УДК 514.18 + 614.842

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ТРЕБУШЕТ ДЛЯ ДОСТАВКИ ВОГНЕГАСНОЇ РЕЧОВИНИ ДО ПОЖЕЖІ

Куценко Л. М., д-р. техн. наук,
leokuts@i.ua, ORCID: 0000-0003-1554-8848
Сухарькова О. І.,
lena_sukharkova@i.ua, ORCID: 0000-0003-1033-4728
Національний університет цивільного захисту України (Харків, Україна),
Семенова-Куліш В. В., канд. техн. наук,
semenova.vita.v@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4807-0625
Український державний університет залізничного транспорту (Харків, Україна),
Шеліхова І. Б., канд. техн. наук,
inessa.shelikhova@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5637-1850
Сівак Є. М., канд. техн. наук,
lskolos@i.ua, ORCID: 0000-0002-5526-8544
Національний технічний університет ХПІ (м. Харків, Україна)

Роботу присвячено поясненню способу геометричного моделювання транспортування вогнегасної речовини до зони пожежі, розташованої на значній відстані. Крім лісових, пожежі виникають на територіях із горючими та вибухонебезпечними речовинами, на об'єктах аеродромів, на складах і сховищах різноманітних підприємств.

Для погашення лісових, інших масштабних пожеж за допомогою вогнегасних рідин та бомб призначена пожежна авіація. Дистанційне пожежогасіння застосовує паралельно з вибуховими ударними хвилями гусеничні пожежні машини, які містять резервуари води, засоби її подачі під високим тиском на дуже значну відстань.

У роботі розглянута доцільність нових розробок варіантів механічної стартової конструкції типу требушет, за допомогою якої вогнегасна речовина може бути доставлена дистанційно до місця пожежі. Ідея доставки основана на механічній операції метання. Для цього речовину (наприклад, вогнегасний порошок) поміщають у тверду легкоплавку оболонку – спеціальний контейнер сферичної форми. Після доставки (за допомогою стартового пристрою) до місця пожежі контейнер повинен розплавитися. Вивільнена в результаті цього речовина сприятиме гасінню пожежі. За основу стартового пристрою обрано механічну конструкцію типу требушет.

Зазначений пристрій в стародавні часи використовувався для воєнних цілей. Розглянуто два варіанти требушет. Перший – класичний, «коромислового» типу. Особливість розглянутої в роботі конструкції полягає у можливості використовувати транспортний засіб у якості

масивної противаги, призначеної для надання необхідного прискорення контейнеру сферичної форми. Другий варіант вважається модифікацією класичного требушета, який в літературі називають Floating-Arm Trebuchet. Особливість цієї конструкції полягає у наявності масивної противаги, яка рухається вертикально донизу. До переваг реалізації цього варіанту пристрою слід віднести можливість фіксувати коливання противаги в процесі перевезення.

Для моделювання дії зазначених варіантів требушет обрано системи диференціальних рівнянь, складено програми їх розв'язання, а також наведено приклади одержаних результатів.

Ключові слова: геометричне моделювання, механічний пристрій требушет, сферична форма контейнеру, Floating-Arm Trebuchet.

Постановка проблеми. До масштабних відносять клас пожеж, які характеризуються великими площами займання та значними тепловими випромінюваннями [1]. Ці фактори змушують вживати заходи по ліквідації пожежі з великих відстаней. Масштабні пожежі, крім загальновідомих лісових, виникають на складах і сховищах заводів, територіях підприємств із горючими та вибухонебезпечними речовинами, на об'єктах аеродромів, нафто- і газовидобутку та енергетичних установок, тощо.

У особливих випадках застосовується пожежна авіація. Пожежна авіація призначена для гасіння лісових та інших масштабних пожеж за допомогою вогнегасних рідин та вогнегасних бомб. А також для розпилення реагентів на хмари з метою штучного викликання опадів над зоною горіння. Для сьогодення більш важливими способами віддаленого пожежогасіння є застосування вибухових ударних хвиль [2], а також використання «пожежних танків». Тобто гусеничних пожежних машини, на які встановлені резервуари для води і засоби її подачі під високим тиском на значну відстань. Перелічені засоби віддаленої доставки вогнегасної речовини застосовуються у виняткових випадках. Більш розповсюдженим є спосіб пожежогасіння з використанням пневматичних гармат.

Ліквідація масштабних пожеж пов'язана з двома ключовими моментами – розробкою високоефективних вогнегасник речовин, а також із способами їх доставки в зону горіння. І якщо успіхи у розробках фізико-хімічних складів сучасних вогнегасних речовин не викликають сумнівів, то способи їх доставки в зону горіння ще необхідно удосконалювати. У виняткових випадках масштабних пожеж доставку вогнегасних засобів здійснюють з повітря літаком чи вертольотом, а також застосовуючи важку техніку типу пожежних гармат. Але такі засоби доставки вогнегасних речовин не оперативні і надто коштовні.

Тому доцільними будуть дослідження, пов'язані з розробкою бюджетних доступних технічних засобів боротьби з пожежами. Ідея дистанційного транспортування вогнегасної речовини до зони пожежі

основана на механічній операції метання. Для цього речовину (наприклад, вогнегасний порошок) поміщають у тверду легкоплавку оболонку – спеціальний контейнер сферичної форми. Після доставки його за допомогою стартового пристрою до місця пожежі контейнер повинен зруйнуватися (розплавитися). Вивільнена в результаті цього речовина сприятиме гасінню пожежі.

