

Д.М. Трикін, бакалавр, С.М. Мороз, доц., канд. техн. наук, К.В. Васильковська, доц., канд. техн. наук, С.О. Карпушин, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: serhii_moroz@ukr.net

Використання сучасних систем САПР при проектуванні сільськогосподарських машин

В статті розглянуто використання сучасних методів конструювання сільськогосподарських машин з використанням сучасного програмного забезпечення систем САПР, зокрема CAD SolidWorks, на прикладі моделі лапи ґрунторозпушувача. Програма дозволяє не тільки визначити небезпечні зони моделі, а й оптимізувати конструкцію.

SolidWorks Simulation, 3D–модель, менеджер властивостей, матеріал, сітка поверхні

Д.М. Трыкин, бакалавр, С.Н. Мороз, доц., канд. техн. наук, К.В. Васильковская, доц., канд. техн. наук, С.А. Карпушин, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Использование современных систем САПР при проектировании сельскохозяйственных машин

В статье рассмотрено использование современных методов конструирования сельскохозяйственных машин с использованием современного программного обеспечения систем САПР, в том числе CAD SolidWorks на примере разработки конструкции лапы почворыхлителя. Программа позволяет не только определить опасные зоны модели, но и оптимизировать конструкцию.

SolidWorks Simulation, 3D–модель, менеджер свойств, материал, сетка поверхности

Постановка проблеми. Виробники сільськогосподарської техніки як в цілому світі, так і в Україні, працюють в умовах жорсткої конкуренції. Нажаль якість нашої сільськогосподарської техніки на може конкурувати з якістю іноземних виробників, особливо з розробками лідерів цієї галузі.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Для більш швидкого створення нових зразків машин виробники використовують сучасні системи САПР, що дозволяють у короткі терміни створювати не тільки креслення, але і 3D моделі, які дозволяють отримати чітку уяву як про робочі органи, вузли та механізми, так про машину в цілому. Великий набір різноманітних інструментів побудови елементів і їх редагування, аналізу моделей і складань, створення складань дозволяють в досить короткі строки створювати не тільки креслення деталей, вузлів, механізмів та машини, але й створювати їх електронні каталоги та повний комплект специфікацій [1–2].

Відомо, що програми САПР діляться на три рівня. Так програми низького рівня дозволяють створювати як звичайні креслення деталей та складальних одиниць так і їх 3D аналоги. Програми середнього рівня, на відміну від попередніх, спочатку створюють 3D моделі, з яких дуже легко, після незначного редагування, можна отримати повноцінне креслення. Ці програми дозволяють проводити аналіз моделей деталей і складань шляхом імітації дії на них навантажень, отримати діаграми напружень, а також дозволяють провести удосконалення перших. Програми високого рівня дозволяють робити всі ті ж операції що й попередні програми, але на відміну від них забезпечують повний цикл життя моделей (PLM).

Програмний продукт SolidWorks компанії Dassault Systemes Corporation відноситься до програм САПР середнього рівня і займає друге місце у рейтингу [1–2].

У великому наборі інструментів цієї програми є також і **SolidWorks Simulation** [1–5].

SolidWorks Simulation – це система аналізу конструкцій, повністю інтегрована з **SolidWorks**. Програма **SolidWorks Simulation** забезпечує рішення по моделюванню для лінійного та нелінійного статичного аналізу, аналізу частоти, стійкості, температурного аналізу, втоми, випробувань на ударне навантаження, лінійного та нелінійного динамічного аналізу, а також аналізу оптимізації [3–4].

За підтримки швидких і точних вирішальних програм **SolidWorks Simulation** дозволяє інтуїтивно вирішувати більш масштабні завдання при проектуванні.

Програма **SolidWorks Simulation** скорочує час збуту завдяки економії часу і зусиль при пошуку оптимального рішення.

Постановка завдання. Виходячи із наведеного, метою даної роботи є розкриття можливостей програми при проектуванні сільськогосподарських машин на прикладі лапи ґрунторозпушувача.

Виклад основного матеріалу. Для створення проекту необхідно послідовно виконувати етапи проектування та силових розрахунків.

Для прикладу обираємо лапу ґрунторозпушувача [5–9].

Створюємо моделі деталей з яких складається загальна збірка, яку будемо перевіряти на міцність та жорсткість під дією зовнішніх зусиль.

Стійку моделюємо міцною, ергономічною і з мінімальним використанням матеріалу. Модель долота повинна бути з правильним кутом заточки, ефективна, витримувати прикладене навантаження і зносостійкою. Крила виконують функцію додаткового розпушення і сприймають невеликі навантаження, тому моделюємо їх форму таку яка має мінімальний опір ґрунту і використовуємо зносостійкий матеріал [5–9].

Для розрахунку чизельного робочого органу створюємо складання моделі з моделей його елементів (рис. 1).

