

УДК 514.18 + 614.842

ЗАСТОСУВАННЯ ТРЕБУШЕТ-МЕХАНІЗМА ДЛЯ ДОСТАВКИ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН У РОЗБІРНОМУ КОНТЕЙНЕРІ

Куценко Л. М., д.т.н.,

leokuts@i.ua, ORCID: 0000-0003-1554-8848

Калиновський А. Я., к.т.н.,

kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1021-5799

Сухарькова О. І.,

lena_sukharkova@i.ua, ORCID: 0000-0003-1033-4728

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

Розглянута нова схема доставки вогнегасних речовин в зону пожежі. Технологія транспортування речовин базується на механічній операції метання. Для цього речовину (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 циліндричний контейнер. А в якості стартової установки задіяна пневматична гармата. Складність такої технології дистанційної доставки речовини 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 потоком стисненого повітря, що пов'язано зі складностями його комутації та експлуатації.

Тому виникла необхідність розробки інших «не гарматних» способів метання для доставки вогнегасних речовин в зону пожежі. В даній роботі наведено спосіб, створений за основи металевих установок типу требушет-механізмів. Такі установки відомі ще зі стародавніх часів і принцип дії яких можна модернізувати сучасними технічними засобами.

Для застосування модернізованих требушет-механізмів на практиці необхідно розробити конструкцію контейнера, під оболонкою якого поміщатиметься вогнегасна речовина. Слід враховувати, що зазначена проблема конструювання оболонки буде поєднувати розв'язки декількох задач з взаємно суперечливими вимогами. По-перше, конструкція контейнера повинна бути міцною і витримати як стартові (майже вибухові) зусилля, так і відцентрові напруги різних фаз польоту. По-друге, конструкція повинна забезпечити своє миттєве руйнування після доставки вантажу до зони пожежі. І, по-третє, конструкція контейнера повинна забезпечити зручну технологію наповнення його ємності вогнегасними речовинами. Розв'язання цієї проблеми пропонується здійснити з використанням многогранних тіл типу додекаедра.

Ключові слова: многогранні тіла, многогранна форма контейнеру, механізм требушет, вертикальний рух баласту требушет.

Постановка проблеми. Ліквідація масштабних пожеж пов'язана з двома ключовими моментами – розробкою вогнегасних речовин, а також із способом їх доставки в зону горіння. Але навіть значні успіхи у розробці високоефективних вогнегасних речовин можуть нівелюватися малою ефективністю засобів доставки цих речовин до місця пожежі. У загальному вигляді ідея доставки базується на механічній операції метання. Для цього речовину (вогнегасний порошок) поміщають у спеціальну тверду оболонку – контейнер. Після його доставки до місця пожежі контейнер повинен зруйнуватися і вивільнити речовину - і цим сприяти гасінню пожежі.

Зараз на практиці пожежогасіння використовуються переважно пневматичні гармати, контейнери яких мають форму циліндра. Складність експлуатації таких пристроїв полягає у тому, що для забезпечення стійкості руху в процесі польоту циліндр повинен обертатися навколо своєї осі. Стартовий імпульс осевому обертанню циліндра при проходженні дулом пневматичної гармати 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.

Тому виникла необхідність розробки нових способів віддаленої доставки вогнегасних речовин в зону пожежі шляхом використання інших принципів метання. Серед таких способів нашу увагу привернули металеві пристрої типу требушет-механізмів [1]. Такі механізми відомі ще зі стародавніх часів, які використовувалися у якості зброї для руйнування масивними каменями фортифікаційних споруджень. З врахуванням сучасних матеріалів та технологій зазначені пристрої доцільно модернізувати і використовувати їх в суголосно мирних цілях для боротьби з масштабними пожежами. Модернізацію требушет-механізмів планується здійснити з використанням електротехнічного обладнання.

