

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВОЇ СИМУЛЯЦІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ МАСООБМІНУ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

M.Ya Stashkiv, Ph.D., Assoc. Prof.; I.M. Pidgurskyi, Ph.D., Assoc. Prof., A.Y. Matviishyn, Ph.D., Assoc. Prof.

APPLICATION OF DIGITAL SIMULATION FOR RESEARCH OF MASS TRANSFER PROCESSES IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Підвищення ефективності виробництва сільськогосподарської продукції тісно пов'язано з необхідністю дослідження як особливостей агротехнологічних процесів так і конструкції та оптимальних параметрів обладнання, яке забезпечує їх виконання.

Особливістю практично будь-якого виробничого сільськогосподарського процесу є взаємодія частинок різного розміру та форми між собою та з робочими поверхнями обладнання, що потенційно впливає на якість продукту або його структурну цілісність.

На практиці для дослідження таких процесів використовують різні аналітичні, емпіричні та числові методи, найпоширенішими з яких є метод скінченних елементів (МСЕ або FEM – Finite Element Method) з використанням плоских та об'ємних елементів для вирішення задач механіки та гідрогазодинаміки (задач масо- та теплопереносу), метод дискретних елементів (МДЕ або DEM – Discrete Element Method) та метод гідродинаміки згладжених частинок (SPH – Smoothed Particle Hydrodynamics) для дослідження поведінки систем з сипким середовищем.

SPH та DEM, на відміну від FEM, не використовують розбиття досліджуваного об'єкту на сітку елементів, а розглядають сипке середовище як набір окремих частинок. Метод SPH більше підходить для моделювання взаємодії частинок в потоках рідини чи газу, тоді як DEM забезпечує широкі можливості дослідження процесів подрібнення матеріалу чи об'єднання частинок та їх взаємодії між собою і з робочими поверхнями елементів обладнання.

DEM як засіб, що дозволяє врахувати ключові аспекти роботи з сипким середовищем, було запропоновано ще у 70-их роках ХХ століття авторами P. Cundall та O. Strack на основі принципу молекулярної динаміки (пізніше можливості цього методу суттєво розширили та доповнили).

На даний час існує доволі велика кількість програмного забезпечення, що реалізує різноманітні інструменти на базі DEM і призначене для моделювання поведінки частин сипкого матеріалу різноманітної форми та розмірів. Воно забезпечує виконання великомасштабного високореалістичного моделювання на базі законів Ньютона та контактної механіки з отриманням результатів на основі статистики взаємодії окремих частинок та геометричних моделей елементів конструкцій в будь-який момент часу, та дозволяє дізнатися, як насправді працюють як окремі вузли, так і система в цілому.

Особливого поширення таке програмне забезпечення набуло у останні роки, що пов'язано із збільшенням доступності потужних багатоядерних (багатопотокових) центральних процесорів (CPU) та підвищенням ефективності графічних процесорів (GPU) відеокарт комп'ютерів. Деяке програмне забезпечення дозволяє реалізувати режим multi-GPU (використання для розрахунку графічних ядер декількох відеокарт), що дозволяє суттєво збільшити кількість модельованих контактів.

Підвищення розрахункових потужностей обчислювальної техніки значно скоротило затрати часу на отримання результатів обчислення побудованих імітаційних моделей з використанням DEM (від сотень до десятків, або і декількох годин, в залежності від параметрів моделі).

Основними факторами, що впливають на тривалість розрахунку, є: кількість дискретних елементів (частинок) в моделі; кількість фасеток (поверхонь з яких складаються тверді тіла) в частинках та геометрії обладнання; інтенсивність та тривалість досліджуваного процесу; застосування функцій зношування, адгезії та подрібнення; застосування багатофазного моделювання.

Для зменшення тривалості розрахунку доцільно у моделях дискретних елементів застосовувати такі спрощення: збільшення кількості великих частин у гранулометричному складі («відсікання» нижньої границі розмірів частинок); застосування сферичних частинок замість частинок реальної конфігурації; застосування «сухого» процесу; використання функції періодичних границь.

Задачі моделювання сипкого середовища з використанням DEM: підвищення ефективності роботи обладнання та комплексних установок; аналіз причин простоювання обладнання: виявлення «вузьких місць» технологічних ліній («зависання» матеріалу, локальне зношування); усунення втрат матеріалу через просипання та пилевиділення; підбір конструктивних та режимних параметрів при модернізації обладнання; дослідження складної поведінки матеріалу, спостереження за яким в реальному часі є неможливим.

Практично для усього програмного забезпечення, що дозволяє реалізувати DEM, порядок розрахунку, як правило, наступний: підготовка геометрії в будь-якій зовнішній CAD – системі; вибір спрощень моделі; побудова фізичної моделі об'єкта та процесу; налаштування та запуск процесу розв'язку; обробка результатів.

Приклад моделювання процесу переміщення сипкого матеріалу (пелет) шнековим транспортером показано на рис. 1, де кольором відображено значення швидкості руху частинок, а на графіку виведено характер зміни у часі крутного моменту на роторі.

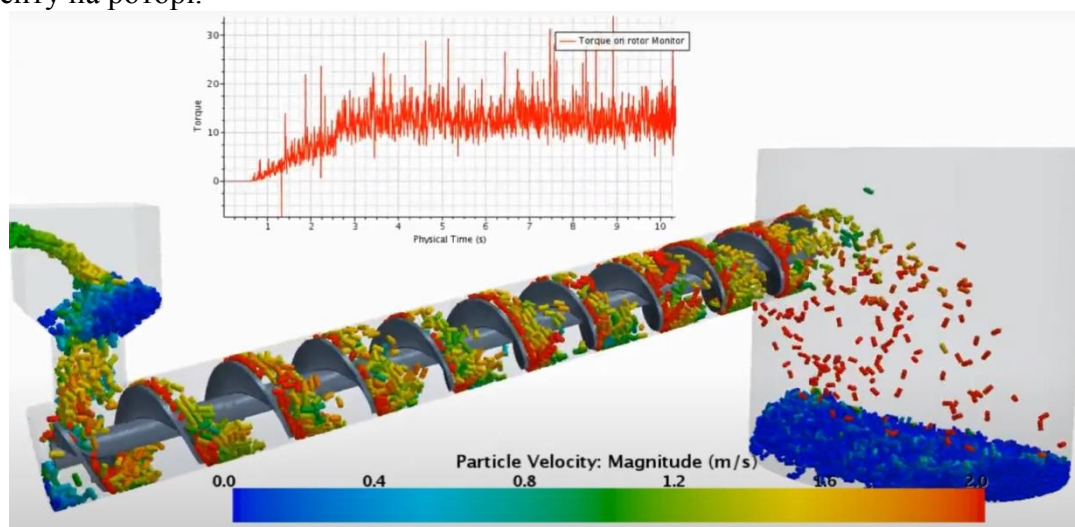


Рис. 1. Результати моделювання процесу переміщення сипкого матеріалу

Застосування DEM у поєднанні з розрахунками на міцність та аналізом гідрогазодинамічних процесів ще на ранніх етапах проектування засобів механізації сільськогосподарського виробництва забезпечує широкі можливості підвищення якості продукції, оптимізації виробничих процесів та дозволяє відмовитись від високовартісної та працемісткої процедури фізичного тестування обладнання.