Актуальними для проблеми гасіння пожеж будуть розробки механічних стартових конструкцій типу требушет. Ці пристрої не містять коштовних деталей, вони достатньо прості у виготовленні, а також достатньо ефективні у застосуванні. Про останнє свідчить їх успішне використання в стародавні часи у якості метальних засобів для руйнування кам'яними брилами стін фортець.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Доставку на велику відстань вогнегасних засобів частіше здійснюють за допомогою пневматичних гармат [3]. Для цього вогнегасний порошок поміщають у спеціальну тверду оболонку – спеціальний контейнер. Для гармат він має форму, подібну циліндру. В процесі польоту циліндр для стійкості його руху повинен обертатися навколо своєї осі. Для розкручування контейнера при проходженні в стволі гарматі використовують спеціальну турбіну. Вона повинна бути достатньо потужною, щоб за короткий час розкрутити масивний контейнер. Складність конструкції турбіни є недоліком застосування пневматичної гармати для гасіння віддалених пожеж.

В роботі [4] розглянуто експериментальний спосіб доставки до віддаленої зони загоряння вогнегасної речовини у контейнері, за формою подібної спортивній гантелі. Завдяки конструкції стартової установки зазначений контейнер має здійснювати обертові рухи до кінця польоту в межах вертикальної площини. Це дозволить використати енергію обертання для руйнування контейнера наприкінці польоту і вивільнення вогнегасної речовини.

Традиційну конструкцію варіантів требушет і способи їх розрахунків розглянуто в роботах [5-7]. В роботах [8, 9] запропоновано модернізацію традиційної конструкції цього механізму. Ідея полягає у можливості використання ваги (маси) транспортного засобу у якості масивної противаги, призначеної для надання корисному вантажеві (контейнеру сферичної форми) необхідного прискорення. Було складено maple-програми унаочнення анімаційної схеми дії зазначеного варіанту требушет. Розвиток конструкції требушет в літературі одержав назву Floating-Arm Trebuchet [10-11]. До особливостей цього варіанту стартового пристрою слід віднести вертикальне переміщення масивної противаги для надання необхідного прискорення контейнеру сферичної форми. В роботі розроблено maple- програми дії геометричної моделі зазначеного требушета. Наведено знайдені прийнятні для застосування комбінації параметрів конструкції.

В результаті огляду літературних джерел були виявлені питання

(переважно алгоритмічного характеру), ще не досліджені іншими авторами. Це дозволило сформулювати наступний напрямок досліджень. Розробити теоретичні основи конструкції механізму требушет для доставки вогнегасної речовини у контейнері до зони віддаленої пожежі. Для забезпечення ефективної динаміки варіантів механізму требушет необхідно розрахувати значення параметрів його елементів. Здійснити зазначене необхідно в рамках механіки Лагранжа, де враховуються кінетична і потенціальна енергії системи. Одержати шукану траєкторію переміщення вантажу на пращі одержати в результаті розв'язання складеного рівняння Лагранжа другого роду. На закінчення необхідно наближено визначити відстань доставки корисного вантажу.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є розробка геометричних моделей варіантів конструкції механізму требушет, коли:

– транспортний засіб обрано в ролі вантажу противаги;

– вантаж противаги переміщується вертикально донизу.

Основна частина. Розглянемо геометричні моделі двох варіантів метальних установок, основаних на схемі дії механізму типу требушет.

1. *Геометрична модель механізму требушет, коли транспортний засіб обрано в ролі вантажу противаги*. В роботах [8, 9] описано модель мобільної метальної установки типу требушет, призначеної для запуску (катапультування) безпілотних літальних апаратів. Аналогічну метальну установку можна використати і для доставки вогнегасної речовини в зону віддаленої пожежі.

Особливість конструкції механізму полягає у використанні у якості противаги транспортного засобу, на якому закріплена метальна установка. Це сприяє мобільності всієї системи метання, яка компактно згортається й може перевозитися транспортним засобом по дорогах загального користування. Для розгортання установки у робочий стан необхідно встановити металеві опори і закріпити на них важіль требушета у вигляді "коромисла". За допомогою електричної лебідки необхідно підняти задню частину транспортного засобу – тобто створити противагу на короткому кінці зазначеного важеля (рис. 1).

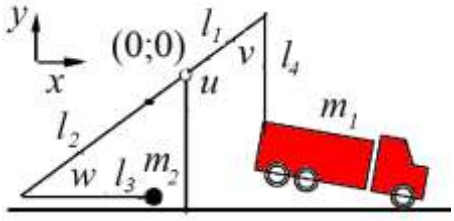


Рис. 1. Схема метальної установка типу требушет, поєднаної з транспортним засобом

Схема конструкції требушет складається з важеля довжиною l_1+l_2 . До нього шарнірно прикріплено важіль довжиною l_3 (який позначає пращу) і довжиною l_4 (позначає важіль кріплення противаги). До важелів у

вузлових точках закріплені вантажі з масами m_1 (автомобіль) і m_2 (контейнер з вогнегасною речовиною). При цьому маса m_1 буде на декілька порядків більшою порівняно з масою m_2. Для визначеності нехай контейнер матиме сферичну форму. При миттєвому опусканні транспортного засобу контейнеру з вогнегасною речовиною буде надано прискорення для метання.

