DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2-67-77
УДК 004.942: 621.926.4

О. В. Соломка[1], канд. техн. наук ORCID: 0000-0002-3997-4270
О. М. Ачкевич[1], канд. техн. наук ORCID: 0000-0001-9878-6563
В. І. Ачкевич[1], канд. техн. наук ORCID: 0000-0002-1537-6997
[1] *Національний університет біоресурсів і природокористування України*
e-mail: oleksiisolomka@gmail.com, тел.: +380632558249

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Анотація. У статті розглянуто застосування систем автоматизованого проектування в галузевому машинобудуванні, а також, як саме CAD/CAM/CAE-системи перетворюють сільськогосподарське машинобудування, надаючи інженерам та виробникам інструменти для створення більш сучасної, продуктивної та конкурентоспроможної техніки. Розглянуто роль цих систем у вдосконаленні технологічності, дизайну, виробництва та тестування сільськогосподарських машин, а також їх вплив на якість та продуктивність в аграрному секторі на прикладі методики дослідження руху зернового матеріалу в камері ротаційного подрібнювача та його контактної взаємодії з робочими органами ротаційного подрібнювача, що безпосередньо впливає на процес подрібнення, його якість та енергозатрати.

Ключові слова: CAD-системи, CAE-системи, САПР, SolidWorks, SolidWorks Simulation, SolidWorks Motion, 3D-модель, ротаційний подрібнювач зернових матеріалів.

Постановка проблеми. Сільське господарство - це достатньо широка та вимоглива галузь світового господарства, яка динамічно розвивається з роками, адаптуючи сільськогосподарську техніку та технології до зростаючих потреб світового населення [11]. Сучасне сільськогосподарське машинобудування, наповнене вимогами до продуктивності, ефективності та сталого розвитку, стає більш складним та інноваційним завдяки розширенню використання систем графічного проектування (CAD), інженерних розрахунків, аналізу і симуляції фізичних процесів (CAE) та комп'ютерного управління виробництвом (CAM) [21, 24, 25].

На сучасному етапі досить актуальним є питання підвищення ефективності використання та зниження енергомісткості технологічного обладнання для переробки зернових матеріалів. Пошук і втілення у виробництво нових рішень стримується рядом як

© Соломка О. В., Ачкевич О. М., Ачкевич В. І., 2023

об’єктивних, так і суб’єктивних факторів. Одним з таких факторів є відсутність необхідних даних про механічні властивості зернових матеріалів, в першу чергу, про властивості, що визначають показники їх міцності [12].

Аналіз останніх досліджень. Подрібнення зернових матеріалів на частки фіксованих розмірів з мінімально можливим вмістом пиловидної фракції є найбільш важливою та енергоємною операцією технологічного процесу виробництва комбікормів.

Враховуючи, що зернові матеріали споживаються переважно в подрібненому вигляді [2, 13], а витрати енергії на їх подрібнення в сумі загальних витрат становлять від 30% до 70% [4], то вибір способу подрібнення і типу подрібнювача, а також визначення його раціональних параметрів та режимів роботи з врахуванням фізико-механічних властивостей конкретної зернової культури суттєво впливають на ефективність процесу в цілому. Також варто зазначити, що для оптимізації процесу важливе значення має чітке дотримання вимог до стану готового продукту, бо надмірне подрібнення зернового матеріалу призводить до зростання енергозатрат і утворення значної кількості пиловидної фракції, яка погано засвоюється тваринами [12, 14].

Формулювання мети статті (постановка завдання). Розробка методики дослідження технології роботи сільськогосподарських машин на прикладі дослідження руху зернини в камері ротаційного подрібнювача та аналіз результатів її зіткнення з робочими органами подрібнювача з застосуванням системи автоматизованого проектування SolidWorks.

Основна частина. Застосування CAD/CAM/CAE систем при розробці ротаційних подрібнювачів зерна для приготування кормів тварин відкриває широкі можливості для покращення ефективності та продуктивності цієї важливої сільськогосподарської техніки [].

CAD системи дозволяють інженерам створювати детальні 3D-моделі сільськогосподарської техніки. Це сприяє оптимізації форм та розмірів пристроїв для досягнення максимальної продуктивності та зниження матеріаломісткості конструкції і споживання енергії.

CAE (Computer-Aided Engineering) системи дозволяють проводити аналіз міцності, динамічних та теплових характеристик ротаційних подрібнювачів. Це важливо для забезпечення довговічності та надійності обладнання в умовах високого навантаження.

