фази польоту. По-друге, конструкція повинна забезпечити своє миттєве руйнування після доставки до зони пожежі. І, по-третє, конструкція гантелі повинна забезпечити зручну технологію наповнення ємностей вогнегасними речовинами. Розв'язання цих задач пропонується здійснити з використанням багатогранних тіл.*

*Ключові слова: багатогранні тіла; модель Штейнгауза; контейнер гантелеподібної форми; пневматична гармата.*

**Постановка проблеми.** Ліквідація масштабних пожеж пов'язана з двома ключовими моментами – розробкою вогнегасних речовин, а також із способами їх доставки в зону горіння. Але значні успіхи у розробці високоефективних вогнегасних речовин можуть нівелюватися малою ефективністю засобів доставки цих речовин в зону пожежі. У загальному вигляді ідея доставки звичайно базується на механічній операції метання. Для цього речовину (наприклад, вогнегасний порошок) поміщають у спеціальну тверду оболонку – контейнер. Після доставки до місця пожежі контейнер повинен зруйнуватися і вивільнити речовину - і цим сприяти гасінню пожежі. У якості стартових установок використовуються переважно пневматичні гармати, контейнери яких мають форму циліндра [1-4]. Складність полягає у тому, що для забезпечення стійкості руху в процесі польоту циліндр повинен обертатися навколо своєї осі. При проходженні дулом пневматичної гармати стартовий імпульс осевому обертанню циліндра надається спеціальною турбіною. Для цього в дулі пневматичної гармати передбачається регулювання розподілу потоків стисненого повітря, що важко реалізувати для масивних циліндрів-контейнерів. Недостатнє розкручування циліндра призводить до втрати стійкості його руху, а зупинка обертання в польоті призводить до непередбачуваної траєкторії його переміщення [5-6].

Тому виникає необхідність розробки нових способів віддаленої доставки вогнегасних речовин в зону пожежі шляхом застосування інших принципів метання. Серед таких способів увагу привертають застосування требушет-механізмів з масивними противагами для запуску корисних об'єктів та імпульсних установок з використанням піропатронів як енергетичних засобів старту [7]. При застосуванні требушет-механізмів форми контейнерів обирають близькими до сферичних. На практиці для цього підходять деякі поверхні граних тіл. Для імпульсних установок з піропатронами використовуються контейнери, геометричні форми яких подібні спортивній гантелі. Тобто, які складаються з поверхонь двох багатогранників, сполучених стержнем. Ініціювання обертано-поступального руху гантелі у вертикальній площині здійснюється завдяки дії вибухових імпульсів, спрямованих на кожний її вантаж заздалегідь розрахованим чином. Крім того, застосування контейнеру з двома багатогранними ємностями дозволить реалізувати роздільну доставку двох вогнегасних речовин. Адже для збільшення ефекту гасіння деякі хімічні речовини доцільно поєднувати і змішувати безпосередньо в зоні пожежі.

Для застосування на практиці требушет-механізмів або імпульсних установок необхідно визначити об'єкт для метання - тобто розробити конструкції оболонок контейнерів. Для цього слід поєднати розв'язки

декількох технологічних задач з суперечливими вимогами. По-перше, конструкція оболонки контейнера повинна бути міцною і витримати стартові зусилля і напруги фази польоту. По-друге, конструкція повинна забезпечити своє миттєве руйнування після доставки до зони пожежі та вивільнення вогнегасної речовини. І, по-третє, конструкція гантелі повинна забезпечити зручну технологію наповнення ємностей вогнегасними речовинами.

Розв'язання задачі конструювання контейнерів для доставки вогнегасних речовин пропонується здійснити з використанням багатогранних тіл Архімеда або Платона. Цьому сприяють дослідження жорсткості таких моделей багатогранників. Жорсткість моделей не випадкова, вона обумовлена існуючими зв'язками між гранями багатогранника. Питання про жорсткість багатогранників виявиться центральним при подальшому дослідженні міцності конструкції оболонок гантелі. Крім того, багатогранна конструкція контейнерів дозволяє здійснити кріплення їх граней за допомогою легкоплавкої ліски. Все це вказує на актуальність теми розробки конструкцій багатогранних контейнерів для доставки вогнегасних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1-6] наведено дослідження, пов'язані з конструктивними особливостями ствольної установки пневматичної гармати. Наголошено, що в процесі доставки для стійкості руху згідно основ балістики циліндр повинен обертатися навколо своєї осі. Початковий імпульс обертання циліндричному контейнеру при його проходженні дулом гармати надає потік стисненого повітря, регульованого спеціальною турбіною. Виникають питання, пов'язані з надійністю пристрою для розподілу в стволі гармати потоку повітря, що впливає на його функціонування.

Принципово інший спосіб доставки вогнегасних речовин полягає у використанні металеві машини типу требушет. На рис. 1 наведено геометричну модель механізму требушет з вертикальним переміщенням вантажу противаги  $A$ . В літературі цей механізм одержав назву «Floating-Arm Trebuchet». У роботах [7-9] досліджено схему такого варіанту требушет.

Конструкція складається з головного важеля довжиною  $l_0=l_1+l_2$ , до якого шарнірно прикріплено важіль (або канатна праця) довжиною  $l_3$ . До важеля у вузловій точці  $A$  закріплено вантаж противаги масою  $m_1$ , а в точці  $D$  закріплено вантаж контейнера для метання масою  $m_3$ . Масу  $m_1$  обирають на декілька порядків більшою відносно маси  $m_3$ . Противага з точкою  $A$

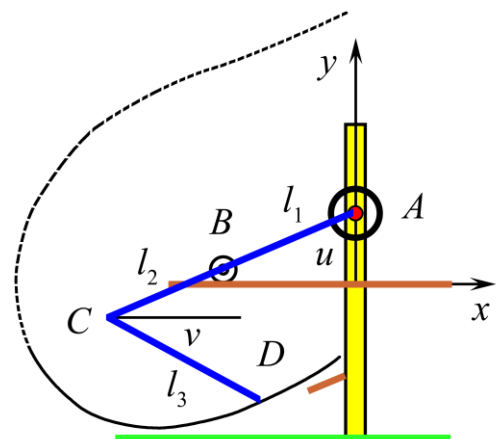


Рис. 1. Схема металеві механізму Floating-Arm Trebuchet

повинна рухатися вздовж напрямних під дією гравітації вертикально донизу. При цьому колесо, закріплене на важелі в точці  $B$  повинно перекочуватися по горизонтальній планці конструкції. Тоді корисному вантажу  $m_3$  надасться прискорення, яке і спричинить ефект метання після його відокремлення від праці. На рис. 1 показана траєкторія (пунктир) руху центру мас корисного вантажу до моменту його відриву.

