

Міністерство освіти і науки України  
Департамент освіти і науки Дніпропетровської облдержадміністрації  
Дніпропетровське територіальне відділення МАН України

Відділення: технічних наук  
Секція: науково-технічна  
творчість та винахідництво

## **КОРИСНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ МЕТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

Роботу виконав:  
Луценко Антон Сергійович,  
учень 11-А класу  
КЗ "Технічний ліцей  
м. Дніпродзержинська"

Науковий керівник:  
Пабат Анатолій Іванович,  
кандидат технічних наук,  
доцент Дніпродзержинського  
державного технічного  
університету.

## ТЕЗИ

### КОРИСНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ МЕТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Роботу виконав Луценко Антон Сергійович, учень 11-А класу

КЗ "Технічний ліцей м. Дніпродзержинська" Дніпродзержинської міської ради

Науковий керівник Пабат Анатолій Іванович, кандидат технічних наук,

доцент кафедри фізики Дніпродзержинського державного технічного університету

Дніпропетровське територіальне відділення МАН України

Розробка має відношення до області озброєння, зокрема до електромагнітних пускових установок, які використовують для прискорення снаряда електродинамічні сили, і може бути використана в системах протиракетної та протиповітряної оборони, а також у складі технологічного і лабораторного устаткування для одержання надвисоких тисків і швидкостей.

Відомий багатоступінчастий лінійний електромагнітний прискорювач соленоїдного типу, який містить феромагнітний снаряд, циліндричний немагнітний ствол із закріпленими на ньому котушками тягових соленоїдів, що мають зовнішні магнітопроводи і засоби комутації ланцюгів живлення по сигналах датчиків положення снаряда. Недоліком такого прискорювача є недостатні енергетичні характеристики внаслідок використання фізично досить обмеженої енергії електродинамічних сил для розгону снаряда з нульової швидкості і використання цієї ж енергії для надання снаряду оберտального руху в процесі розгону.

В основу розробки поставлена задача удосконалення багатоступінчастого лінійного прискорювача, що досягається шляхом застосування нарізного газодинамічного ствола попереднього розгону снаряда від нульової швидкості до 2-4 км/с. Це забезпечує можливість оберտального руху снаряда в процесі розгону в нарізному газодинамічному стволі, ефективне використання енергії електродинамічних сил для досягнення швидкості 5-8 км/с та збільшення енергетичних характеристик лінійного прискорювача.

## ЗМІСТ

Вступ . . . . .	4
Основна частина . . . . .	5
1. Постановка задачі досліджень . . . . .	5
2. Результати роботи . . . . .	6
Висновки . . . . .	9

## ВСТУП

Розробка має відношення до області озброєння, зокрема до електромагнітних пускових установок, які використовують для прискорення снаряда електродинамічні сили і може бути використана в системах протиракетної та протиповітряної оборони, а також у складі технологічного і лабораторного устаткування для одержання надвисоких тисків і швидкостей.

В даний час для розгону тіла, що метається, у системах електромагнітних прискорювачів широко використовується струмопровідний плазмовий поршень, в обсязі якого виникає пандеромоторна сила  $\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B} [\frac{H}{m^2}]$  як результат взаємодії магнітного поля електричного струму, що протікає по рейках прискорювача, з електричним струмом у плазмі. Дія цієї сили передається на тіло, що метається. Однак у кінетичну енергію переходить лише частина енергії магнітного поля. Це пояснюється тим, що в плазмовому поршні виникають складні конвективні потоки і формуються магнітогідродинамічні вихори. Унаслідок цього знижується складова пандеромоторної сили, спрямованої на тіло, що метається, і збільшується хаотична складова (тепловий рух атомних часток), тобто частина енергії магнітного поля витрачається на нагрівання плазми. При цьому швидкість тіла, що метається, знижується в порівнянні з розрахунковою величиною. Отже, ефективність перетворення енергії визначається, поряд з іншими факторами, і оптимальною організацією плазмового поршня електродинамічної установки.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 1. Постановка задачі досліджень

На основі цього рішення побудована електромагнітна установка Carpel. Установка містить імпульсне джерело струму, з'єднане струмопровідними лініями з комутуючим пристроєм, і рейковий прискорювач, що включає струмопровідні рейки і міжрейкові ізолятори, укладені в силову оболонку, а тіло, що метається, має отвір, вісь якого лежить у площині струмопровідних рейок і перпендикулярно їм. Відомі дослідження установки Carpel у помірних режимах. Так, наприклад, найбільш "жорсткий" режим: ємність конденсаторної батареї  $C = 6000$  мкФ, напруга  $U_0 = 6$  кВ, енергозапас  $W_0 = 108$  кДж. При цьому основна увага приділялася питанням міцності і працездатності тіла, що метається. Це пояснюється тим, що плазмовий поршень існує в замкнутому обсязі - в отворі тіла, що метається. При цьому працездатність установки Carpel визначалася здатністю тіла витримувати газовий тиск із боку плазмового поршня. Значення межі міцності на розрив для діелектричних матеріалів, потенційно придатних для виготовлення тіла, що метається, не перевищує  $0,4109$  МПа. Тому установка Carpel не працездатна в області великих енергетичних навантажень, наприклад, при енергозапасі  $W_0 \approx 1$  МДж. Отже, задача підвищення енергетичних характеристик є досить актуальною.