На рис. 1 позначено обрані узагальнені координати механізму требушет – кути u*(t)*, *v(t)* і w*(t)*. Для опису динаміки требушет використаємо вирази для кінетичної *T* і потенціальна P енергій [21–23]:

$$T = -m_2 l_3^2 \frac{du}{dt}\frac{dw}{dt} - m_2 l_3 l_2 \left(\frac{du}{dt}\right)^2 \cos\psi + m_1 l_4^2 \frac{du}{dt}\frac{dv}{dt} +$$
$$0.5 m_1 l_1 \left(\frac{du}{dt}\right)^2 + 0.5 m_2 l_2 \left(\frac{du}{dt}\right)^2 - m_1 l_4 l_1 \frac{du}{dt}\frac{dv}{dt}\cos\varphi -$$
$$m_1 l_4 l_1 \left(\frac{du}{dt}\right)^2 \cos\varphi + m_2 l_3 l_2 \frac{du}{dt}\frac{dw}{dt}\cos\psi + 0.5 m_2 l_3^2 \left(\frac{du}{dt}\right)^2 + \quad (1)$$
$$0.5 m_2 l_3^2 \left(\frac{dw}{dt}\right)^2 + 0.5 m_1 l_4^2 \left(\frac{du}{dt}\right)^2 + 0.5 m_1 l_4^2 \left(\frac{dv}{dt}\right)^2;$$
$$P = -m_1 l_1 g\cos u + m_2 l_2 g\cos u -$$
$$m_2 l_3 \,\mathrm{g}(\cos u\cos w + \sin u\sin w) +$$
$$m_1 l_4 \,\mathrm{g}(\cos u\cos v - \sin u\sin v).$$

Тут u(t) – функція в часі зміни кута відхилення від вертикалі важеля довжиною $L_1 + L_2$, v(t) – функція зміни кута між важелями довжинами L_4 і $L_1 + L_2$, w(t) – функція зміни кута між важелями довжинами L_3 і $L_1 + L_2$, g=9,81.

З використанням лагранжіану L=T–P нами одержано систему диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду у такому вигляді:

$$-m_1 l_1 \,\mathrm{g}\sin u + m_2 l_2 \,\mathrm{g}\sin u - m_2 l_3 \,\mathrm{g}\sin u + m_2 l_3 \,\mathrm{g}\cos u\sin w +$$
$$m_1 l_4 \,\mathrm{g}\sin u\cos v + m_1 l_4 \,\mathrm{g}\cos u\sin v - m_1 l_1^2 \frac{d^2u}{dt^2} + m_1 l_4 l_1 \frac{d^2v}{dt^2}\cos v -$$
$$m_1 l_1 l_4 \left(\frac{dv}{dt}\right)^2 \sin v + 2 m_1 l_1 l_4 \frac{d^2u}{dt^2}\cos v - 2 m_1 l_1 l_4 \frac{du}{dt}\sin v - m_2 l_2^2 \frac{d^2u}{dt^2} +$$
$$2 m_2 l_2 l_3 \frac{d^2u}{dt^2}\cos w - 2 m_2 l_2 l_3 \frac{du}{dt}\frac{dw}{dt}\sin w - m_2 l_2 l_3 \frac{d^2w}{dt^2}\cos w +$$
$$m_2 l_2 l_3 \left(\frac{dw}{dt}\right)^2 \sin w - m_2 l_3^2 \frac{d^2u}{dt^2} + m_2 l_3 \frac{d^2w}{dt^2} - m_1 l_4^2 \frac{d^2v}{dt^2} - m_1 l_4^2 \frac{d^2u}{dt^2} = 0;$$

$$m_2 l_2 l_3 \left(\frac{du}{dt}\right)^2 \sin w - m_2 l_3 \, \mathrm{g} \cos u \sin w +$$
$$m_2 l_3 \, \mathrm{g} \sin u \cos w - m_2 l_2 l_3 \frac{d^2 u}{dt^2} \cos w + \qquad (2)$$
$$m_2 l_3^2 \frac{d^2 u}{dt^2} - m_2 l_3^2 \frac{d^2 w}{dt^2} = 0;$$

$$m_1 l_1 l_4 \left(\frac{du}{dt}\right)^2 \sin v + m_1 l_4 \, \mathrm{g} \cos u \sin v +$$
$$m_1 l_4 \, \mathrm{g} \sin u \cos v + m_1 l_1 l_4 \frac{d^2 u}{dt^2} \cos v -$$
$$m_1 l_4^2 \frac{d^2 u}{dt^2} - m_1 l_4^2 \frac{d^2 v}{dt^2} = 0.$$