При використанні требушет-механізмів форму контейнерів бажано обирати близькою до сферичної. На практиці для цього підходять правильні многогранні тіла. Але обрання многогранних тіл у якості контейнерів пов'язане з вирішенням проблеми, яка має поєднати розв'язки декількох технологічних задач з суперечливими вимогами. По-перше, конструкція поверхні наповненого вогнегасною речовиною контейнера повинна бути міцною і витримати майже вибухові стартові зусилля, а також повинна витримати «відцентрові» напруги у різних фазах польоту. По-друге, конструкція поверхні приречена на своє миттєве руйнування після доставки умісту контейнера до зони пожежі та вивільнення вогнегасної речовини. І, по-третє, конструкція контейнера повинна

забезпечити зручну технологію наповнення його ємності вогнегасною речовиною. Також бажано забезпечити багаторазове використання елементів конструкції контейнера в майбутніх пожежах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційний спосіб доставки на велику відстань вогнегасних засобів полягає у використанні пристрою для метання типу пневматичної гармати. Для цього речовину (вогнегасний порошок) поміщають у спеціальну тверду оболонку циліндричної форми (контейнер), який після його доставки до місця пожежі руйнується і вивільняє речовину - і цим сприяє гасінню пожежі. Реальним прикладом такого способу є ствольні установки контейнерної доставки вогнегасних речовин на віддалену відстань. В роботах [2, 3] розглянуто технічні засоби, завдяки яким здійснюється метання циліндричних контейнерів з вогнегасною речовиною. Для забезпечення стійкості руху в процесі польоту циліндр-контейнер повинен обертатися навколо своєї осі. Для розкручування контейнера при проходженні в стволі гармати використовують спеціальну турбіну. Вона повинна бути достатньо потужною, щоб за короткий час розкрутити масивний контейнер. Застосування спеціальної турбіни вимагає постійних профілактичних заходів, а також спеціальних умов зберігання пневматичної гармати. Надійність дії цього пристрою пов'язана з розподілом в турбіні потоку повітря на чотири напрямки. Стиснене повітря стимулює поступальний і обертовий рух контейнера під час його переміщення в стволі гармати. Крім цього виникають вимоги щодо забезпечення герметичності пневматичної частини гармати. Недотримання цих вимог призводить до недостатньої ступені розкрутки масивного контейнера. Тому на прикінцевій фазі польоту циліндричний контейнер може втратити енергію обертання. Плануючий політ циліндра-контейнера утруднює його руйнування при досягненні зони пожежі. Тому контейнери для пневматичних гармат часто додатково забезпечують вибуховими речовинами для їх руйнування. Це ускладнює конструкцію і підвищує небезпеку у разі їх використання.

Також необхідно згадати новітні сферичні вогнегасники (див., наприклад [4]). Але вони мають малу вагу, їх рекомендують кидати до пожежі вручну, тому вони не призначені для «далекобійної» доставки.

Отже, прототипом розглянутого в роботі способу доставки контейнерів будемо вважати пневматичну гармату, доповнену циліндром з вогнегасною речовиною (об'єкт доставки до зони пожежі). Як альтернативу «гарматному способу» доставки вогнегасної речовини в даній роботі пропонується використовувати требушет-механізм в якості стартового пристрою, а також многогранник типу додекаедра як об'єкт доставки. Враховуючи наведене раніше можна стверджувати, що тема роботи, присвячена доставці за допомогою требушет-механізму речовини у розбірному контейнері многогранної форми, буде актуальною.

Формулювання цілей статті. Розробити геометричну модель способу доставки за допомогою требушет-механізму вогнегасної

речовини, поміщеної у розбірний контейнер многогранної форми.

Основна частина. Наведемо головні положення, пов'язані з конструкцією стартової установки тробушет-механізму та об'єкту доставки - роз'ємного контейнера для наповнення вогнегасною речовиною.

1. Тробушет-механізм та шляхи його модернізації.

Серед можливих схем тробушет-механізмів розглянемо геометричну модель конструкції з вертикальним переміщенням вантажу протизваги A (рис. 1). В літературі ця конструкція одержала назву «Floating-Arm Trebuchet». В роботах [5-7] досліджено схему такого варіанту тробушет.