CAD/CAM/CAE системи дозволяють віртуально тестувати різні конфігурації сільськогосподарської техніки перед фізичним виготовленням прототипів. Це допомагає заощадити час і кошти на дорогі фізичні експерименти.

CAM системи допомагають програмувати верстати з числовим керуванням (CNC) для виготовлення точних та складних деталей.

Незалежно від способу дії робочого органу на матеріал і виду деформації, на процес подрібнення впливають, в першу чергу, властивості зерна, що характеризують його спроможність чинити опір руйнуванню під дією зовнішніх механічних сил (міцність). Ці властивості коливаються в широких межах і залежать від культури, сорту, вологості, розмірів зернини та ступеня її дозрівання, а також способу прикладання механічного навантаження (удар, стискання, стирання і т.д.).

В межах даного дослідження виконаємо проектування та розглянемо розроблену раніше конструкцію ротаційного подрібнювача зернових матеріалів [12].

При створенні 3D-моделі виробу сучасні системи автоматизованого проектування дозволяють використовувати широкий спектр інструментів і технологій. Основним робочим органом запропонованої конструкції є бильний елемент, який виготовляється з кутника стандартного сортаменту, який доступний на металобазах. Для створення в CAD-системі моделі даного виробу використовуємо операцію витягування поперечного перерізу. Другою операцією створення моделі є додавання отворів з зенківкою для кріплення бильного елементу за допомогою гвинтів з потайною головкою (рис. 1).

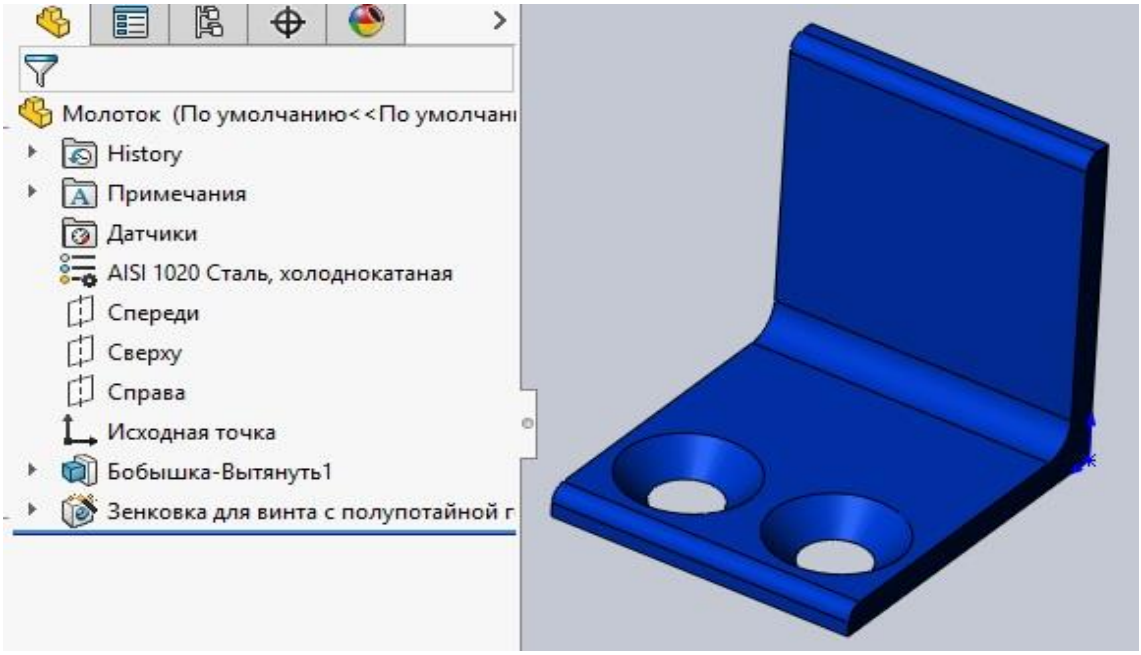

Рис. 1. Бильний елемент ротаційного подрібнювача зернових матеріалів

Змодельовані бильні елементи прикріплюються до диску, який обертається. У розробленій конструкції ротаційного подрібнювача зернових матеріалів диск з бильними елементами встановлюється безпосередньо на вал електродвигуна. Також у запропонованій конструкції передбачено регулювання частоти обертання диску подрібнювача за допомогою застосування частотного перетворювача для керування електродвигуном. Це дозволяє змінювати швидкість руху бильних елементів, що значно впливає на такі показники подрібненого зернового матеріалу, як модуль помелу, однорідність фракційного складу, вміст пиловидної фракції тощо [9, 12].