Систему рівнянь (2) розв'язано чисельно за допомогою методу Рунге-Кутти у середовищі Maple з такими початковими умовами: *u(0), v(0), w(0)* – початкові значення кутів відхилення важелів; D*u*(0), Dv(0), Dw(0) – початкові швидкості зміни кутів відхилення. Тут і далі згідно синтаксису мови maple вираз, наприклад, Dw(0), означає значення похідної функції w(t) в момент часу t=0. Використовуючи знайдені наближені розв'язки для функцій *u(t), v(t)* і *w(t)* (позначимо їх, відповідно, *U(t) V(t)* і *W(t)*), в декартовій системі координат *xOy* траєкторії переміщення вантажу необхідно будувати за формулами:

$$x(t) = -l_2 \sin(U(t)) + l_3 \sin(U(t) - W(t));$$
$$y(t) = l_2 \cos(U(t)) - l_3 \cos(U(t) - W(t)). \qquad (3)$$

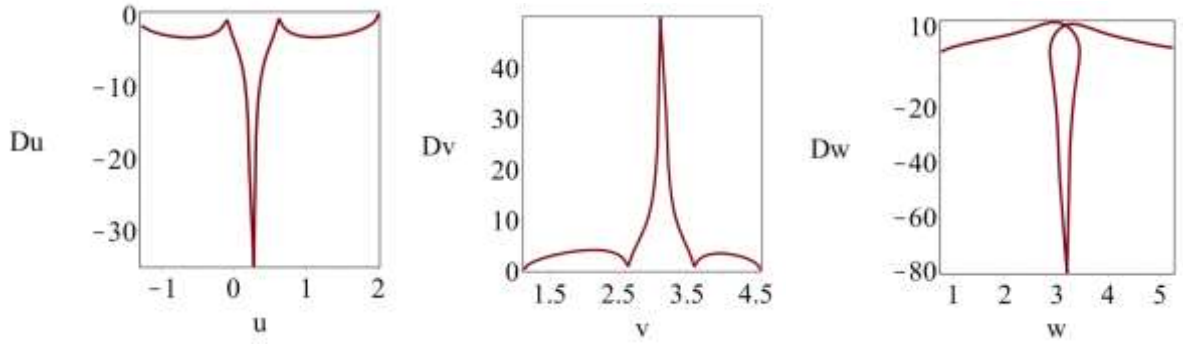
Тобто для певних проміжків часу *t* за допомогою формул (3) можна визначити миттєві координати корисного вантажу в вертикальній площині, де маємо систему декартових координат *xOy*.

У вертикальній площині з системою декартових координат *xOy* за допомогою формул (3) будемо початкову фазу траєкторії переміщення контейнера перед доставкою його в зону пожежі.

Для тестового прикладу обрано такі значення параметрів. Маса автомобіля m_1=4000; маса контейнера m_2=50; значення параметрів: l_1=0.65; l_2=4.2; l_3=2,5; l_4=1,5; значення початкових умов u(0)=Pi/2-2; Du(0)=0; v(0)=2; Dv(0)=0; w(0)=Pi/8; Dw(0)=0, g=9,81. Межі часу інтегрування системи рівнянь (2) 0 < t < 1.25 (всі значення в умовних одиницях).

На рис. 2 наведено фазові траєкторії для функцій узагальнених координат - кутів u*(t), v(t)* і w*(t).* На рис. 3 наведено графіки швидкостей зміни цих кутів. Аналіз фазових траєкторій дозволяє з'ясувати деякі кількісні оцінки процесу катапультування вантажу. А саме, максимальне значення швидкі зміни кута w*(t)* дорівнюватиме w=80 умовних величин,

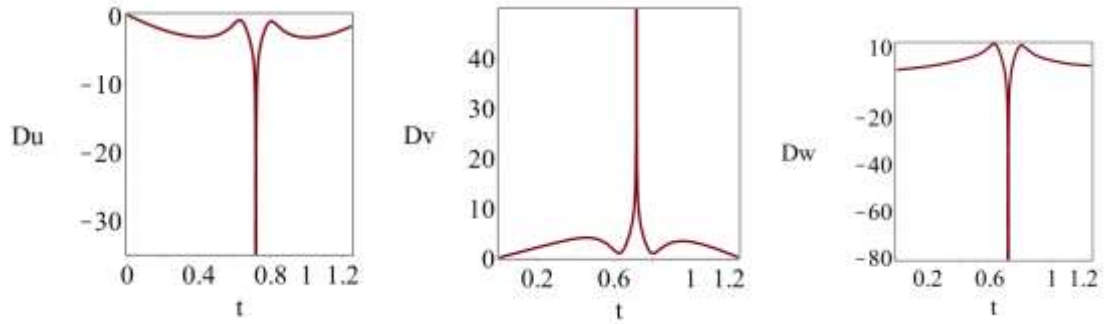
що можна вважати швидкістю контейнера в момент відриву від пращі. Тоді ж екстремальної швидкості досягне і зміна кутів u*(t)* і *v(t)*.



