

# ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ПРИСКОРЕННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ТІЛ ДО ВИСОКИХ ШВИДКОСТЕЙ

Райчев П.О., магістрант, Васьковський Ю.М., д.т.н., професор  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

**Вступ.** На сьогоднішній день існують два основних способи прискорення електропровідних тіл: рейковий та індукційний. Кожен з них має свої переваги і недоліки, і свої області практичного застосування. Беззаперечно одне – обидва пристрої мають потенціал для використання в ВПК і космічних програмах, тобто, в одних з найважливіших напрямків розвитку людства в цілому.

**Мета роботи.** Порівняльний опис двох методів прискорення, аналіз фізики процесів і найпоширеніших проблем, які виникають в ході проектування прискорювачів на базі кожного з описаних принципів дії.

**Матеріали та результати досліджень.** Рейковий прискорювач являє собою пристрій для прискорення надмалих мас до надвисоких швидкостей. В основі принципу роботи рейкового прискорювача (РП) лежить сила Ампера, що виникає внаслідок взаємодії струму в прискорюваному тілі з магнітним полем струмопровідних рейок. Напрямок дії сили Ампера визначається напрямком струму в прискорюваному провіднику (рис. 1).

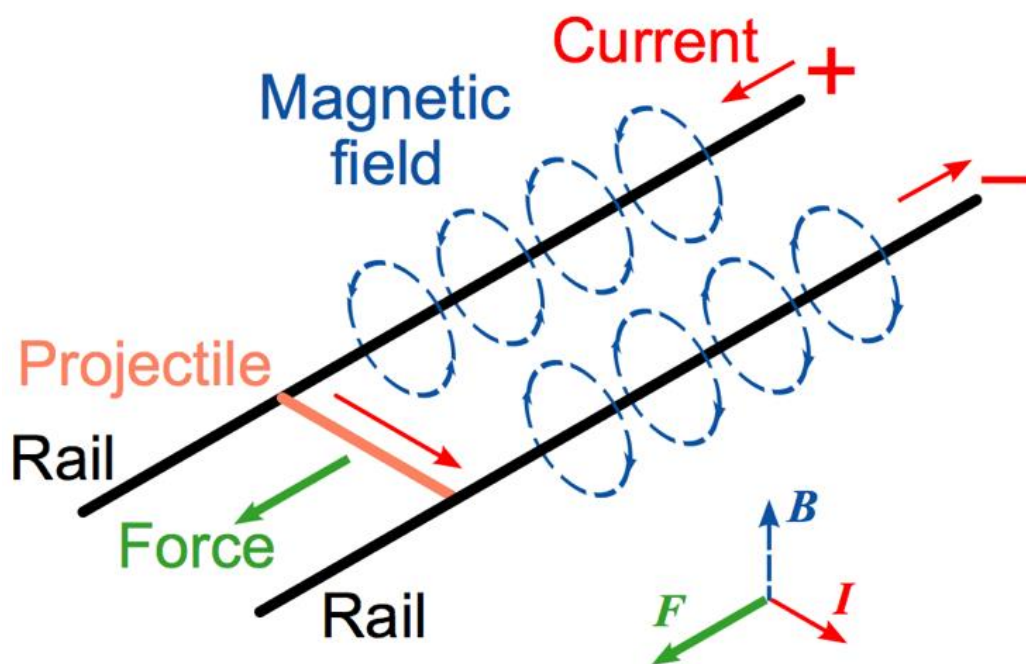


Рисунок 1 – Напрямок дії сили Ампера

Величина сили, що діє на снаряд, пропорційна квадрату струму, і швидкості зміни індуктивності системи під час прискорення:

$$F_a = I^2 * \frac{\partial L}{\partial x} \quad (1)$$

Для забезпечення максимальної ефективності, імпульс струму повинен мати максимально крутий фронт, мінімальну тривалість, і максимально допустиму, з урахуванням механічної і теплової стійкості системи після пострілу, амплітуду. В якості джерела живлення, зазвичай, використовуються батареї конденсаторів високої напруги. ККД РП знаходиться в межах 0.1...0.5, і залежить від провідності системи, і загальної потужності. Основне джерело втрат – активний опір рейок і снаряда, що призводить до суттєвого нагрівання системи в ході пострілу, що призводить також до швидкого зносу рейок. Внаслідок значних електродинамічних зусиль, що виникають при пострілі, рейки потребують надійної фіксації, загалом, це ускладнює експлуатацію прискорювача. На сьогоднішній день розробки прискорювачів для військових потреб ведуться в США (з 2005 року)[1] і РФ, РП планують використовувати в якості головного калібру корабельної артилерії, авіаційних артилерійських систем (gunship), і в якості прискорювачів для доставки вантажів на орбіту. На даний час відомі рейкові прискорювачі США, що досягають енергії 32МДж, до 2025р планується досягнення енергії 64 МДж [1].