3D-модель диску створюємо операцією обертання профілю навколо осі. Після цього до моделі додаємо фаски і операцією вирізання розташовуємо кріпильні отвори для бильного елементу. Конструкцією передбачено, що на диску розташовуються 6 бильних елементів, тому за допомогою операції масиву елементів по колу виконуємо копіювання кріпильних отворів (рис. 2).

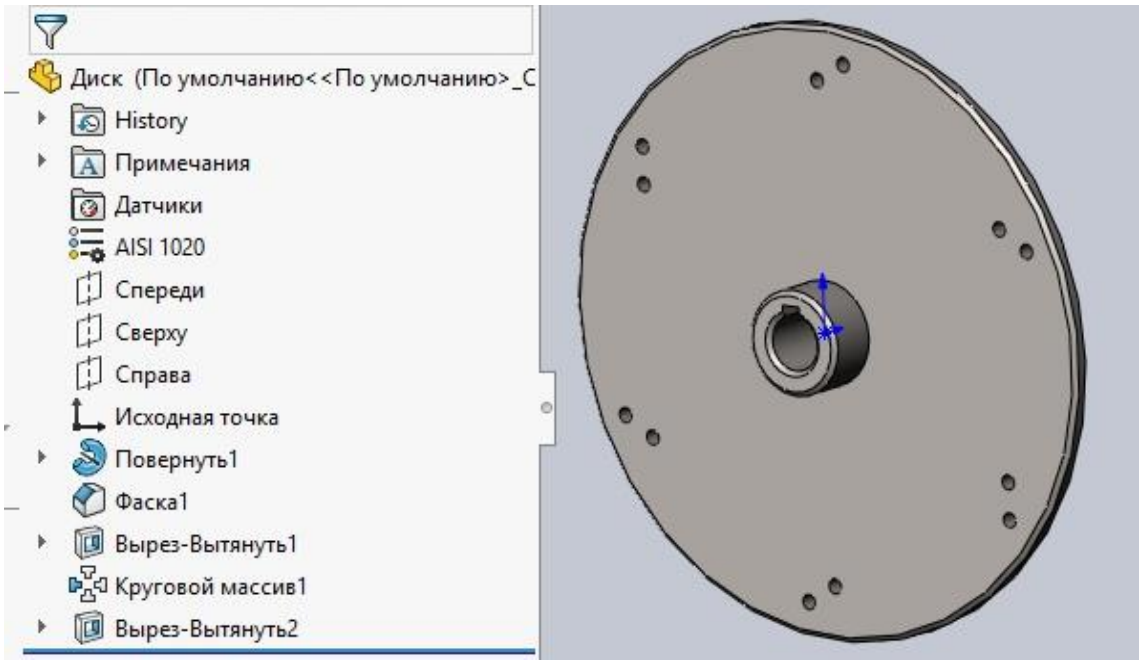

Рис. 2. Ротаційних диск подрібнювача зернових матеріалів

Всі елементи конструкції розміщуються в 6-гранному корпусі подрібнювача. Виготовити його можливо з окремих елементів або, за наявності відповідного оснащення, з листової сталі методом згинання. Саме останній метод і застосовано в межах даного дослідження. Для цього потрібно створити базовий елемент, а потім додати відповідні кромки. Після цього потрібно додати отвори для кріплень, вивантажувальне вікно і отвір для валу приводу диску подрібнювача. При застосуванні методу 3D-моделювання з листового матеріалу

система в будь який момент дозволяє перейти до відображення розгортки майбутньої деталі (рис. 3).

