

УДК 631.312.021: 519.876.5

М.Я. Сташків, канд. техн. наук, доц.; Р.О. Булаєнко, асп.; І.М. Борис, асп.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДИСКРЕТНО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОРПУСУ ВІДВАЛЬНОГО ПЛУГА З ҐРУНТОМ

M. Stashkiv, Ph.D, Assoc. Prof.; R. Bulaienko; I. Borys
**DISCRETE ELEMENT MODELING MOLDBOARD PLOW BODY INTERACTION
WITH SOIL**

Однією із найважливіших техніко-експлуатаційних характеристик сільськогосподарських машин є тяговий опір – сила реакції ґрунту при переміщенні машини чи знаряддя. Тяговий опір сільськогосподарського агрегату залежить від багатьох параметрів, таких як властивості оброблюваного матеріалу, форма та стан робочих органів, швидкість руху агрегату тощо.

Тяговий опір плугів залежить від типу, фізико-механічних властивостей і вологості ґрунту, захараченості його рослинними рештками, глибини оранки, ширини захвату плуга, форми і стану робочої поверхні полиці і лемеша, маси та швидкості руху плуга.

Традиційно, для визначення тягового опору сільськогосподарського знаряддя використовують теоретичні та експериментальні підходи. В рамках теоретичного підходу використовують аналітичні та емпіричні методи для визначення сил реакції ґрунту.

Аналітичний метод – це метод аналізу граничної рівноваги ґрунту, що базується на фундаментальних законах фізики. За цим методом створюються різноманітні моделі руйнування ґрунту, які дозволяють аналізувати напруження та деформації, характерні для ґрунту (зсув, стиснення та пластична поведінка).

Емпіричний метод дослідження базується на розробленні прогнозних рівнянь на основі результатів ряду експериментальних досліджень, проведених для конкретних умов, таких як структура ґрунту, його щільність та вологість, площа борозни тощо.

Дослідження за допомогою польових випробувань мають перевагу в тому, що вони найповніше відображають фактичне польове середовище, але мають і багато недоліків, таких як вартість системи приладів, великі затрати часу та робочої сили, низька відтворюваність, обмеження простору та вплив природнокліматичних умов.

Доволі ефективними є напівнатурні випробування, які проводяться в тестовому середовищі ґрунтового каналу. Перевагою такого виду експериментальних досліджень є легкий контроль параметрів ґрунту та умов випробувань. Однак такі випробування не повністю відображають фактичне польове середовище.

З кінця ХХ сторіччя постійно зростає інтерес дослідників до аналізу взаємодії ґрунту та ґрунтообробних знарядь на основі моделювання за допомогою чисельних методів, як альтернативи існуючим методам в галузі сільськогосподарської техніки. Рівень обчислювальної продуктивності сучасної комп'ютерної техніки дозволяє проводити дослідження сил обробітку ґрунту за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке реалізує метод дискретних елементів (DEM).

Для моделювання взаємодії корпусу плуга з ґрунтом створено CAD – модель малогабаритного відвального плуга з шириною захвату одного корпусу 220 мм та DEM – модель ґрунтового середовища з габаритними розмірами 3×0,5×0,3 м (рис.1). Ґрунт моделювали сферичними дискретними елементами діаметром 10 мм з питомою щільністю 1250 кг/м³, що відповідає ущільненим орним ґрунтам.