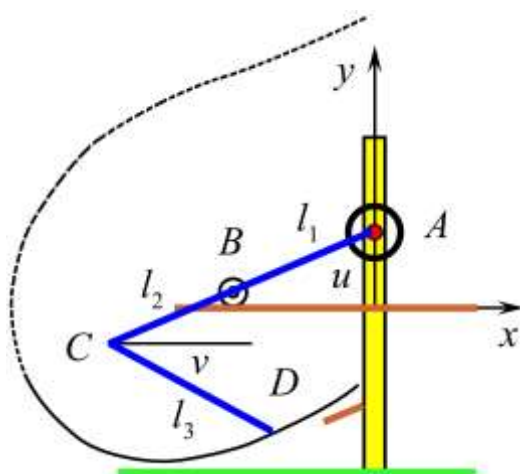


Рис. 1. Схема тробушет-механізму Floating-Arm Trebuchet

Конструкція складається з головного важеля довжиною $l_0=l_1+l_2$, до якого шарнірно прикріплено важіль (або канатна праця) довжиною l_3 . До важелю у вузловій точці A закріплено вантаж протизваги 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 . Протизвага з точкою A повинна рухатися вздовж напрямних опорної стійки під дією гравітації вертикально донизу. При цьому колесо, закріплене на важелі в точці B повинно перекинутися 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 вантажу контейнера до моменту його відриву.

В роботі [1] наведено диференціальні рівняння, розв'язання яких дозволяє розрахувати траєкторію переміщення центра мас вантажу контейнера залежно від параметрів конструкції тробушет. За допомогою складеної програми створено анімаційний фільм дії Floating-Arm Trebuchet, деякі кадри якого наведено на рис. 2.

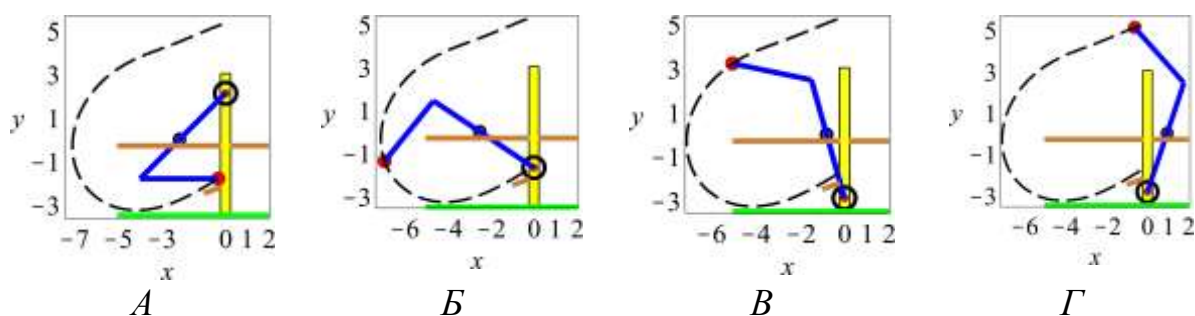


Рис. 2. Кадри анімації одержаних зображень фаз метання:
a – початкової; *б* – поточної; *в* – прикінцевої;
г – в момент відриву вантажу

Особливість розглянутого варіанту требушет-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, як противагу можна використати ємність, наповнену водою безпосередньо на місці (якщо є така можливість).

Сучасна модернізація требушет-механізму буде пов'язана з його оснащенням деяким електромеханічним обладнанням. При цьому для його роботи необхідна напруга, яка надходитиме з мобільної бензинової електростанції.

Функцію масивного (металевого) баласту в гравітаційному полі Землі буде значно підсилено завдяки системі циліндричних електромагнітів зі спільною вертикальною віссю. При належній комутації джерел їх живлення металевому баласту можна надати ривок руху у напрямку вертикально вниз. Тоді вантажу многогранного контейнера надасться прискорення, яке і спричинить ефект метання після його відокремлення від праці. При цьому реальна маса баласту не відіграватиме суттєвої ролі.

Другий ключовий момент модернізації требушет-механізму полягатиме у розробці електромагнітної системи кріплення многогранного контейнера до праці. Таке кріплення має діяти до розрахованого моменту часу відокремлення контейнера від праці. Момент звільнення від праці контейнера можна контролювати з врахуванням інформації, одержаної з датчиків виміру величин кутів механізму.

Не модернізований «класичний» требушет розрахований на метання кам'яних ядер вагою по 50 кг на відстань не менш 200–250 м. Орієнтовні габарити машини - важіль довжиною 10 м, опорна стійка висотою близько 5 м, противага порядку 10 тон [7-9]. Такі параметри були компромісом між ударною міццю й зручністю обтісування вручну й перенесення ядер на носилках. З середньовічних письмових джерел відомо, що правильно побудована й пристріляна машина здатна стійко попадати у квадрат площею 5x5 м. Ця інформація дає надію реалізувати на практиці модернізований требушет-механізм як засіб доставки контейнерів в зону масштабної пожежі.