У роботі [9] наведено диференціальні рівняння, розв'язання яких дозволяє розрахувати траєкторію переміщення залежно від параметрів конструкції требушет. На рис. 2 зображено побудовану траєкторію руху центру мас контейнера. За допомогою складеної програми створено анімаційний фільм [10] дії Floating-Arm Trebuchet (кадри на рис. 2).

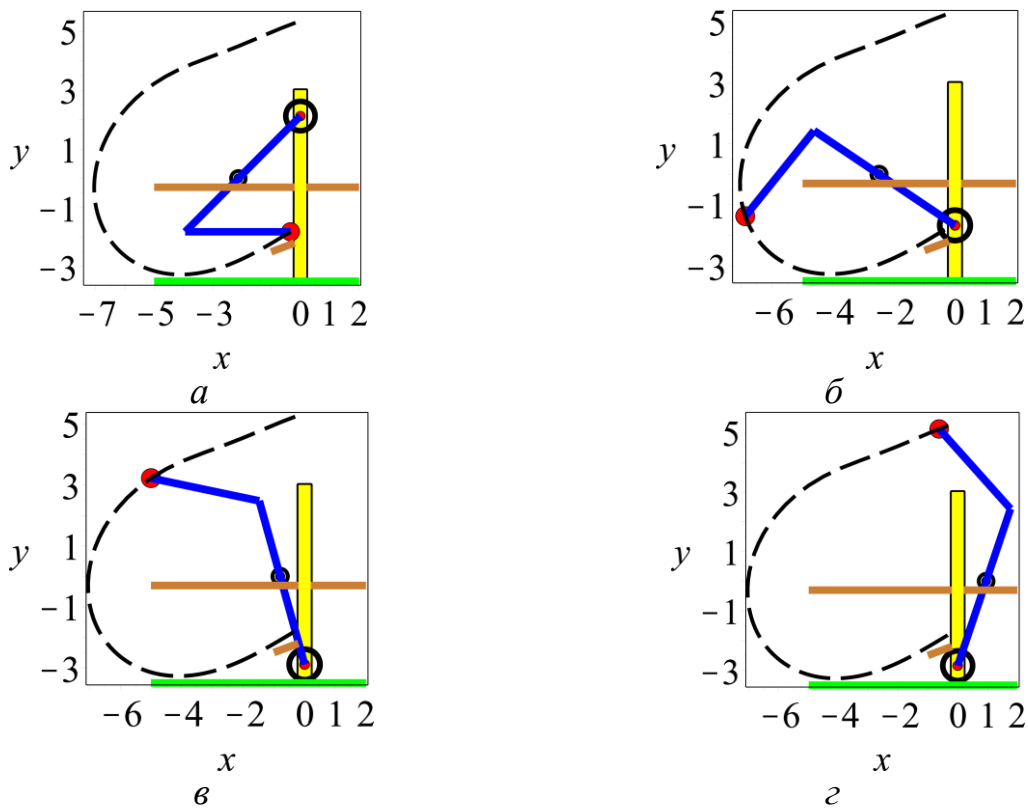


Рис. 2. Одержані зображення фаз метання:  
 $a$  – початкової;  $б$  – поточної;  $в$  – прикінцевої;  
 $г$  – в момент відриву вантажу

Головна особливість розглянутого механізму полягає у переміщенні вантажу противаги вертикально донизу в процесі метання. Тому конструкція Floating-Arm Trebuchet зручна для транспортування, адже вантаж противаги можна зафіксувати на вертикальних напрямних. Крім того, масивну противагу не обов'язково транспортувати до зони пожежі. Адже як противагу можна використати ємність, наповнену водою (або піском) безпосередньо на місці.

Далі розглянемо геометричну модель способу доставки вогнегасної речовини з використанням гантелеподібного контейнера [11-13]. Суттєвим

в способі є те, що контейнер складається з двох вантажів, рознесених на певну відстань. Ініціювання руху гантелі можна здійснити шляхом одночасної дії направлених вибухових імпульсів, спрямованих на центри мас кожного з її вантажів. В результаті одержимо обертово-поступальний рух контейнера (рис.3). У роботах [11-13] наведено диференціальні рівняння, розв'язання яких дозволяє визначити траєкторії переміщення центрів мас вантажів гантелі. Анімацію старту при різних значеннях величин вибухових імпульсів можна переглянути на сайті [10].

На рис. 4 наведено схему стартової установки, яка має вигляд металевго кута з двома отворами; на рисунку їх показано в перетині вертикальною площиною. За допомогою одночасної дії вибухових імпульсів піропатронів утворюються імпульси  $P_x$  і  $P_y$  і гантель починає рухатись у вертикальній площині.