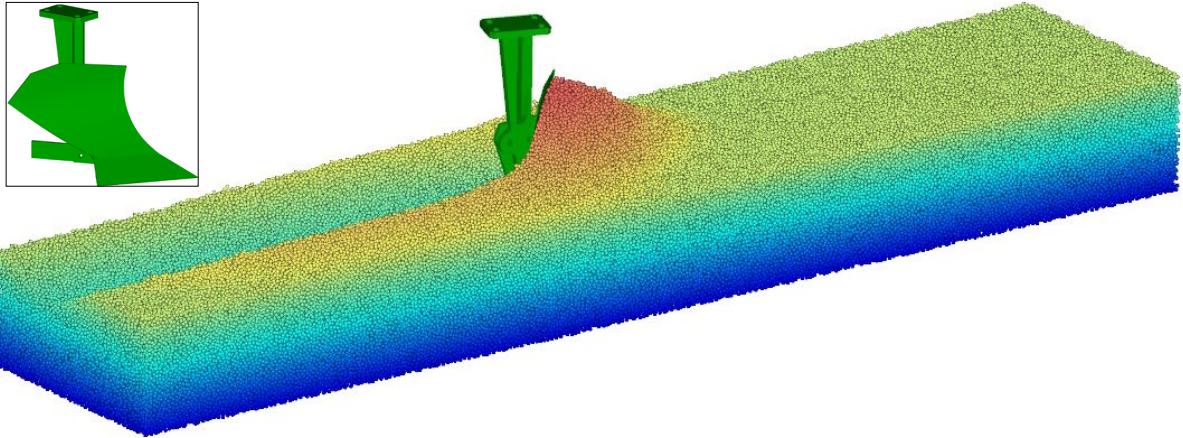


Рис. 1 - DEM – модель взаємодії корпусу плуга з ґрунтом

Моделювання проводилось для наступних параметрів: ширина захвату $B=220$ мм, глибина оранки $a=150$ мм, швидкість руху $v=1,4$ м/с (5 км/год). Час моделювання – 3 с.

Результати дискретно-елементного моделювання взаємодії корпусу відвального плуга з ґрунтом показано на рис. 2.

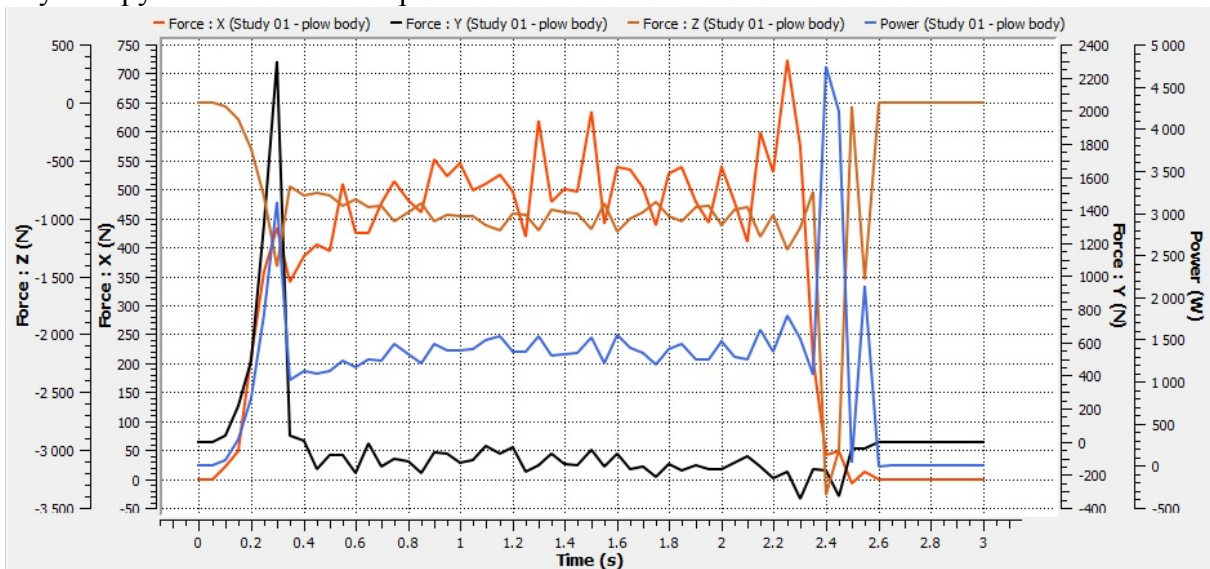


Рис. 2 – Результати дискретно-елементного моделювання

За результатами моделювання отримано наступні значення зусиль (середня частина графіків на рис. 2): поздовжня сила (сила тягового опору) $F_z \approx 1000$ Н, сила поперечного зміщення $F_x \approx 500$ Н, вертикальна сила $F_y \approx 180$ Н. Отримане значення споживаної потужності $W \approx 1400$ Вт.

Теоретичне значення тягового опору корпусу плуга можна визначити за спрощеною формулою

$$F = B \cdot a \cdot k,$$

де k – питомий тяговий опір корпусу плуга, Н/м². Для середніх ґрунтів мінімальне значення $k = 35\,000$ Н/м².

Відповідно, теоретичне значення тягового опору F та споживаної потужності W корпусу плуга становлять:

$$F = 0.22 \cdot 0.15 \cdot 35000 = 1155 \text{ Н};$$

$$W = F \cdot v = 1155 \cdot 1.4 = 1617 \text{ Вт}.$$

Результати дискретно-елементного моделювання відрізняються від теоретичних значень тягового опору та споживаної потужності приблизно на 13%.