2. Конструкція роз'ємного контейнера для вогнегасної речовини.

Ефективність розглянутого способу доставки вогнегасної речовини суттєво залежить від контейнера з врахуванням суперечливих вимог до його конструкції. До матеріалу, з якого виготовлена оболонка контейнера, пред'являються особливі вимоги. Вона (оболонка) з одного боку повинна забезпечити необхідну міцність, щоб витримати «імпульсний» старт і фазу польоту многогранника. А з іншого боку - вона повинна бажано миттєво зруйнуватися в зоні пожежі і вивільнити вогнегасну речовину. В роботі наведено варіант розв'язання сформульованої проблеми за умови врахування перерахованим суперечливим вимогам.

Контейнер для доставки вогнегасної речовини пропонується обрати у формі додекаедра. На рис. 3 зображено розгортку додекаедра, виготовлену з листового металу і умовно розділену на дві половини. Необхідно шляхом зварювання металу окремо сформувати дві половини додекаедра у «напівсферичних» виглядах. Перепону між частинами можна не видаляти. Вона допоможе правильно орієнтуватися при поєднанні половинок.

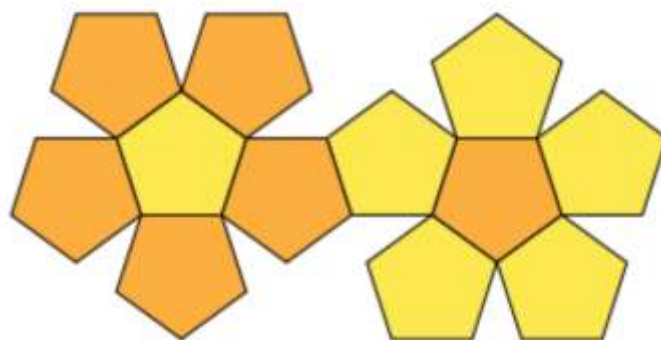


Рис. 3. Розгортка додекаедра

Закріпити половинки додекаедра необхідно з врахуванням поняття його геодезичної лінії. Оберемо геодезичну, яка проходить через всі грані, крім двох протилежних, і яка перпендикулярна відрізку, що з'єднує центри цих двох граней. Ця геодезична визначається «канцелярською» гумкою, яка стягала додекаедр у моделі Штейнгауза [10].

Було складено table- програму для унаочнення моделі роз'ємного контейнера для доставки вогнегасної речовини. На рис. 4 зображено додекаедр, дві половин якого з'єднані по геодезичній лінії (одна з половинок умовно прозора).

Взагалі відомо п'ять різних замкнутих геодезичних на додекаедрі, які само не перетинаються, з яких дві - плоскі. І серед них – геодезична моделі Штейнгауза. На рис. 4 видно плоску геодезичну лінію. Модель додекаедра Штейнгауза доцільно покласти в основу конструювання контейнера для доставки вогнегасних речовин. При цьому ємність додекаедра можна наповнювати розфасованими у пакети вогнегасними речовинами. Склад цих речовин залежатиме від різновидів предметів гасіння.

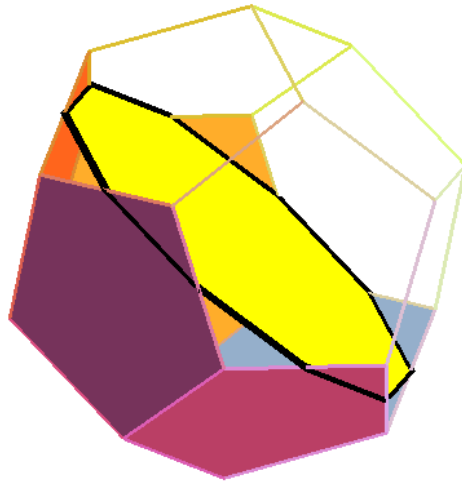


Рис. 4. Зображення додекаедра, дві половин якого з'єднані по геодезичній

Після наповнення ємності додекаедра вогнегасною речовиною об'єднані половинки необхідно «механічно» закріпити одна з одною. Для цього слід використовувати міцну, але легкоплавку ліску (назва умовна). Також можна використати стрічку, виготовлену на основі каучуку, яку необхідно полімеризувати для її набуття необхідної міцності. З метою ідеалізації геометричних моделей вважатимемо що грані моделей виготовлені з матеріалу необхідної товщини та міцності. На рис. 5 зображено контейнер у вигляді «підперезаного» додекаедра, готового до використання.