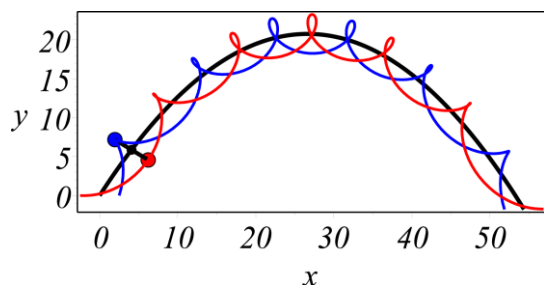


Рис. 3. Траєкторії руху центрів мас вантажів гантелі

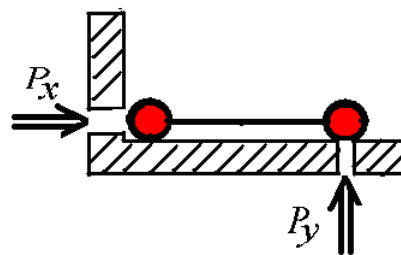


Рис. 4. Схема стартової установки у перетині нормальною площиною

Ключовим питанням застосування требушет-механізмів або імпульсних установок як способів доставки контейнера на значну відстань є вибір його геометричної форми. На практиці необхідно розробити конструкції оболонок контейнерів. Для цього слід поєднати розв'язки декількох задач з суперечливими вимогами. По-перше, конструкція гантелі повинна бути міцною і протидіяти руйнуванню під час старту, а також витримати стартові зусилля і напруги фази польоту. По-друге, конструкція повинна забезпечити своє миттєве руйнування після доставки до зони пожежі внаслідок удару або під впливом температури пожежі. І, по-третє, конструкція гантелі повинна забезпечити зручну технологію наповнення ємностей вогнегасними речовинами. Розв'язання цієї задачі пропонується здійснити з використанням багатогранних тіл.

Тому актуальними будуть розробки геометричних моделей твердих оболонок у вигляді багатогранних поверхонь. З метою ідеалізації вважатимемо що грані моделей виготовлені з матеріалу необхідної товщини та міцності. Крім того вважатимемо, що грані моделей скріпляються міцною, але легкоплавкою ліскою (назва умовна).

**Формулювання цілей статті.** Розробити геометричні моделі твердих оболонок для контейнерів у вигляді багатогранної поверхні:

- ікосододекаедра, складеного з елементів його граней і закріплених за допомогою спеціальної ліски;

- додекаедра, складеного з двох однакових половин і закріпленого ліскою по геодезичній траєкторії.

**Основна частина.** Розглянемо два варіанти конструкцій багатогранних контейнерів для доставки вогнегасних речовин.

1. Геометрична модель контейнера у вигляді ікосододекаедра, складеного з елементів його граней.

В якості оболонок для наповнення вогнегасними речовинами пропонується використати поверхню одного з багатогранних тіл Архімеда. Наприклад, яка має назву ікосидододекаедра [14-16]. Такий багатогранник доцільно застосовувати у випадку використання требушет-механізму у якості стартової установки.

Реалізацію ікосидододекаедра на практиці доцільно здійснити за допомогою складання з елементів його граней [15]. На рис. 5 наведено поверхню ікосидододекаедра, складеного з елементів граней, які поєднані зовні. Для коректності ікосидододекаедр з такою поверхнею будемо називати «умовним». Грані для складання умовного ікосидододекаедра можна виготовити штампуванням. Для одного екземпляра ікосидододекаедра весь комплект граней забезпечується чотирма металевими листами з розмітками, зображеними на рис. 6. Міцність конструкції ємності контейнера забезпечується завдяки виготовленню з підбраного металу.



Рис. 5. Умовний ікосидододекаедр, складений з граней

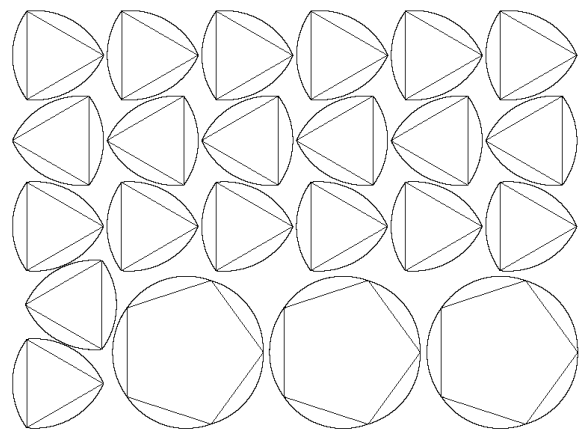


Рис. 6. Набір граней для складання умовного ікосидододекаедра

Поєднання граней умовного ікосидододекаедра необхідно забезпечити розробкою відповідного спеціального кріплення. Кріплення повинно витримати значні стартові зусилля, створені вибуховими імпульсами піропатронів. Попарне кріплення граней доцільно здійснити за допомогою пристрою типу степлера з використанням міцної, але легкоплавкої ліски [16]. Завдяки впливу високої температури ліска розплавиться, і така конструкція забезпечить миттєве руйнування після її доставки до зони

пожежі. Звільнена вогнегасна речовина сприятиме гасінню пожежі. Розглянута конструкція дозволяє задовольнити суперечливим вимогам при розробці геометричної моделі твердої оболонки як контейнера для доставки вогнегасної речовини.

У випадку застосування імпульсних установок контейнер доцільно обрати у вигляді гантелі. Для цього необхідно два грані тіла «розвести» у просторі і поєднати їх за допомогою стержня. На рис. 7 зображено гантель з двома багатогранниками Платона, які мають назву ромбоікосидодекаедра. Зазначимо, що поверхня ромбоікосидодекаедра характеризується найбільшою «сферичністю» порівняно з іншими багатогранниками [15].

Крім того, розглянуті конструкції ємностей забезпечать зручну технологію їх наповнення вогнегасними речовинами. Для цього необхідно залишити отвір, тимчасово не використовуючи одну з граней. Після наповнення речовиною грань закріплюється на місце. До переваг використання контейнера у вигляді умовного ікосододекаедра слід віднести використання граней при його складанні.

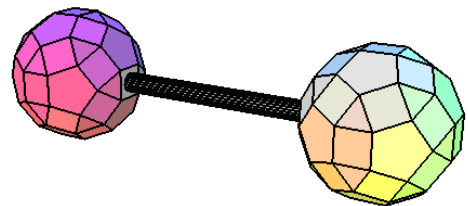


Рис. 7. Гантель з вантажами у вигляді ромбоікосододекаедрів

## 2. Геометрична модель контейнера у вигляді додекаедра, закріпленого легкоплавкою ліскою.

Додекаедр - один з п'яти правильних багатогранників Архімеда. Ефектна модель формоутворення додекаедра запропонована польським математиком Штейнгаузем [17]. Для цього використовуються дві частини розгортки додекаедра (рис. 8). Половинки з поворотом накладаються одна на одну так, щоб утворилися рівні кути суміщення розгорток (рис. 9). Далі за допомогою розтягнутого канцелярського гумового кільця частини розгортки додекаедра поєднуються «через один куточок» згідно з рис. 10.