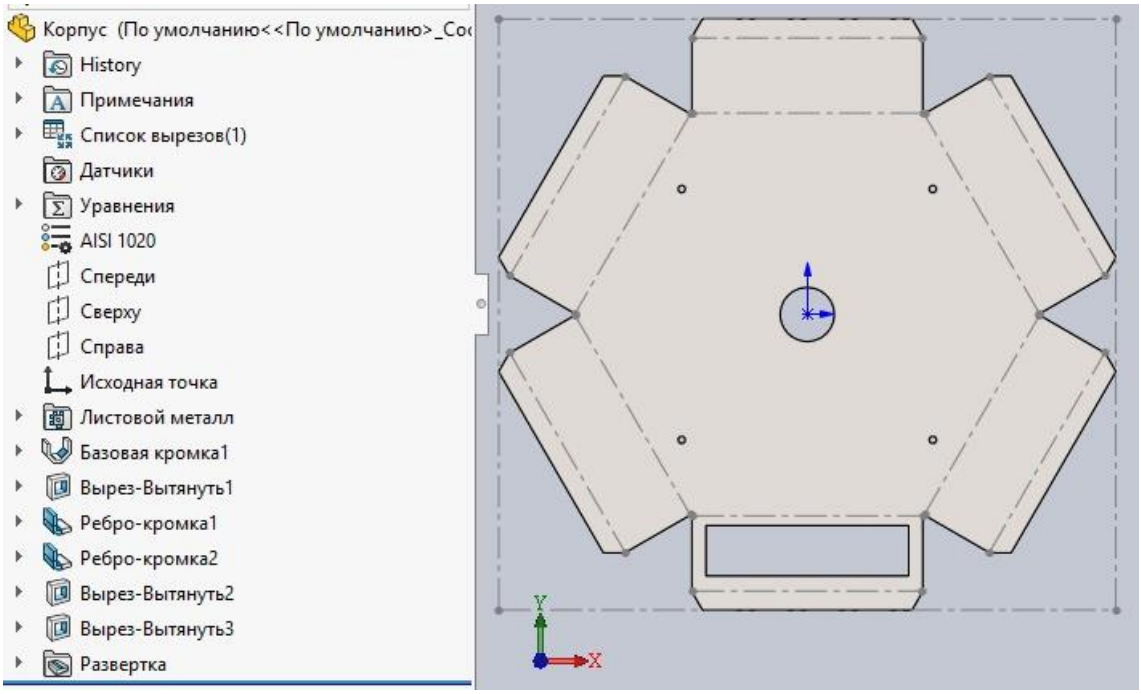

Рис. 3. Розгортка корпусу ротаційного подрібнювача

Обмежують камеру подрібнення решета (рис. 4) та ребристі деки (рис. 5), які встановлюються в корпусі навколо ротаційної частини подрібнювача. Для моделювання даних елементів застосовано інструменти витягування профілю, лінійні масиви та масиви елементів по колу.

Після моделювання всіх необхідних деталей ротаційного подрібнювача зернових матеріалів переходимо до середовища CAD-системи для створення складань деталей. Для початку потрібно виконати складання ротаційної частини. Для цього за допомогою інструментів спряжень встановлюємо розташування бильних елементів на диску та додаємо з бібліотеки стандартних виробів кріпильні елементи. Для того щоб розташувати в складанні 6 комплектів бильних елементів застосовуємо інструмент «масив елементів по колу» (рис. 6.).

В корпус подрібнювача встановлюються решета, деки, їх тримачі та ротаційна частина. Тому наступним етапом є створення складання корпуса подрібнювача та розміщення в ньому складання ротаційної частини (рис. 7).

У якості зернового матеріалу для годівлі сільськогосподарських тварин, а відповідно і для подрібнення можуть використовуватися зерна різних культур але найбільш поширеними для годівлі тварин набули такі культури, як пшениця, кукурудза, ячмінь, овес.