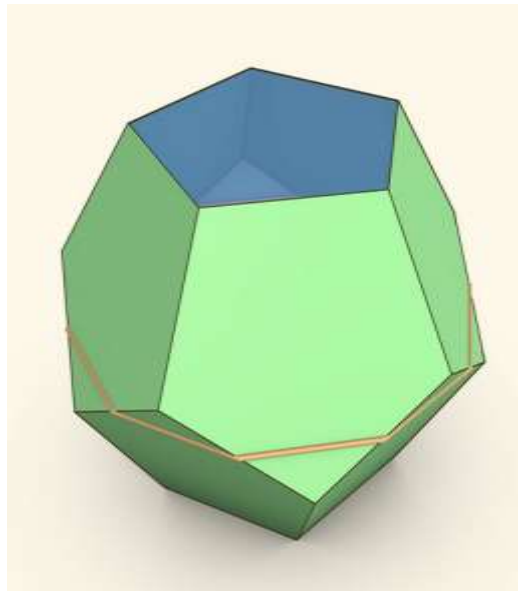


Рис. 5. Контейнер у вигляді «підперезаного» додекаедра, готового до використання.

Отже, розглянутий спосіб гасіння пожежі за допомогою роз'ємного контейнера дозволить здійснити роздільну доставку до зони пожежі необхідну кількість вогнегасних речовин. Наповнені необхідними

речовинами пакети необхідно розмістити в контейнері перед з'єднанням його частин. Наявність різноманітних вогнегасних складових посилює ефект ліквідації пожежі. Увагу привертає використання гелеутворюючих вогнегасних системи. Їх компоненти до осередку горіння слід доставляти роздільно – як водний розчин гелеутворювача та каталізатору гелеутворення. При цьому їх поєднання необхідно здійснювати безпосередньо над зоною «поверхні» горіння. Тоді відбудеться розбавлення пожежі негорючими газами, які утворюються при розкладанні кристалогідратів солей металів. В результаті зазначеного процесу в зоні вогню утворюється ксерогель, який спроможний ізолювати теплозахисним прошарком над «поверхнею» горіння, що суттєво сприятиме гасінню пожежі. Також поєднання речовин при утворенні гексафториду сірки може гасити вогонь. Адже гексафторид сірки в п'ять разів щільніший повітря. Він повинен витіснити інші гази в атмосфері, такі як кисень, а це значить, що він допоможе гасити вогонь.

Висновки. В роботі розглянуто нову технологію гасіння масштабної пожежі яка є альтернативою «гарматному способу» доставки вогнегасної речовини до зони горіння. Вона основана на використанні модернізованого требушет-механізму як стартового пристрою, а також многогранного тіла типу додекаедра як об'єкта доставки вогнегасних речовин до зони пожежі.

Література

1. 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.
2. Каришин А.В., Царев А.М., Степанюченко В.С. Применение высокодисперсных порошковых огнетушащих составов в контейнерах для метания в установках пожаротушения стволового типа. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2010. Т.12, №1(9). С. 2239-2245.
3. Царев А.М. Стволовые установки пожаротушения контейнерного метания огнетушащих веществ. *Экология и промышленность России*. 2012. № 6. С. 4-9.
4. Мяч-огнетушитель, который надо кидать прямо в огонь, 2020. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.iphones.ru/iNotes/veshch-myach-ognetushitel-07-23-2020>
5. Куценко Л.М., Калиновський А.Я., Поліванов О.Г. Геометричне моделювання способу метання для боротьби з пожежами. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Вип. 98. Київ: КНУБА, 2020. С.94-103
6. Куценко, Л. М. Калиновський, А. Я. Поліванов, О. Г. Анімаційні ілюстрації до статті "Комп'ютерне моделювання нової технології

- віддаленої доставки засобів гасіння пожеж" 2020. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10860>
7. Sam Higginbotham. Trebuchet Analysis / December 1, 2014. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://dokumen.tips/download/link/analysis-of-trebuchet>
 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 [Електронний ресурс], Режим доступу: http://www.benchtophybrid.com/How_to_Simulate_a_Trebuchet_Part3.pdf
 10. Штейнгауз Г. Математический калейдоскоп. Рипол Классик, 1981. 158с.