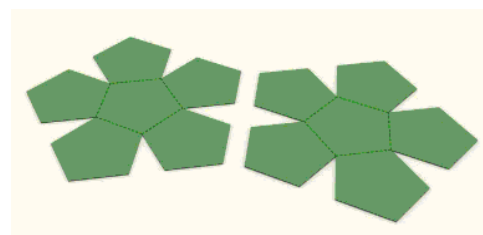


Рис. 8. Дві частини розгортки додекаедра

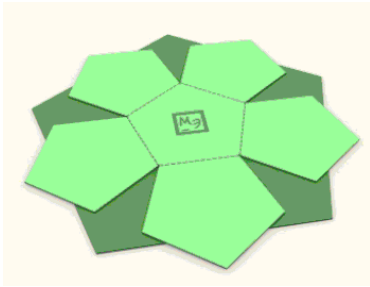


Рис. 9. Частина розгортки додекаедра, суміщені з поворотом

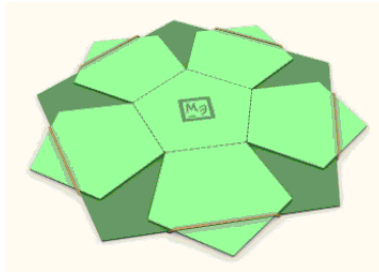


Рис. 10. Поєднання частин розгортки додекаедра гумовим кільцем

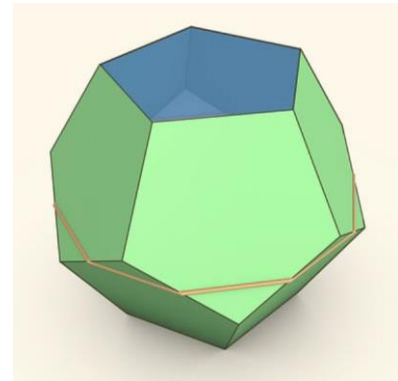


Рис. 11. Додекаедр з геодезичною у вигляді розтягнутої гуми

Якщо кільце відпустити, то гумка стягне половинки, перетворивши плоску конструкцію в правильний додекаедр (рис. 11). При цьому частини розгортки деформуються по лінії згину, які необхідно зробити завчасно.

Остаточне положення гумки визначить найкоротший шлях (геодезичну) на додекаедрі. Відомо п'ять різних замкнутих геодезичних на додекаедрі, які само не перетинаються, з яких дві – плоскі [10]. І серед них – геодезична, яка виявляється за допомогою канцелярської гумки.

Зазначена геодезична «стягує» додекаедр у моделі Штейнгауза і є найбільш технологічною при реалізації. Ця геодезична проходить через всі грані, крім двох протилежних, і перпендикулярна відрізку, що з'єднує центри цих двох граней. На сайті [17] наведена анімаційна схема формоутворення моделі додекаедра Штейнгауза.

Модель додекаедра Штейнгауза можна покласти в основу конструювання контейнера для доставки вогнегасних речовин. Для цього за допомогою штамповки слід сформувати дві половини додекаедра. А потім скріпити їх за допомогою ліски по геодезичній лінії, позначеній гумовим кільцем. Міцність можна посилити, визначивши і закріпивши ліскою ще п'ять геодезичних, подібних знайдених.

Для «оцифрування» формоутворення і фіксації за допомогою геодезичної моделі додекаедра Штейнгауза було складено table-програму (рис. 12–17). В якості параметрів додекаедра для тестових обчислень оберемо довжину ребра  $c$  (для прикладу  $c=1$ ) і параметр  $p = c(\sqrt{5} - 1)/2$ .

$a[1] := [p, 0, c+p]$	$a[2] := [-p, 0, c+p]$	$a[3] := [p, 0, -c-p]$	$a[4] := [-p, 0, -c-p]$
$a[5] := [c+p, -p, 0]$	$a[6] := [c+p, p, 0]$	$a[7] := [-c-p, -p, 0]$	$a[8] := [-c-p, p, 0]$
$a[9] := [0, c+p, p]$	$a[10] := [0, c+p, -p]$	$a[11] := [0, -c-p, p]$	$a[12] := [0, -c-p, -p]$
$a[13] := [c, c, c]$	$a[14] := [c, c, -c]$	$a[15] := [c, -c, c]$	$a[16] := [c, -c, -c]$
$a[17] := [-c, c, c]$	$a[18] := [-c, c, -c]$	$a[19] := [-c, -c, c]$	$a[20] := [-c, -c, -c]$

Рис. 12. Опис вершин додекаедра

$g[1] := [a[2], a[17], a[8], a[7], a[19]]$	$g[2] := [a[1], a[13], a[9], a[17], a[2]]$
$g[3] := [a[17], a[9], a[10], a[18], a[8]]$	$g[4] := [a[8], a[18], a[4], a[20], a[7]]$



```

g[5]:=[a[7],a[20],a[12],a[11],a[19]]: g[6]:=[a[19],a[11],a[15],a[1],a[2]]:
g[7]:=[a[6],a[5],a[15],a[1],a[13]]: g[8]:=[a[6],a[13],a[9],a[10],a[14]]:
g[9]:=[a[14],a[10],a[18],a[4],a[3]]: g[10]:=[a[3],a[4],a[20],a[12],a[16]]:
g[11]:=[a[16],a[12],a[11],a[15],a[5]]: g[12]:=[a[5],a[6],a[14],a[3],a[16]]:
dod:=polygonplot3d( [seq(g[i], i=1..12)], orientation=[-162,125]): dod;