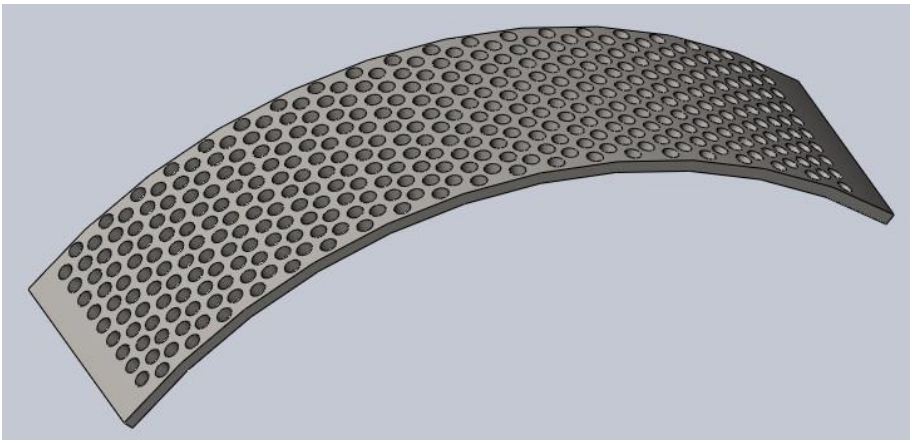

Рис. 4. Решето ротаційного подрібнювача

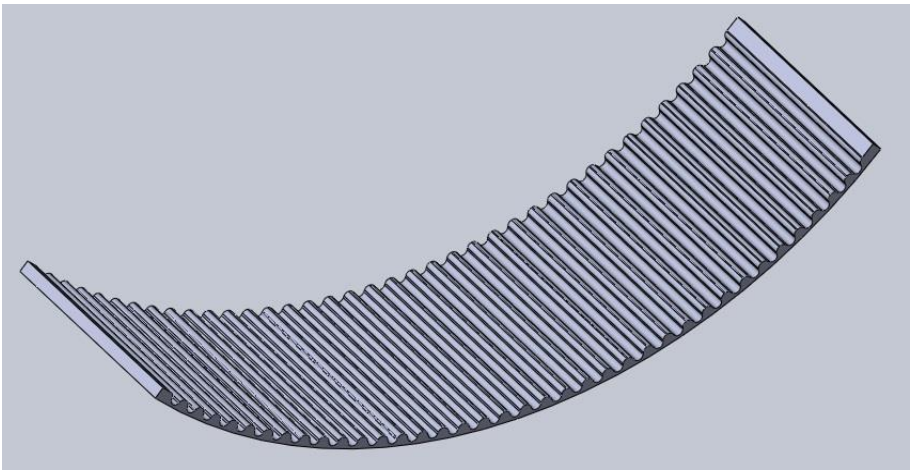

Рис. 5. Ребристі деки ротаційного подрібнювача

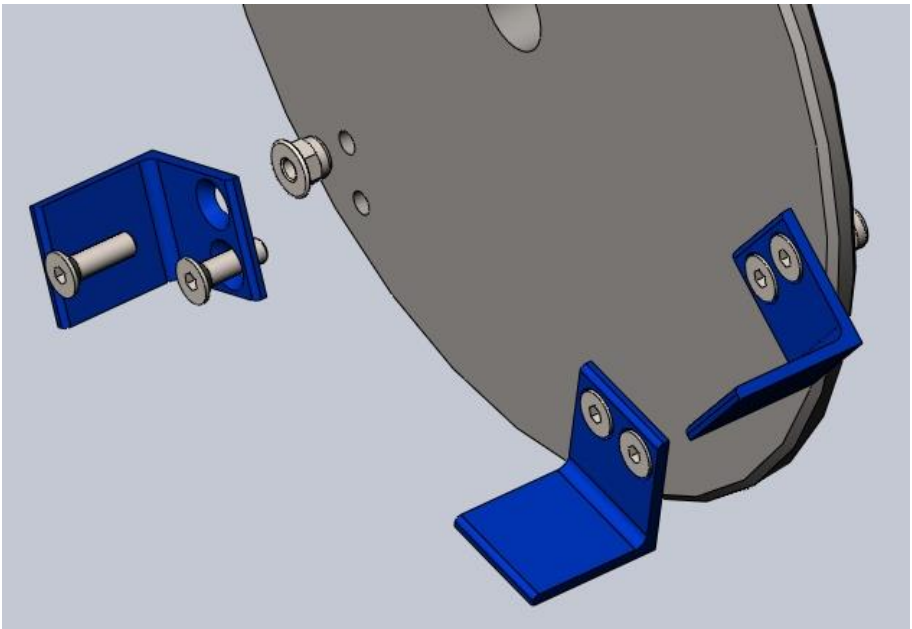

Рис. 6. Складання ротаційної частини подрібнювача

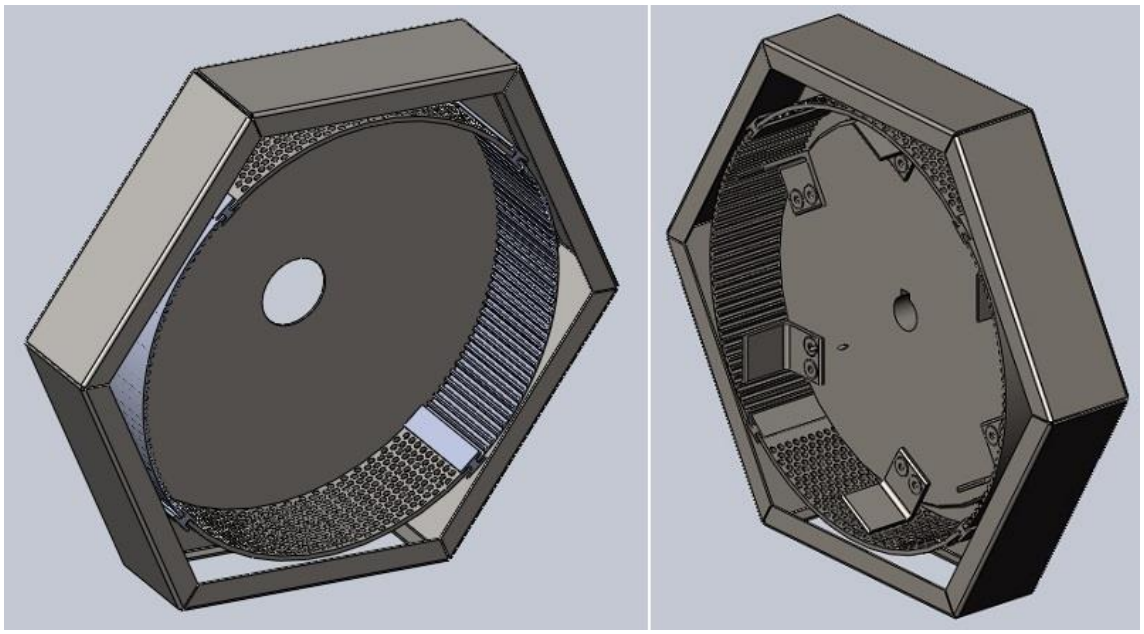

Рис. 7. Складання корпуса ротаційного подрібнювача зернових матеріалів

Для проведення даного експерименту оберемо зерно пшениці, змоделюємо його орієнтовну геометричну форму (за допомогою інструменту «бобика/основа обертанням» профілю еліптичної форми навколо однієї з осей) згідно середніх розмірів [2, 4]. Після цього зернину потрібно розмістити в подрібнювальній камері в області завантажувального вікна, а саме трохи нижче осі обертання ротаційної частини подрібнювача.

Для проведення досліджень руху зернини в камері подрібнювача та процесу її контакту з робочими органами і поверхнями подрібнювача можна скористатися такими модулями системи автоматизованого проектування SolidWorks, як SolidWorks Motion та SolidWorks Simulation. Слід зазначити, що модуль SolidWorks Motion дозволяє не лише створювати базову анімацію, а і проводити дослідження руху механізмів та фізичних тіл з зазначенням взаємозв`язків елементів, сил, що діють в той чи інший момент часу, умов