а *б* *в*

Рис. 2. Фазова траєкторія для параметра: а – u(t); б – v(t); в – w(t)

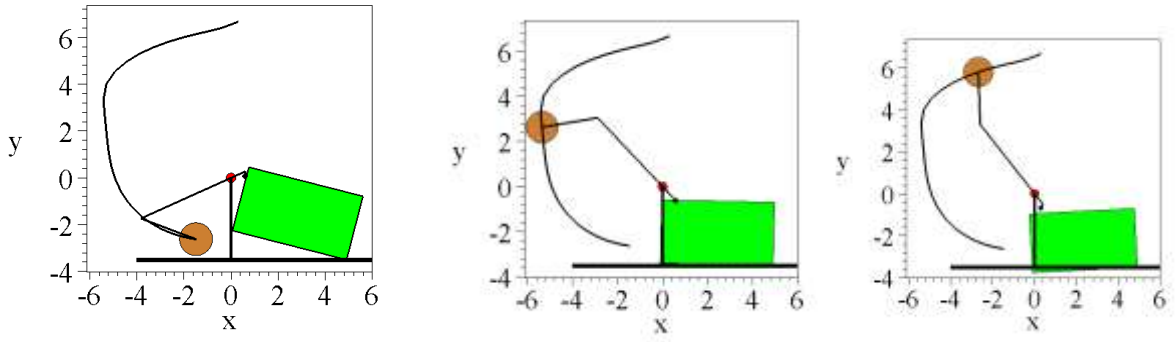
Визначимо момент часу, коли контейнер набуде максимальної швидкості. Для цього необхідно побудувати графік залежності в часі швидкості зміни кута w. На рис. 3, *в* зображено відповідний графік, з якого видно, що максимальна швидкість зміни кута w відбудеться при *t*=0,62, що є рекомендованим моментом відриву контейнера.



а *б* *в*

Рис. 3. Графік зміни швидкостей кутів у часі: а – u(t); б – v(t); в – w(t)

Також можна проілюструвати деякі якісні оцінки процесу катапультування контейнера, у тому числі і визначення кута його вильоту після від'єднання від пращі. Для цього було складено програму побудови кадрів анімаційного фільму схеми дії требушет. На рис. 4, *а–в* наведено окремі фази переміщення його елементів. На рис. 4 зображено траєкторію руху центу маси контейнера. В роботі [12] наведено комп'ютерний анімаційний фільм катапультування контейнера за допомогою транспортного засобу як противаги.



в

Рис. 4. Одержані зображення: а – початкове положення елементів,
б – поточна фаза метання; в – фаза перед моментом відриву вантажу;

Параметри требуше були підібрані так, що кінцева фаза траєкторії руху центру маси контейнера має прямолінійний вигляд (рис. 4). Завдяки цьому можна визначити кут вильоту контейнера в момент від'єднання від пращі. Для цього слід врахувати координати прикінцевих точок траєкторії руху центру мас контейнера.

2. *Геометрична модель механізму требушет, коли вантаж противаги переміщується вертикально донизу*. Ця метальна установка суттєво відрізняється від традиційної конструкції требушет. Головна відмінність полягає у переміщені вантажу противаги вертикально донизу в процесі метання (рис. 5). Розглянутий механізм в літературі одержав назву «Floating-Arm Trebuchet» [10, 11].

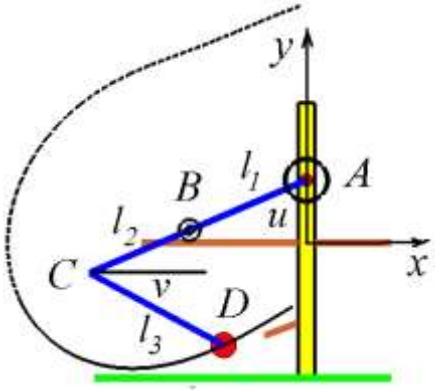


Рис. 5. Схема метального механізму Floating-Arm Trebuchet

Конструкція складається з головного важеля довжиною $l_0=l_1+l_2$, до якого шарнірно прикріплено важіль (або канатна праща) довжиною l_3. До важелю 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 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 пращі.

На рис. 5 зображено систему декартових координат Oxy. В якості узагальнених координат оберемо кути u і v. Вони визначатимуть функції зміни кутів в часі. А саме, зміни кута u(t) відхилення від вертикалі важеля довжиною l_1+l_2. А також зміни кута v(t) між горизонталлю і важелем довжиною l_1+l_2. При цьому позначені точки визначені [27] координатами: $A(x_1,y_1)$; $B(x_2,y_2)$; $C(x_3,y_3)$; $D(x_4,y_4)$, де

$$x_1 = 0; \quad y_1 = l_1 \cos u;$$

$$x_4 = -l_1 \sin u; \quad y_4 = 0;$$

$$\begin{gathered} x_2 = x_4 - l_2 \sin u; \quad y_2 = y_4 - l_2 \cos u; \\ x_3 = x_2 - l_3 \cos v; \quad y_3 = y_2 - l_3 \sin v; \end{gathered} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} x_b &= x_4 - 0.5(l_2 - l_1)\sin u; \\ y_b &= -0.5(l_2 - l_1)\cos u; \end{aligned}$$

$$l_0 = l_1 + l_2$$

Тоді для опису динаміки Floating-Arm Trebuchet необхідно використати вирази для кінетичної T і потенціальної P енергій:

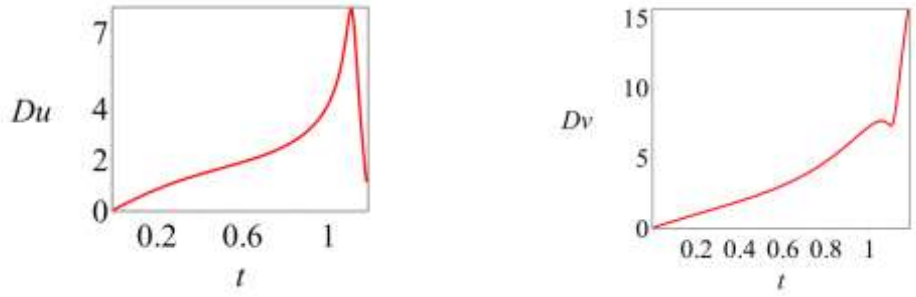
$$\begin{gathered} T = 0.5m_1\dot{y}_1^{\,2} + 0.5m_3\left(\dot{x}_3^{\,2} + \dot{y}_3^{\,2}\right) + 0.5\left(l_0(l_1^2 - l_1l_2 + l_2^2)\dot{u}^2\right); \\ P = 9.81\left(m_1y_1 + m_3y_3 + l_0y_b\right) \end{gathered} \tag{5}$$

За допомогою лагранжіану $L=T–P$ нами складено систему рівнянь Лагранжа другого роду. З причини громіздкості її тут не наводимо. Зазначену систему розв'язуємо чисельно за допомогою методу Рунге-Кутти в середовищі математичного процесора maple. Початкові умови: u0, v0 – початкові значення кутів відхилення важелів; Du(0), Dv(0) – початкові швидкості зміни кутів відхилення. Знайдені наближені розв'язки для функцій *u(t)* і *v(t)* позначимо як *U(t)* і *V(t)*, відповідно. Це можуть бути вирази у вигляді maple-кодів. Тоді траєкторію переміщення вантажу в декартовій системі координат *xOy* необхідно будувати за формулами:

$$\begin{aligned} x_4 &= -l_1 \sin U - l_2 \sin U + l_3 \cos V \\ y_4 &= -l_2 \cos U - l_3 \sin V \end{aligned} \tag{6}$$

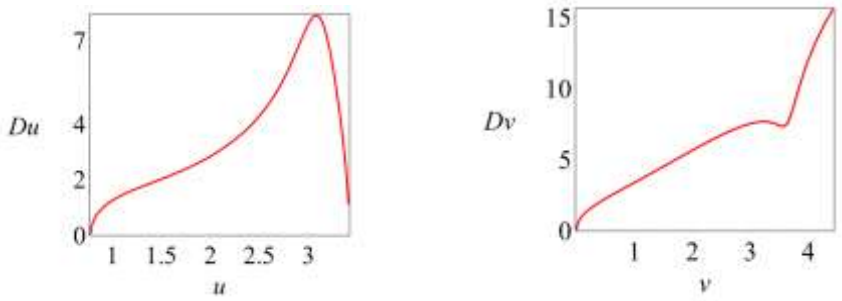
Наведемо тестовий розрахунок моделі Floating-Arm Trebuchet з параметрами m_1=2000; m_2=50; l_1=3; l_2=2,57; l_3=3,6 і з початковими умовами *u(0)*=Pi/4; D*u(0)*=0; *v(0)*=0; D*v(0)*=0. Всі величини в умовних одиницях.

На рис. 6 наведено функціональні залежності від часу швидкості зміни кутів *u(t)* і *v(t).* На рис. 7 зображено фазові траєкторії для кутів *u(t)* і *v(t).* Аналіз графіків дозволяє з'ясувати, що максимальну швидкість зміни кута *u(t)* досягне при значенні t=1,1 і *u*=3,4. В цей момент швидкість зміни кута *v* буде максимальною (біля 12,5 умовних одиниць), що дозволить набути корисному вантажу максимальної швидкості в момент відриву від пращі.



а *б*

Рис. 6. Графіки залежності швидкості для: *а – u(t)*; *б – v(t)*



а *б*

Рис. 7. Фазова траєкторія для параметра: *а* – u(t); *б* – v(t)

На рис. 8 зображено побудовану траєкторію руху центру мас контейнера. За допомогою складеної програми створено [40] анімаційний фільм дії Floating-Arm Trebuchet, деякі кадри якого наведено на рис. 9.

Звертаємо увагу на те, що конструкція Floating-Arm Trebuchet зручна для транспортування, адже вантаж противаги можна зафіксувати на вертикальних напрямних. У якості противаги можна використовувати ємність з водою. Це дозволяє в конструкції Floating-Arm Trebuchet використовувати соленоїд як електромеханічний виконавчий механізм. Він забезпечить надання прискорення масивній противазі, яка в даному випадку буде являтися феромагнітним сердечником, що втягується в соленоїд. Запропонований спосіб планується покласти в основу нової технології пожежогасіння.

Отримані результати можна пояснити можливістю застосувати варіаційний принцип Лагранжа до розрахунку механічних конструкцій з урахуванням кінематичних зв'язків та використанням енергії механічної системи.