Індукційний прискорювач (ІП) є принципово відмінним від РП пристроєм. Елементарний прискорювач складається з не пов'язаних між собою електрично соленоїда, і електропровідного снаряда. Принцип роботи ІП полягає в прискоренні електропровідного тіла за рахунок взаємодії поля вихрових струмів, що наводяться в снаряді, з імпульсним магнітним полем соленоїда (рис. 2).

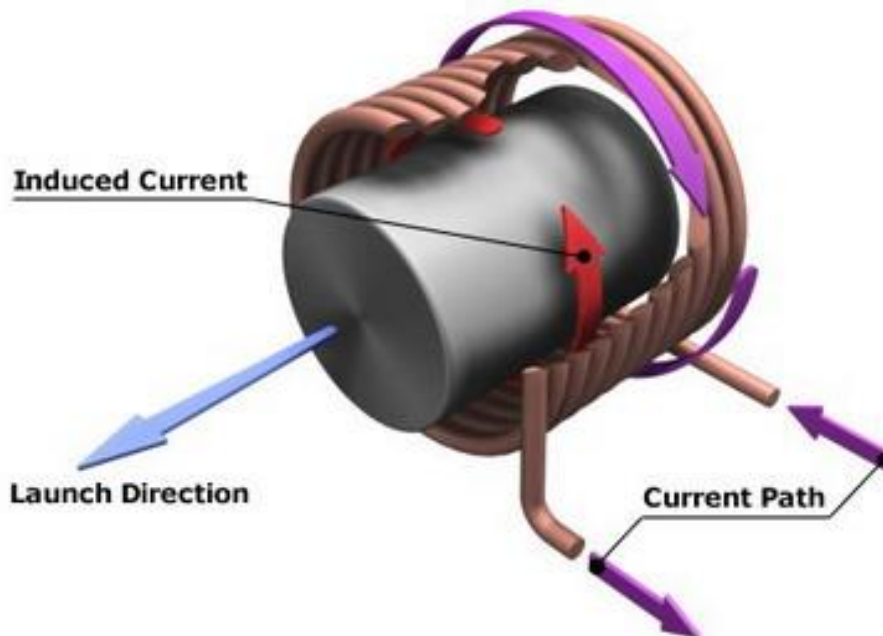


Рисунок 2 – Принцип дії ІП

Величина сили, що діє на прискорюване тіло, визначається величиною вихрових струмів, струму соленоїда, і швидкістю зміни поточкозчеплення між снарядом і соленоїдом:

$$F_a = I_s * I_a * \frac{\partial M}{\partial x} \quad (2)$$

де:  $I_s$  – струм соленоїда,  $I_a$  – струм в прискорюваному тілі,  $M$  – потокозчеплення соленоїда з прискорюваним тілом.

Основною умовою ефективного прискорення є нульова індукція в соленоїді при виході снаряду з нього, що забезпечується підбором ємності джерела живлення (конденсатора), і точним позиціонуванням снаряда в соленоїді до пуску [2]. Для досягнення задовільної швидкості снаряда, необхідно використання декількох соленоїдів, що послідовно прискорюють тіло. Така система потребує суттєвих розрахунків часу включення, параметрів кожного соленоїда, ємності кожного окремого джерела, а також, схеми управління. Ситуацію ускладнює те, що ємність конденсаторів, що використовуються у якості імпульсного джерела живлення, не є фіксованою, і може коливатись в межах  $\pm 10-20\%$  від номінальної, що унеможливує розрахунок з достатньою точністю. Це доповнюється нижчим ККД, ніж у РП. Разом з тим, ІІ має ряд переваг над рейковим прискорювачем, такі, як відсутність ковзного контакту, суттєво менші електродинамічні зусилля в системі, і менші теплові втрати. Наслідком цього є довговічність і компактність. Науково – дослідні роботи з проектування і практичного застосування ІІ на даний час не ведуться, або є засекреченими.

**Висновки.** Електродинамічні прискорювачі мають ряд переваг над вогнепальними аналогами і крилатими ракетами, а саме:

1. Найнижча вартість пострілу.
2. Відсутність обмеження по вихідній швидкості і кінетичній енергії снаряду.
3. Неможливість детонації боезапасу.
4. Можливість ведення вогню без демаскування позиції.
5. Найбільша простота виготовлення снаряда.

Разом з тим, електродинамічні прискорювачі не набули значного поширення в оборонних і космічних системах у зв'язку з значними габаритами, потребі в потужному джерелі живлення, і ненадійністю. Тому, можна виділити основні проблеми для вирішення в ході розробки електродинамічних прискорювачів обох типів. Це – підвищення провідності всіх електропровідних частин, зменшення габаритів джерел живлення, і зменшення загальної інерційності систем прискорення. Окремо, для рейкових прискорювачів існує проблема недовговічності рейок у зв'язку з їх швидким зносом в ході роботи, що може бути вирішена використанням інноваційних матеріалів з значною теплопровідністю, систем охолодження, і модернізацією конструкції прискорювача.

#### Перелік посилань

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Railgun>
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Coilgun>