контакту, коефіцієнтів тертя тощо. SolidWorks Simulation – модуль, що забезпечує вирішення задач з моделювання лінійного та нелінійного статичного і динамічного аналізу, аналізу частоти, стійності, температурного аналізу, втомлюваності, тиску в ємностях, досліджень ударних навантажень, а також аналізу оптимізації [15, 17].

Для проведення досліджень потрібно задати матеріали всіх елементів конструкції, а також налаштувати матеріал або його фізико-механічні показники для зернини. В цілому зернина має досить складну і неоднорідну будову, але в межах даного дослідження припустимо, що зернина має рівномірну структуру і характеристики.

Наступним кроком задаємо силу тяжіння, яка буде діяти на всі елементи складання, в тому числі і на зернину для імітування її вільного падіння. Також встановлюємо умови контактної взаємодії зернини з поверхнями подрібнювача і налаштовуємо швидкість ротора додаванням двигуна з заданою постійною частотою обертання. Після проведення обчислень системою ми можемо отримати цілий ряд графічних та числових даних стосовно процесу зіткнення зернини з бильним елементом подрібнювача, наприклад, зміна швидкості та прискорення зернини, моменти та сили, які діють на неї, кінетична та потенційна енергія, напруження в зернині та деформації тощо (рис. 8).