Наприклад, в електродинамічній металевій установці, що включає імпульсне джерело струму, з'єднане струмопровідними лініями з комутуючим пристроєм, і рейковий прискорювач, що включає струмопровідні рейки і міжрейкові ізолятори, укладені в силову оболонку. Тіло, що метається, має отвір, вісь якого лежить у площині струмопровідних рейок і перпендикулярна їм, а хвостова частина тіла виконана у виді пластини, з'єднаної з головною частиною за допомогою опорних елементів з утворенням отвору між частинами тіла і опорними елементами.

Відомий також багатоступінчастий лінійний електромагнітний прискорювач соленоїдного типу, який містить досить міцний феромагнітний снаряд,

циліндричний немагнітний ствол із співвісно закріпленими на ньому котушками тягових соленоїдів, що мають зовнішні магнітопроводи і засоби комутації ланцюгів живлення по сигналах датчиків положення снаряда. Циліндричний снаряд містить поглиблення у виді подовжніх каналів, а внутрішні отвори в магнітопроводах виконані з виїмками, розташованими протилежно поглибленням у снаряді, причому виїмки в магнітопроводах сусідніх котушок розташовані з відносним кутовим зсувом у кілька градусів. Це забезпечує при лінійному прискоренні снаряда його осьове обертання за рахунок створення нерівномірності магнітного поля в площині обертання снаряда ( патент РФ № 2258885, F41B6/00, 2005) .

Недоліком багатоступінчастого лінійного прискорювача є недостатні енергетичні характеристики унаслідок використання фізично досить обмеженої енергії електродинамічних сил для розгону снаряда з нульової початкової швидкості і використання цієї ж енергії для додання снаряду обертального руху в процесі розгону.

## 2. Результати роботи

Отже, для підвищення енергетичних характеристик установки доцільно попередній розгін тіла, що метається, здійснювати за рахунок інших видів енергії, а електродинамічні сили використовувати для досягнення субкосмічних швидкостей снаряду. Дійсно, навіть при використанні у якості вибухової речовини пороху, снаряд можливо розігнати до швидкості 1,5-2 км/с при енергії  $2 \cdot 10^6$  Дж, а при використанні воднево-кисневого палива – до 4 км/с при енергії  $8 \cdot 10^6$  Дж. Сучасні корабельні електродинамічні установки при ємності конденсаторів 10 000 мкФ і граничній напрузі 50 кВ мають енергію  $10 - 12 \cdot 10^6$  Дж і здатні розігнати снаряд до швидкості 5 км/с. Пропонована нами установка при використанні вибухової речовини забезпечує розгін снаряда до швидкості 5 км/с вже за енергії  $2 - 4 \cdot 10^6$  Дж, а за максимальних  $10 - 12 \cdot 10^6$  Дж – розгін до швидкості  $\approx 7$  км/с, недосяжної при

використанні звичайних лінійних прискорювачів, проте достатньої для використання в системах протиракетної та протиповітряної оборони.

В основу розробки поставлена задача удосконалення багатоступінчастого лінійного прискорювача шляхом застосування нарізного газодинамічного ствола попереднього розгону снаряда від нульової швидкості до 2-4 км/с, що забезпечує можливість обертального руху снаряда в процесі розгону в нарізному газодинамічному стволі, ефективне використання енергії електродинамічних сил для досягнення швидкості 5-8 км/с та збільшення енергетичних характеристик лінійного прискорювача.

Поставлена задача досягається тим, що електродинамічна метальна установка, яка містить багатоступінчастий лінійний електромагнітний прискорювач соленоїдного типу, феромагнітний снаряд, циліндричний немагнітний ствол із співвісно закріпленими на ньому котушками тягових соленоїдів, що мають зовнішні магнітопроводи і засоби комутації ланцюгів живлення за сигналами датчиків положення снаряда, додатково обладнана розташованим співвісно нарізним газодинамічним стволом попереднього розгону та осьового обертання снаряда.