APPLICATION OF THE TREBUCHETT MECHANISM FOR DELIVERY OF FIRE EXTINGUISHING AGENTS IN A COLLAPSIBLE CONTAINER

Kutsenko Leonid, Kalinovsky Andrii, Sukharkova Elena

The considered new scheme for the delivery of substances to the fire zone. The technology of transporting substances is based on the mechanical operation of throwing. To do this, the substance (fire extinguishing powder) is placed in a hard shell - a special container. Upon delivery to the fire site, the container should collapse and release a substance that will assist in extinguishing the fire. The current remote delivery method uses a cylindrical container. And as a launcher, an air gun is used. The complexity of this technology of remote delivery of a substance lies in the fact that in order to ensure the stability of movement during the flight, the cylinder must rotate around its axis. The starting impulse for such rotation when the cylinder passes through the muzzle of an air gun is supplied by a stream of compressed air, which is associated with the difficulties of its switching and operation.

Therefore, it became necessary to develop other "non-cannon" throwing methods for delivering fire extinguishing agents to the fire zone. This paper presents a method created on the basis of throwing installations such as trebuchet mechanisms. Such installations have been known since ancient times and whose actions can be modernized with modern technical means.

To use the modernized trebuchet mechanisms in practice, it is necessary to develop a container design, under the shell of which a fire extinguishing agent will be placed. It should be taken into account that the indicated shell design problem will combine solutions of several problems with mutually contradictory requirements. First, the design of the container must be strong and withstand the starting forces (which are similar to explosive ones), as well as the stresses of different phases of the flight. Secondly, the design must ensure its instantaneous destruction after the delivery of the cargo to the fire zone. And,

thirdly, the design of the container should provide a convenient technology for filling its container with fire extinguishing agents. The solution to this problem is proposed to be implemented using polyhedral bodies of the dodecahedron type.

Key words: polyhedral bodies, polyhedral shape of container, trebuchet mechanism, vertical movement of trebuchet ballast.

Referenses

1. Kutsenko, V. Vanin, A. Naidysh, S. Nazarenko, A. Kalynovskyi, A. Cherniavskyi, O. Shoman, V. Semenova-Kulish, O. Polivanov, E. Sivak. (2020) 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. Vol. 4, No.7. (106) P. 88-102.
2. Karyshyn A.V., Tsarev A.M., Stepanyuchenko V.S. (2010) Prymenenye vysokodispersnykh poroshkovykh ohnetushashchykh sostavov v konteynerakh dlya metannya v ustanovkakh pozharotushenyia stvolovoho typu. *Yzvestyya Samarskoho nauchnoho tsentra RAN*. T.12, №1(9). 2239-2245 [in Russian].
3. Tsarev A.M. (2012) Stvolovye ustanovky pozharotushenyia konteynernoho metannya ohnetushashchykh veshchestv. *Ékologyya y promyshlennost' Rossyy*. № 6. 4-9 [in Russian].
4. Fire extinguisher ball to be thrown directly into the fire (2020) Retrieved from: <https://www.iphones.ru/iNotes/veshch-myach-ognetushitel-07-23-2020> [in Russian].
5. Kutsenko L.M., Kalynovskyy A.Y., Polivanov O.H. (2020) Heometrychne modelyuvannya sposobu metannya dlya borot'by z pozhezhamy. *Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika*. Kyiv: KNUBA. 98. 94-103 [in Ukrainian].
6. Kutsenko, L. M. Kalynovskyy, A. Y. Polivanov, O. H. (2020) Animated illustrations for the article "Computer simulation of a new technology of remote delivery of fire extinguishing agents". Retrieved from: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10860> [in Ukrainian].
7. Sam Higginbotham. Trebuchet Analysis (2014) Retrieved from: <https://dokumen.tips/download/link/analysis-of-trebuchet>
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 Retrieved from: http://www.benchtophybrid.com/How_to_Simulate_a_Trebuchet_Part3.pdf
10. Shteyngauz G. (1981) *Matematicheskiy kaleydoskop*. Ripol Klassik [in Russian].