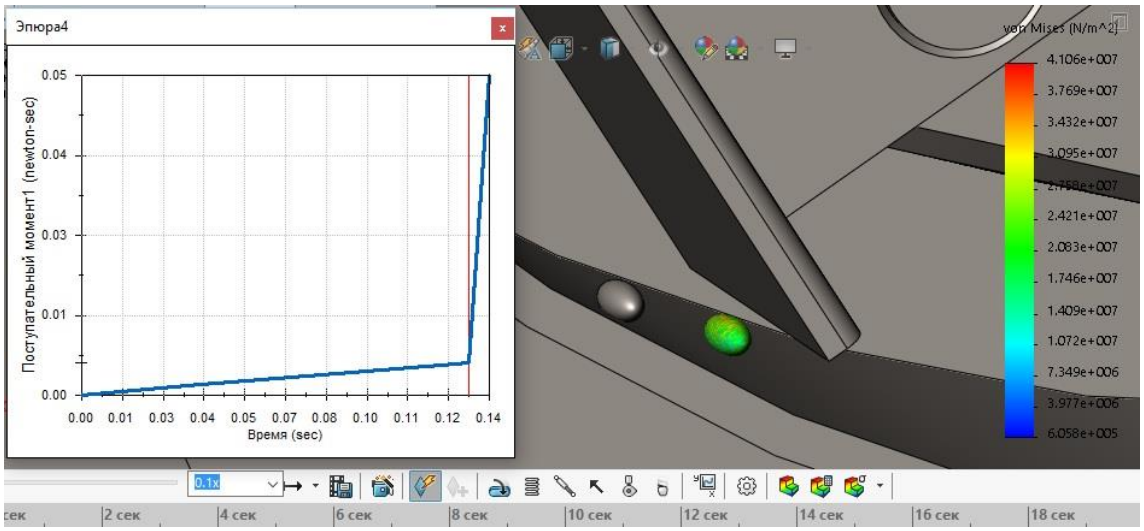

Рис. 8. Епюри зміни моменту, що діє на зернину та напружень в зернині в момент контакту її з поверхнею бильного елементу

Попередніми дослідженнями встановлено [8, 9, 10], що при статичних навантаженнях зусилля руйнування зерна пшениці сколюванням значно менше, ніж стисканням, причому при прикладенні сили вздовж зернини опір руйнуванню менший, ніж при поперечній дії. Суттєву роль відіграють і розміри зерна: збільшення розмірів зернини в межах сорту підвищує опір його руйнуванню. Збільшення вологості зерна знижує опір роздавлювання при стисканні, підвищуючи залишкову (пластичну) деформацію. У кукурудзи, навпаки, при збільшенні вологості до 25% опір зерна руйнуванню зростає, а при подальшому збільшенні вологості – падає. Найбільш міцним при стисканні є зерно ячменю, найменш міцним - вівса. Також встановлено, що при збільшенні швидкості прикладання навантаження пружні властивості зерна зростають, а пластичні – знижуються.

За допомогою сучасних систем автоматизованого проектування можна достатньо легко дослідити процес подрібнення зернових

матеріалів, наприклад, за розвитком напружень в зернині, змінюючи її геометричні форми, розміри, розташування в момент удару та її фізико-механічні властивості.

Висновки. Дослідження механічних властивостей зерна лише з застосуванням CAD/CAE систем не дозволяють отримати повну і достовірну оцінку показників його міцності в залежності від сорту, форми, вологості та характеру прикладання навантажень, але отримані результати доцільно використовувати, як для підтвердження попередніх так і для подальших теоретичних досліджень.

В будь-якому дослідженні з застосуванням систем автоматизованого проектування можна швидко змінювати вихідні характеристики як самого технологічного процесу так і матеріали та геометричні форми елементів для досягнення оптимальних результатів.

Список використаних джерел

1. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: навчальний посібник. Херсон: Олді-плюс, 2018. 252 с.

2. Механизация приготовления кормов: Справочник / Под ред. В. И. Сыроватка. Москва: Агропромиздат, 1985. 368 с.

3. Механіка матеріалів і конструкцій. Лаб. роботи. Навч. посібник для вузів / І. А. Цурпал, С. І. Пастушенко, М. П. Барабан, М.В. Швайко. Київ: Аграрна освіта, 2001. 272 с.

4. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко та ін.; За ред. С. С. Яцуна. Київ: Мета, 2003. 448 с.

5. Мороз С. М., Васильковська К. В., Лещенко С. М. Використання CAD-програм при проєктуванні сільськогосподарських машин. *Сільськогосподарські машини*. 2023. Вип. 49. С. 15-21. https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1010.

6. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: навч. посібник. Луцьк: Вежа, 2018. 172 с.

7. Ревенко І. І., Брагінець М. В, Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва. Київ: Кондор, 2012. 731 с.

8. Соломка О. В. Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу подрібнення зерна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* 2012. Вип. 120. С. 402-410.

9. Соломка О. В., Ковбаса В. П. Аналіз процесу подрібнення зернових матеріалів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* 2009. Вип. 78. С. 132-140.

10. Соломка О. В., Ковбаса В. П. Визначення показників міцності зернових матеріалів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* 2010. Вип. 96. С. 267-278

11. Соломка О. В., Новицький А. В. Моніторинг забезпечення сільськогосподарських підприємств технікою для кормовиробництва. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України.* 2014. Вип. 196, ч.1. С. 376-382.

12. Соломка О. В., Ковбаса В. П., Соломка В. О. Обґрунтування параметрів і режимів роботи ротаційного подрібнювача зерна. Київ, 2016. 139 с.