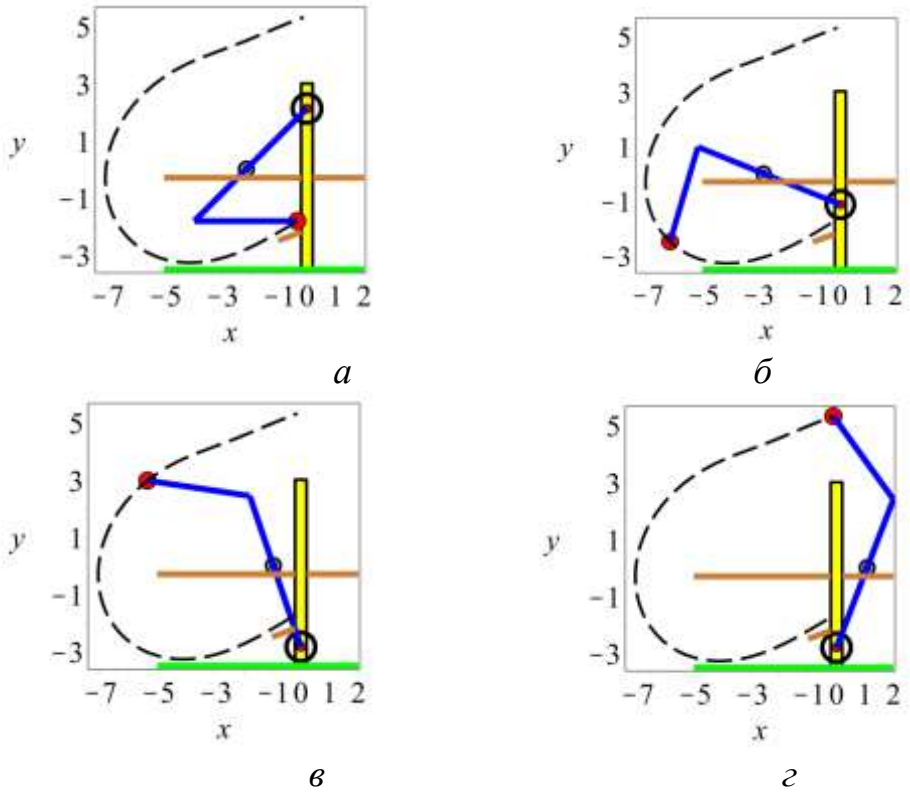


Рис. 8. Одержані зображення фаз метання: *а* – початкової; *б* – поточної; *в* – прикінцевої; *г* – в момент відриву вантажу

В разі подальших досліджень необхідно моделювати рух контейнера з врахуванням опору повітря. Для цього необхідно поєднати результати розв’язання двох системи диференціальних рівнянь. А саме, Лагранжа другого роду та рівнянь руху точкової маси, випущеної під кутом до горизонту. Для впровадження розглянутого способу в реальну практику протипожежних дій необхідно обрати ефективні вогнегасні речовини для доставки в зону пожежі у якості наповнювачів оболонок контейнера. Серед таких речовин можуть бути вогнегасний порошок, твердий двоокис вуглецю й металоорганічні з'єднання, екологічно чистий хладон, тощо. Не зайвим було б розробити апаратну реалізацію далекоміра для визначення відстані до пожежі з одночасним обчисленням необхідних величин параметрів для забезпечення доставки вогнегасної речовини на цю відстань.

Висновки . Спосіб розрахунку доставки вантажів для пожежогасіння на великі відстані пояснено на прикладах двох механізмів требушет: а) коли вантажем противаги є транспортний засіб і б) коли противага переміщується вертикально. Цим закладено основи створення конструкцій требушет для доставки вогнегасної речовини у контейнері до зони віддаленої пожежі. Для забезпечення ефективної динаміки варіантів механізму требушет було розраховано значення параметрів його елементів. Зазначене здійснено в рамках механіки Лагранжа, де враховуються кінетична і потенціальна енергії системи. В результаті розв’язання

складеного рівняння Лагранжа другого роду одержано траєкторію переміщення вантажу перед стартом.

Література

1. Ларін О.М., Кривошей Б.І., Поліванов О.Г. Аналіз використання вогнегасних речовин та способів їх доставки для цілей пожежогасіння. *Комунальне господарство міст*, Харків, 2018, вип. 7 (146). С.146-150.
2. Баланюк, В.М. Пожежогасіння серіями ударних хвиль. *Проблемы пожарной безопасности*. Харків, 2016. № 40 С.26-34.
3. Ковалев А.А., Калиновский А.Я., Хмиров И.М. Разработка отдельных аспектов контейнерного метода пожаротушения. *Проблемы пожарной безопасности:* сборник научных трудов. Харьков, 2018. № 44, С.57-69.
4. Куценко Л.М., Калиновський А.Я., Поліванов О.Г. Геометричне моделювання способу метання для боротьби з пожежами. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Відп. редактор Ванін В.В. Київ: КНУБА, 2020. Вип. 98. С.94-103.
5. Siano D.B. Trebuchet Mechanics. Електронний ресурс. 2013. Режим доступу: http://www.algobeautytreb.com/trebmath356.pdf
6. Mosher A.. Mathematical Model for a Trebuchet. Електронний ресурс. 2009. Режим доступу: https://classes.engineering.wustl.edu/2009/fall/ese251/presentations/(AAM_13)Trebuchet.pdf
7. Rutan S., Wieczorec B. Modern Siege Weapons: Mechanics of the Trebuchet. 2005. Режим доступу: https://mse.redwoods.edu/darnold/math55/DEProj/sp05/bshawn/presentation.pdf
8. Balazs, G. Mobile launching trebuchet for UAVS. 30-th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences. Daejeon, 2016. P.1–7.
9. Balazs, G. UAV innovativ inditasa – korszeru megoldas a kozepkorbol. Repulastudomanyi kozlemenyek. 2015. Vol. 3. P.37–49. Retrieved from: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-03-0229_Gati_Balazs.pdf
10. Constans, E. A lagrangian simulation of the floating-arm trebuchet. *College Mathematics Journal,* 2017. *48*(3), 179-187.
11. How to Simulate a Trebuchet Part 3: The Floating-Arm Trebuchet. Режим доступу: http://www.benchtophybrid.com/How_to_Simulate_a_Trebuchet_Part3.pdf
12. 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