```

Рис. 13. Формування граней і побудова додекаедра

a1x:=p:	a1y:=0:	a1z:=c+p:	a11x:=0:	a11y:=-c-p:	a11z:=p:
a2x:=-p:	a2y:=0:	a2z:=c+p:	a12x:=0:	a12y:=-c-p:	a12z:=-p:
a3x:=p:	a3y:=0:	a3z:=-c-p:	a13x:=1:	a13y:=1:	a13z:=1:
a4x:=-p:	a4y:=0:	a4z:=-c-p:	a14x:=1:	a14y:=1:	a14z:=-1:
a5x:=c+p:	a5y:=-p:	a5z:=0:	a15x:=1:	a15y:=-1:	a15z:=1:
a6x:=c+p:	a6y:=p:	a6z:=0:	a16x:=1:	a16y:=-1:	a16z:=-1:
a7x:=-c-p:	a7y:=-p:	a7z:=0:	a17x:=-1:	a17y:=1:	a17z:=1:
a8x:=-c-p:	a8y:=p:	a8z:=0:	a18x:=-1:	a18y:=1:	a18z:=-1:
a9x:=0:	a9y:=c+p:	a9z:=p:	a19x:=-1:	a19y:=-1:	a19z:=1:
a10x:=0:	a10y:=c+p:	a10z:=-p:	a20x:=-1:	a20y:=-1:	a20z:=-1:

Рис. 14. Координати вершин додекаедра

```

G1:=curve([ [a2x,a2y,a2z], [a17x,a17y,a17z], [a8x,a8y,a8z],
[a7x,a7y,a7z], [a19x,a19y,a19z], [a2x,a2y,a2z]]):
G2:=curve([ [a1x,a1y,a1z], [a13x,a13y,a13z], [a9x,a9y,a9z],
[a17x,a17y,a17z], [a2x,a2y,a2z], [a1x,a1y,a1z]]):
G3:=curve([ [a17x,a17y,a17z], [a9x,a9y,a9z], [a10x,a10y,a10z],
[a18x,a18y,a18z], [a8x,a8y,a8z], [a17x,a17y,a17z]]):
G4:=curve([ [a8x,a8y,a8z], [a18x,a18y,a18z], [a4x,a4y,a4z],
[a20x,a20y,a20z], [a7x,a7y,a7z], [a8x,a8y,a8z]]):
G5:=curve([ [a7x,a7y,a7z], [a20x,a20y,a20z], [a12x,a12y,a12z],
[a11x,a11y,a11z], [a19x,a19y,a19z], [a7x,a7y,a7z]]):
G6:=curve([ [a19x,a19y,a19z], [a11x,a11y,a11z], [a15x,a15y,a15z],
[a1x,a1y,a1z], [a2x,a2y,a2z], [a19x,a19y,a19z]]):
G7:=curve([ [a6x,a6y,a6z], [a5x,a5y,a5z], [a15x,a15y,a15z],
[a1x,a1y,a1z], [a13x,a13y,a13z], [a6x,a6y,a6z]]):
G8:=curve([ [a6x,a6y,a6z], [a13x,a13y,a13z], [a9x,a9y,a9z],
[a10x,a10y,a10z], [a14x,a14y,a14z], [a6x,a6y,a6z]]):
G9:=curve([ [a14x,a14y,a14z], [a10x,a10y,a10z], [a18x,a18y,a18z],
[a4x,a4y,a4z], [a3x,a3y,a3z], [a14x,a14y,a14z]]):
G10:=curve([ [a3x,a3y,a3z], [a4x,a4y,a4z], [a20x,a20y,a20z],
[a12x,a12y,a12z], [a16x,a16y,a16z], [a3x,a3y,a3z]]):
G11:=curve([ [a16x,a16y,a16z], [a12x,a12y,a12z], [a11x,a11y,a11z],
[a15x,a15y,a15z], [a5x,a5y,a5z], [a16x,a16y,a16z]]):
G12:=curve([ [a5x,a5y,a5z], [a6x,a6y,a6z], [a14x,a14y,a14z],
[a3x,a3y,a3z], [a16x,a16y,a16z], [a5x,a5y,a5z]]):

```

Рис. 15. Формування опису ребер додекаедра

```

geod:=display(polygon(
[ [(a1x+a15x)/2, (a1y+a15y)/2, (a1z+a15z)/2],
[(a1x+a13x)/2, (a1y+a13y)/2, (a1z+a13z)/2],
[(a9x+a13x)/2, (a9y+a13y)/2, (a9z+a13z)/2],
[(a9x+a10x)/2, (a9y+a10y)/2, (a9z+a10z)/2],
[(a18x+a10x)/2, (a18y+a10y)/2, (a18z+a10z)/2],
[(a18x+a4x)/2, (a18y+a4y)/2, (a18z+a4z)/2],
[(a20x+a4x)/2, (a20y+a4y)/2, (a20z+a4z)/2],
[(a20x+a12x)/2, (a20y+a12y)/2, (a20z+a12z)/2],
[(a11x+a12x)/2, (a11y+a12y)/2, (a11z+a12z)/2],
[(a11x+a15x)/2, (a11y+a15y)/2, (a11z+a15z)/2] ]),
scaling=CONSTRAINED, thickness=7, color=yellow):geod;