13. Технологія виробництва продукції тваринництва / О. Т. Бусенко та ін. Київ: Агроосвіта, 2013. 492 с.

14. Трикін Д. М., Мороз С. М., Васильковська К. В., Карпушин С. О. Використання сучасних систем САПР при проектуванні сільськогосподарських машин. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2019. Вип. 49. С. 233-241. https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.233-241.

15. Gaurav Verma, Matt Weber. SolidWorks Simulation 2020 Black Book. CADCAMCAE Works. 2020. 428 p.

16. James D. Bethune, Nathan Brown. Engineering Design and Graphics with SolidWorks® 2023. US: Peachpit Press, 2023. 1824 p.

17. Paul Kurowski. Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2022. Kansas: SDC Publications, 2022. 582 p.

18. Paul Tran. SOLIDWORKS 2020 Basic Tools. Kansas: SDC Publications, 2020. 681 p.

19. Paweł Kęska. SOLIDWORKS® 2021: Part, Modeling, Assemblies and Drawings. Warszawa: Cadvantage, 2021. 1586 p.

20. Randy H. Shih. SOLIDWORKS 2020 and Engineering Graphics. Kansas: SDC Publications, 2020. 727 p.

21. Selvi, Kemal Çağatay, Önder Kabas. Use of SOLIDWORKS in designing agricultural machines (a sample: rotary tiller). *ANNALS of the Faculty of Engineering Hunedoara.* 2018. T.16. P. 101-106.

22. Subrata K. R. Mandal, Basudeb Bhattacharyya, Somenath Mukherjee, P. Chattopadhyay. Use of Cad Tool for Design and Development of Rotavator Blade. *Middle-East Journal of Scientific Research.* 2014. Vol. 20 (2). P. 171-177. DOI: https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2014.20.02.11564.

23. Tayseer Almattar. Learn SOLIDWORKS 2020. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 576 p.

24. Vegad G. M., Yadav R. Design analysis and optimization of rotary tiller blades using computer software. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2018. Vol. 49, №1. P. 43-49.

25. Zi Yue Wu, Shuai Zhang, Ting Gao. Design of 3D Modeling for the New Hammer Mill Based on the SolidWorks. *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 224 P. 320-324. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.224.320.

Стаття надійшла до редакції 12.10.2023 р.

O. Solomka[1], O. Achkevych[1], V. Achkevych[1]
[1] National university of life and environmental sciences of Ukraine

APPLICATION OF AUTOMATED DESIGN SYSTEMS IN AGRICULTURAL ENGINEERING

Summary

The article discusses the use of computer-aided design systems in industrial engineering, as well as how exactly CAD/CAM/CAE systems are transforming agricultural engineering, providing engineers and manufacturers with the tools to create more modern, productive, and competitive equipment. The role of these systems in improving the manufacturability, design, production and testing of agricultural machines, as well as their impact on the quality and productivity in the agricultural sector is considered using the example of a methodology for studying the movement of grain material in the rotary chamber of a chopper and its contact interaction with the working bodies of a rotary chopper, which directly effects on the grinding process, its quality and energy consumption.

The article examines the use of automated design systems in industrial engineering, as well as how exactly CAD/CAM/CAE systems transform agricultural engineering, providing engineers and manufacturers with tools to create more modern, productive, and competitive equipment. The role of these systems in improving the technology, design, production, and testing of agricultural machines, as well as their impact on quality and productivity in the agricultural sector, is considered. on the grinding process, its quality and energy consumption.

CAD systems allow engineers to create detailed 3D models of agricultural machinery. This helps to optimize the shapes and sizes of the devices to achieve maximum productivity and reduce the material consumption of the structure and energy consumption.

CAE (Computer-Aided Engineering) systems allow analysis of strength, dynamic and thermal characteristics of rotary shredders. This is important to ensure the durability and reliability of the equipment under high load conditions.

CAD/CAM/CAE systems allow virtual testing of various configurations of agricultural machinery before physical production of prototypes. This helps to save time and money for expensive physical experiments.

Studying the mechanical properties of grain only using CAD/CAE systems does not allow obtaining a complete and reliable assessment of its strength indicators depending on the variety, shape, humidity, and the nature of the application of loads, but the obtained results should be used both to confirm previous and for further theoretical studies.

***Keywords*:** CAD systems, CAE systems, SolidWorks, SolidWorks Simulation, SolidWorks Motion, 3D-model, rotary Hammer Mill for grain.