GEOMETRIC MODELING OF A TREBUCHET DEVICE FOR DELIVERY OF FIRE EXTINGUISHING AGENT TO A FIRE

Leonid Kutsenko, Olena Sukharkova, Victoria Semenova-Kulish, Inessa Shelikhova, Elizaveta Sivak

The work is devoted to explaining the method of modeling the delivery of a fire extinguishing agent to a fire zone located at a considerable distance. In addition to forest fires, fires occur in areas with flammable and flammable substances, at airfield facilities, in warehouses and storage facilities of various enterprises.

Firefighting aircraft are designed to extinguish forest and other large-scale fires using fire extinguishing liquids and bombs. Remote fire extinguishing uses, in parallel with explosive shock waves, tracked fire engines that contain reservoirs of water, methods of supplying it under high pressure over a very significant distance.

The paper examines the feasibility of new developments of variants of a mechanical starting structure such as a trebuchet-type, with the help of which fire-extinguishing liquid can be delivered remotely to the site of a fire. The delivery idea is based on the mechanical operation of throwing. To do this, the substance (for example, fire extinguishing powder) is placed in a hard, fusible shell - a special spherical container. After delivering it with the help of a starting device to the fire site, the container must collapse. The substance released as a result will help extinguish the fire. The starting device is based on a mechanical trebuchet-type design.

This device was used for military purposes in ancient times. Two trebuchet options are considered. The first is the classic, "rocker" type. The peculiarity of this design is the ability to use the vehicle as a massive counterweight designed to give the container a spherical shape necessary for acceleration. The second option is considered a modification of the classic trebuchet, and in the literature is called Floating-Arm Trebuchet. The advantages of this version of the starting device include the ability to move the massive counterweight vertically downwards.

To simulate the action of these trebuchet options, systems of differential equations are compiled and examples of the results of their solutions are given.

Keywords: geometric modeling, mechanical trebuchet device, spherical container shape, Floating-Arm Trebuchet.

References

1. Larín O.M., Krivoshey B.Í., Polívanov O.G. (2018). Analysis of the use of fire-extinguishing substances and their delivery methods for fire-fighting

purposes. *Komunalne hospodarstvo mist*, Kharkiv, 7 (146). 146-150 [in Ukrainian].

2. Balanyuk, V.M. (2016). Fire extinguishing with series of shock waves. Problemy pozharnoy bezopasnosty. Kharkiv, 40. 26-34. [in Ukrainian].
3. Kovalev A.A., Kalinovskiy A.YA., Khmirov I.M. (2018). Development of individual aspects of container fire extinguishing method. *Problemy pozharnoy bezopasnosti Sbornik nauchnykh trudov*. Khar'kov. 44, 57-69 [in Russian].
4. Kutsenko L.M., Kalynovskyy A.YA., Polivanov O.H. (2020). Heometrychne modelyuvannya sposobu metannya dlya borotby z pozhezhamy. Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika. 98. 94-103 [in Ukrainian].
5. Siano D.B. (2013). Trebuchet Mechanics. Retrieved from: http://www.algobeautytreb.com/trebmath356.pdf
6. Mosher A. (2009) Mathematical Model for a Trebuchet. Retrieved from: https://classes.engineering.wustl.edu/2009/fall/ese251/presentations/(AAM_13)Trebuchet.pdf
7. Rutan S., Wieczorec B. (2005). Modern Siege Weapons: Mechanics of the Trebuchet. Retrieved from: https://mse.redwoods.edu/darnold/math55/DEProj/sp05/bshawn/presentation.pdf
8. Balazs, G. (2016). Mobile launching trebuchet for UAVS. *30-th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences*. Daejeon, 1–7.
9. Balazs, G. (2015) UAV innovativ inditasa – korszeru megoldas a kozepkorbol. *Repulastudomanyi kozlemenyek*. Vol. 3. 37–49. Retrieved from: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-03-0229_Gati_Balazs.pdf
10. Constans, E. A (2017). Lagrangian simulation of the floating-arm trebuchet. *College Mathematics Journal*, 48(3), 179-187.
11. How to Simulate a Trebuchet Part 3: The Floating-Arm Trebuchet. (2014) Retrieved from: http://www.benchtophybrid.com/How_to_Simulate_a_Trebuchet_Part3.pdf
12. Kutsenko, L. M. Kalynovskyi, A. YA. Polivanov, O. H. (2020). Animated illustrations for the article "Computer simulation of a new technology for remote delivery of fire extinguishing agents". 2020. Retrieved from: http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10860 [in Ukrainian].