```

Рис. 16. Побудова геодезичної Штейнгауза

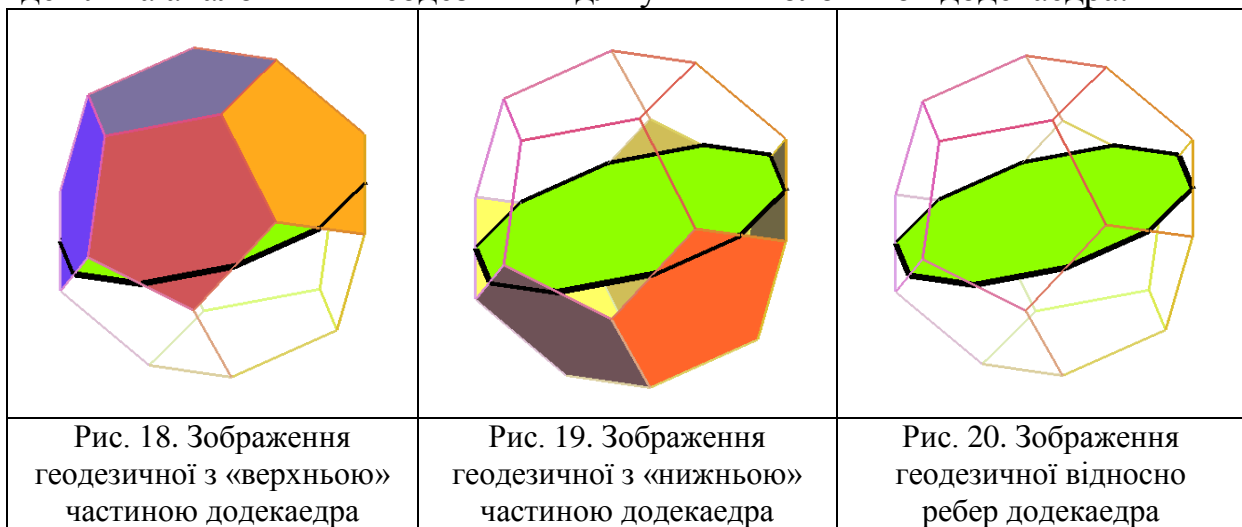
```

display(dod, G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,G9,G10,G11,G12,geod,
scaling=CONSTRAINED, orientation=[-162,125], thickness=3,
lightmodel=light2, shading=xy);
display( G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,G9,G10,G11,G12,geod, scaling=CONSTRAINED,
orientation=[-162,125], thickness=3, lightmodel=light2, shading=xy);

```

Рис. 17. Побудова геодезичної Штейнгауза на поверхні додекаедра та відносно його ребер

На рис. 18 та рис. 19 зображено геодезичну Штейнгауза сумісно з «верхньою» або «нижньою» частинами додекаедра. На рис. 20 зображено геодезичну відносно ребер додекаедра. Нагадаємо, що геодезична Штейнгауза тут визначає трасу, по якій пройде ліска для скріплення половинок додекаедра. Для зміцнення конструкції можна використати декілька аналогічних геодезичних для уявних половинок додекаедра.



Зазначимо, що недавно математики довідалися про нові властивості правильних багатогранників. Американські вчені довели [18], що на додекаедрі існує замкнутий шлях, який починається в одній з вершин і скрізь іде по геодезичній, не заходячи в інші вершини. Авторам вдалося класифікувати всі такі траєкторії. Виявилось, що їх існує нескінченна безліч - і що вони діляться на 31 клас еквівалентності.

Отже, існує велика кількість можливостей закріпити поверхню додекаедра по лініям геодезичних. Це дозволить зміцнити конструкцію оболонки контейнера. Вона має витримати стартові зусилля і напруги фази польоту після старту, а також завдяки розплавленню ліски зруйнуватися після доставки до зони пожежі. Тому поверхню додекаедра доцільно використовувати у якості твердого багатогранника оболонки контейнера.

**Висновки та перспективи.** Статтю присвячено розробці геометричних моделей твердих багатогранних оболонок контейнерів для доставки вогнегасних речовин на значну відстань. Розглянуто моделі твердих оболонок у вигляді ікосододекаедра, складеного з елементів його

граней і закріплених за допомогою спеціальної ліски, а також додекаедра, складеного з однакових половин і закріплених ліскою по геодезичній лінії.

У випадку ікосододекаедра попарне кріплення граней доцільно здійснити за допомогою пристрою типу степлера з використанням міцної і легкоплавкої ліски. Завдяки високій температурі ліска розплавиться і контейнер зруйнується після доставки до зони пожежі.

У випадку додекаедра було складено maple-програму моделювання геодезичної Штейнгауза, яка визначає трасу ліски для скріплення половинок додекаедра. Для зміцнення конструкції можна використати декілька аналогічних геодезичних для уявних половинок додекаедра.

У подальшому слід обрати та дослідити матеріали для виготовлення граней моделей, а також матеріал для міцної, але легкоплавкої ліски (назва умовна) для скріплення моделей.

## Література

1. Царев А.М. Вопросы внешней баллистики полета контейнера для доставки огнетушащих составов в контейнерах методом метания с применением установок пожаротушения стволового типа / А.М Царев., Д.А. Жуйков // *Известия Самарского НЦ РАН*, 2007. Т.9. № 3. С.786 – 795.
2. Царев А.М., Жуйков Д.А. Механика действия перспективных огнетушащих составов в установках пожаротушения стволового типа контейнерной доставки методом метания / *Известия Самарского научного центра РАН*, 2007. Т.9. № 3. С. 771 – 785.
3. Каришин А.В. Применение высокодисперсных порошковых огнетушащих составов в контейнерах для метания в установках пожаротушения стволового типа / А.В. Каришин, А.М. Царев, В.С. Степанюченко / *Известия Самарского НЦРАН*, 2010. Т.12, №1(9). С. 2239-2245.
4. Царев А.М. Стволовые установки пожаротушения контейнерного метания огнетушащих веществ / *Экология и промышленность России*. 2012. № 6. С. 4-9.
5. Ковалев А.А., Калиновский А.А., Хмиров А.Я. Разработка отдельных аспектов контейнерного метода пожаротушения / «Проблемы пожарной безопасности» Сборник научных трудов. Харьков, 2018. № 44, С. 57-69
6. Ларін О.М., Кривошей Б.І., Поліванов О.Г., Ларін О.М. Аналіз використання вогнегасних речовин та способів їх доставки для цілей пожежогасіння / *Комунальне господарство міст*. Харків, 2018, вип. 7 (146) С. 146-150
7. Kutsenko, V. Vanin, A. Naidysh, S. Nazarenko, A. Kalynovskyi, A. Cherniavskyi, O. Shoman, V. Semenova-Kulish, O. Polivanov, E. Sivak Development of a geometrics mode of a new method for delivering extinguishing substances to a distant fire zone / *Eastern-European Journal of*