Використання розташованого співвісно газодинамічного ствола попереднього розгону снаряда забезпечує:

- попередній розгін снаряда до швидкості 2 – 4 км/с без використання електричної енергії;
- осьове обертання снаряда в процесі попереднього розгону.
- збільшення енергетичних характеристик електродинамічної метальної установка, оскільки подальший розгін снаряда за рахунок електродинамічних сил здійснюється не з нульової, а досить високої швидкості снаряда.

Будова електродинамічної метальної установки представлена на рис.1.

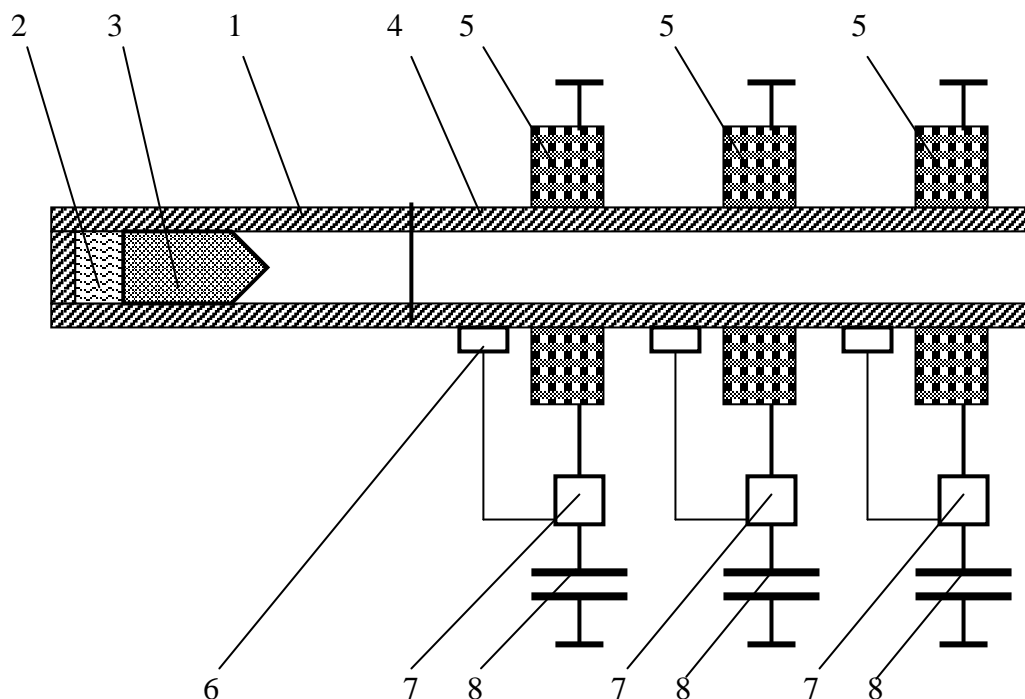


Рис.1. Будова електродинамічної металльної установки

Електродинамічна металльна установка містить співвісний нарізний газодинамічний ствол (1), у якому розташована вибухова речовина (2) і феромагнітний снаряд (3). Немагнітний ствол (4) містить співвісно закріплені на ньому котушки тягових соленоїдів (5), датчики положення снаряда (6), силові комутатори (7) і накопичувальні конденсатори (8).

Працює електродинамічна металльна установка в такий спосіб.

При вибуху вибухової речовини (2) газ, що розширюється, здійснює попередній розгін снаряда (3) у газодинамічному стволі (1) до швидкості 2-4 км/с, яка визначається складом використовуваної вибухової речовини, наприклад, пороху. При досягненні снарядом немагнітного ствола (4) за сигналами датчика положення снаряда 6 замикається силовий комутатор (7), відбувається розряд накопичувального конденсатора (8) через котушку тягового соленоїда (5) і подальший розгін снаряда (3) забезпечується за рахунок енергії електродинамічних сил. При подальшому русі снаряда (3) за сигналами датчиків положення снаряда (6) силові комутатори (7) вмикають наступні котушки соленоїдів (5) та здійснюється подальший розгін снаряда до швидкості 5-8 км/с.



## ВИСНОВКИ

Таким чином, запропонована електродинамічна метальна установка дійсно забезпечує збільшення енергетичних характеристик багатоступінчастого лінійного прискорювача за допомогою застосування попереднього розгону снаряда від нульової швидкості до 2-4 км/с з додаванням йому обертального руху в процесі розгону в газодинамічному стволі з наступним розгоном до швидкості 5-8 км/с за рахунок електродинамічних сил. Це забезпечує ефективне використання енергії електромагнітних сил для досягнення більшої швидкості снаряда, достатньої для використання в системах протиракетної і протиповітряної оборони.