- Enterprise Technol.* : Applied mechanics. 2020. Vol. 4, No.7. (106) P. 88-102.
8. Constans, E. A lagrangian simulation of the floating-arm trebuchet / *College Mathematics Journal*, 2017. 48(3), 179-187
9. How to Simulate a Trebuchet Part 3: The Floating-Arm Trebuchet URL: <http://www.benchtrophybrid.com/How to Simulate a Trebuchet Part3.pdf>
10. Куценко, Л. М. Калиновський, А. Я. Поліванов, О. Г. Анімаційні ілюстрації до статті "Комп'ютерне моделювання нової технології віддаленої доставки засобів гасіння пожеж" 2020, URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10860>.
11. Куценко Л.М. Геометричне моделювання способу метання для боротьби з пожежами / Л.М. Куценко, А.Я. Калиновський, О.Г. Поліванов / *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Вип. 98. Відп. редактор Ванін В. В. Київ : КНУБА, 2020. С.94-103.
12. Куценко Л.М. Моделювання доставки вогнегасних речовин з використанням контейнерів у вигляді гантелі / Л.М. Куценко, А. Я. Калиновський, І.Ю. Адашевська, І. Б. Шеліхова // *Сучасні проблеми моделювання: збірник наукових праць*. Технічні науки. Мелітополь, 2020. Вип. 20. С.136-143.
13. Калиновський А.Я. Інженерний спосіб моделювання зовнішньої балістики обертово-поступального руху гантелі / *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Вип. 100. Відп. редактор Ванін В. В. Київ: КНУБА, 2021.С. 126-138.
14. Snub dodecahedron From Wikipedia, the free encyclopedia.  
URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Snub\\_dodecahedron](https://en.wikipedia.org/wiki/Snub_dodecahedron)
15. Instructables craft. Making a Snub Dodecahedron  
URL: <https://www.instructables.com/Making-a-Snub-Dodecahedron/>
16. Калиновський А.Я. Розробка моделі контейнера для нового способу доставки вогнегасних речовин / *Сучасні проблеми моделювання: збірник наукових праць*. Технічні науки. Мелітополь 2021. Вип. 21. С. 144-153
17. Додекаедр Штейнгауза. URL: <https://etudes.ru/models/steinhaus-dodecahedron/>.
18. Как математики искали короткие пути по правильным многогранникам. URL: <https://nplus1.ru/material/2020/09/24/dodecahedron>.

### **References**

1. Tsarev A.M. (2007) Mekhanika deystviya perspektivnykh ognetchashchikh sostavov v ustanovkakh pozharotusheniya stvolovogo tipa konteynernoy dostavki metodom metaniya / A.M.Tsarev, D.A. Zhuykov // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2007. T.9. № 3. pp. 771 – 785.
2. Tsarev A.M. (2007) Voprosy vneshney ballistiki poleta konteynera dlya dostavki ognetchashchikh sostavov v konteynerakh metodom metaniya s primeneniem ustanovok pozharotusheniya stvolovogo tipa / A.M.Tsarev,

D.A.Zhuykov // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2007. T. 9. № 3. pp.786 – 795.

3. Karishin A.V. (2007) Resheniye problemy effektivnosti tusheniya pozharov s primeneniym stvolovykh ustanovok konteynernoy dostavki ognetchashchikh veshchestv / A.V.Karishin, A.M.Tsarev, D.A.Zhuykov, G.G. Yakovlev // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2007. Vypusk 4. pp. 72-82.

4. Tsarev A.M. (2012) Stvolovyye ustanovki pozharotusheniya konteynernogo metaniya ognetchashchikh veshchestv [ / A.M. Tsarev // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2012. № 6. pp. 4-9.

5. Kovalev A.A. (2018) Razrabotka otdel'nykh aspektov konteynernogo metoda pozharotusheniya / A.A. Kovalev, A.YA. Kalinovskiy, I.M. Khmirov / *Problemy pozharoy bezopasnosti Sbornik nauchnykh trudov*. Khar'kov, 2018. № 44. pp. 57-69.

6. Larín O.M. (2018) Analíz vikoristannya vognegasnykh rechovin ta sposobiv ikh dostavki dlya tsiley pozhezhogasinnya / O.M.Larín, B.Í.Krivoshey, O.G.Polívanov // *Komunal'ne gospodarstvo míst, Kharkív*, 2018, Vol. 7 (146) - pp. 146-150.

7. Kutsenko, V. Vanin, A. Naidysh, S. Nazarenko, A. Kalynovskyi, A. Cherniavskiy, O. Shoman, V. Semenova-Kulish, O. Polivanov, E. Sivak. Development of a geometrics mode of a new method for delivering extinguishing substances to a distant fire zone / *Eastern-European Journal of Enterprise Technol.: Applied mechanics*. 2020. Vol. 4, No.7. (106) P. 88-102.

8. Constans, E. A lagrangian simulation of the floating-arm trebuchet / *College Mathematics Journal*, 2017. 48(3), 179-187

9. How to Simulate a Trebuchet Part 3: The Floating-Arm Trebuchet URL: [http://www.benchtrophybrid.com/How\\_to\\_Simulate\\_a\\_Trebuchet\\_Part3.pdf](http://www.benchtrophybrid.com/How_to_Simulate_a_Trebuchet_Part3.pdf)

10. Kutsenko, L. M. Kalynovskyi, A. YA. Polivanov, O. H. Animatsiyini ilyustratsiyi do statti "Kompyuterne modelyuvannya novoyi tekhnolohiyi viddalenoyi dostavky zasobiv hasinnya pozhezh" [Elektronnyy resurs] 2020, Rezhym dostupu: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10860>

11. Kutsenko L.M. (2020) Heometrychne modelyuvannya sposobu metannya dlya borotby z pozhezhamy / L.M. Kutsenko, A.YA. Kalynovskyy, O.H. Polivanov / *Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika*. Vol. 98. Vidp. redaktor Vanin V. V. Kyyiv: KNUBA, 2020. C.94-103

12. Kutsenko L.M. (2020) Modelyuvannya dostavky vohnehasnykh rechovin z vykorystannyam konteyneriv u vyhlyadi hanteli / L.M. Kutsenko, A. YA. Kalynovs'kyi, I.YU. Adashevs'ka, I. B. Shelikhova // *Suchasni problemy modelyuvannya: zbirnyk naukovykh prats'*. Tekhnichni nauky. Melitopol', No.20. P.136-143.

13. Kalynovs'kyi A.Y. (2021) Inzhenernyy sposib modelyuvannya zovnishn'oyi balistyky obertovo-postupal'noho rukhu hanteli / *Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika*. №. 100. Vidp. redaktor Vanin V. V. – Kyyiv: KNUBA. pp. 126-138.

14. Snub dodecahedron From Wikipedia, the free encyclopedia.  
URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Snub\\_dodecahedron](https://en.wikipedia.org/wiki/Snub_dodecahedron)
15. Instructables craft. Making a Snub Dodecahedron  
URL: <https://www.instructables.com/Making-a-Snub-Dodecahedron/>
16. Kalynovs'kyi A.Y. (2021) Rozrobka modeli konteynera dlya novoho sposobu dostavky vohnhasnykh rechovyn / A.Y. Kalynovs'kyi // *Suchasni problemy modelyuvannya: zbirnyk naukovykh prats'*. Tekhnichni nauky. Melitopol'. №. 21. pp. 144-153
17. Dodekaedr Shteynhauza. URL: <https://etudes.ru/models/steinhaus-dodecahedron/>
18. Как математику ускылы короткые пути по правыл'ным многохранныкам.  
URL: <https://nplus1.ru/material/2020/09/24/dodecahedron>

**А. Я. Калиновський**

kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1021-5799>

Национальный университет гражданской защиты Украины

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ МНОГОГРАННЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ОГНЕТУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ**

*Предложены геометрические модели контейнеров для доставки огнетушащих веществ в зону пожара, расположенного на значительном расстоянии. Технология транспортировки базируется на механической операции метания. Для этого вещество (например, огнетушащий порошок) помещают в твердую оболочку – специальный контейнер. После доставки к месту пожара контейнер должен разрушиться и высвободить вещество, которое окажет содействие тушению пожара. В существующем способе отдаленной доставки используется контейнер, который имеет форму цилиндра. В этом случае в качестве стартовой установки используется пневматическая пушка. Сложность состоит в том, что для обеспечения устойчивости движения в процессе полета цилиндр должен вращаться вокруг своей оси. Стартовый импульс такому вращению при прохождении цилиндра дулом пневматической пушки обеспечивает «вихревой» поток сжатого воздуха, который сложно коммутировать.*

*Поэтому возникает необходимость разработки новых способов отдаленной доставки огнетушащих веществ в зону пожара путем применения других принципов метания. Среди таких способов внимание привлекает применение требушет-механизмов и импульсных установок. В случае использования требушет-механизмов для контейнеров выбирают*

формы, близкие сферическим. Для импульсных установок (с пиропатронами) целесообразно использовать контейнеры, состоящие из двух сферических емкостей, соединенных стержнем (подобно спортивной гантели). Инициирование вращательно-поступательного движения гантели в вертикальной плоскости при этом осуществляется благодаря действию взрывных импульсов, направленных на каждый ее груз заранее рассчитанными направлениями.

Для применения на практике требует-механизмов или импульсных установок необходимо разработать конструкции оболочек контейнеров. Для этого нужно соединить решения нескольких задач с противоречивыми требованиями. Во-первых, конструкция гантели должна быть прочной и выдержать стартовые усилия и напряжения фазы полета. Во-вторых, конструкция должна обеспечить свое мгновенное разрушение после доставки в зону пожара. И, в-третьих, конструкция гантели должна обеспечить удобную технологию наполнения емкостей огнетушащими веществами. Решения этих задач предлагается осуществить с использованием многогранных тел.

Ключевые слова: многогранные тела; модель Штейнгауза; контейнер гантелеподобной формы; пневматическая пушка.

**Kalynovskyi Andrii**

kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1021-5799>

National University of Civil Defense of Ukraine

## **DEVELOPMENT OF MODELS OF POLYHEDRON CONTAINERS FOR DELIVERY OF FIRE-EXTINGUISHING SUBSTANCES**

*Geometric models of containers for the delivery of extinguishing agents to a fire zone located at a considerable distance are proposed. The transportation technology is based on a mechanical throwing operation. For this, a substance (for example, a fire extinguishing powder) is placed in a hard shell - a special container. After delivery to the fire site, the container must collapse and release a substance that will assist in extinguishing the fire. The existing method of remote delivery uses a container that is in the shape of a cylinder. In this case, a pneumatic gun is used as a launch pad. The difficulty lies in the fact that in order to ensure stability of motion during the flight, the cylinder must rotate around its axis. The starting impulse to such rotation when the barrel passes through the muzzle of the air gun is provided by compressed air flows that are difficult to commute.*

*Therefore, it becomes necessary to develop new methods for the remote delivery of fire extinguishing agents to the fire zone by applying other principles of throwing. Among such methods, attention is drawn to the use of trebuchet mechanisms and impulse installations. In the case of using trebuchet mechanisms for containers, shapes close to spherical are chosen. For impulse*

*installations (with squibs), it is advisable to use containers consisting of two spherical containers connected by a rod (like a sports dumbbell). In this case, the initiation of the rotational-translational movement of the dumbbell in the vertical plane is carried out due to the action of explosive impulses directed at each of its loads in a pre-calculated manner.*

*For practical application of trebuchet mechanisms or impulse installations, it is necessary to develop container shell designs. To do this, you need to combine solutions to several problems with conflicting requirements. First, the construction of the dumbbell must be strong and withstand the starting forces and stresses of the flight phase. Secondly, the structure must ensure its instant destruction after delivery to the fire zone. And, thirdly, the design of the dumbbell should provide a convenient technology for filling containers with fire extinguishing agents. It is proposed to solve this problem using polyhedral bodies.*

*Keywords: polyhedral bodies; Steinhaus model; dumbbell-shaped container; air gun.*