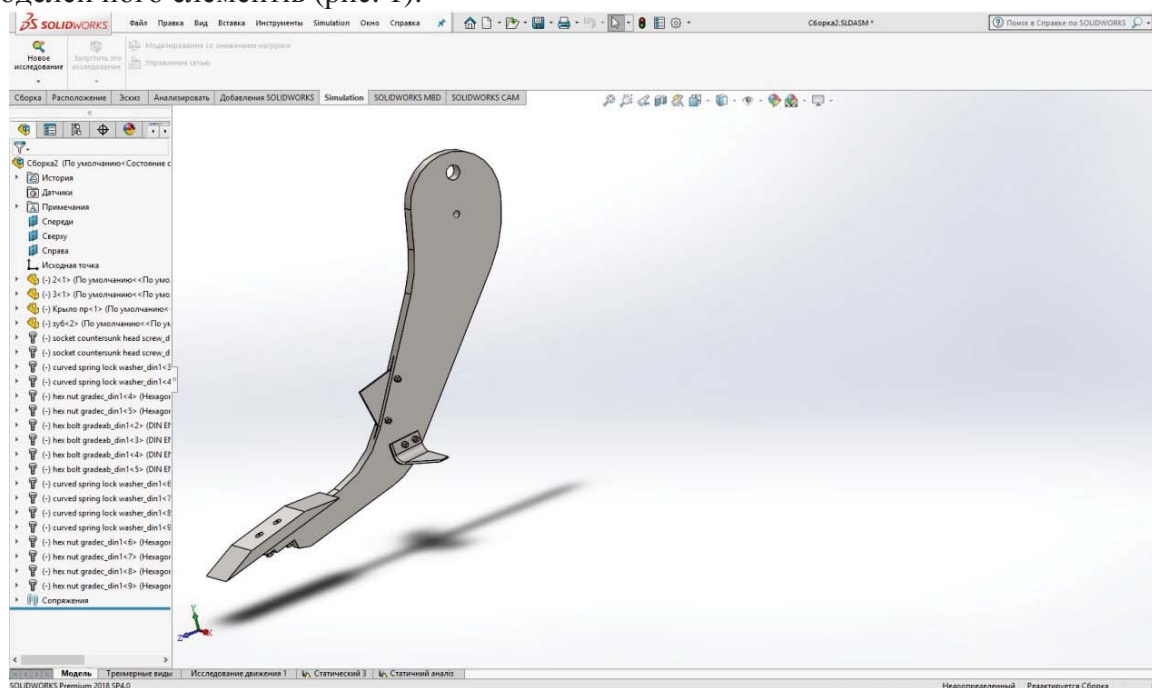


Рисунок 1 – Модель лапи чизеля

Джерело: розроблено автором

У на панелі інструментів активуємо панель інструментів *Simulation* шляхом натискання кнопки **SolidWorks Simulation** (рис. 2). В панелі *Simulation* вибираємо *Новое исследование* (рис. 3). У вікні *Менеджера властивостей* вибираємо *Статический* і натискаємо кнопку завершення дії ОК.

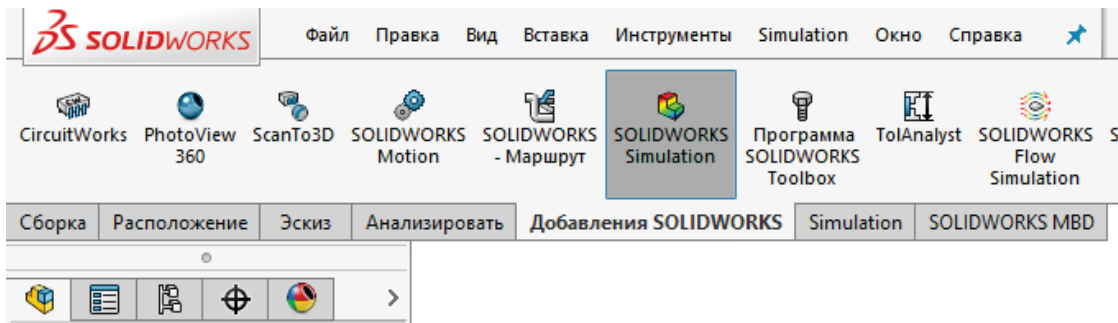
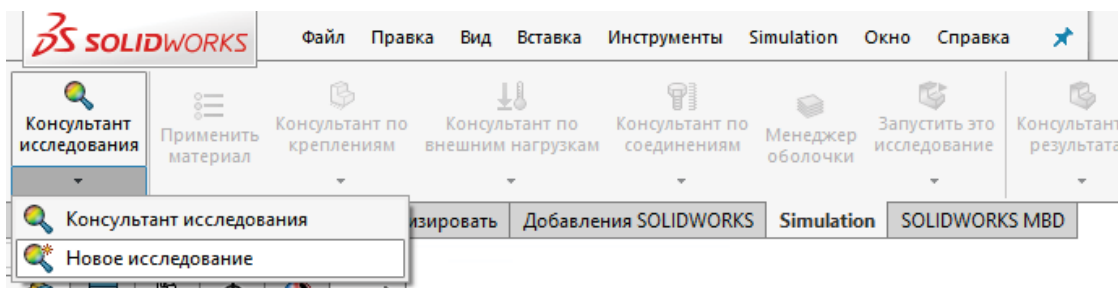
Рисунок 2 – Активація панелі інструментів *Simulation*

Рисунок 3 – Створення нового дослідження

Джерело: розроблено автором

У вкладці *Применить материал* вибираємо матеріали для кожної деталі, оскільки вони не були вказані при моделюванні. Матеріали можна вибрати відповідно до стандартів які запропонує програма. Крім цього є можливість вказати свій матеріал, вказавши його унікальні властивості.

Фіксуємо збірку так як би вона перебувала в загальній рамі агрегату. Використовуємо інструмент *Консультант по креплениям*. Далі обираємо *Зафиксированная геометрия* і вказуємо на отвори зверху стійки завдяки яким фіксується стійка в рамі.

В інструменті *Консультант по внешним нагрузкам* обираємо *Давление* і вказуємо величину сили і її напрямок. Робочий орган працює на глибині до 60 см. На такій глибині опір ґрунту робочому органу більше ніж на поверхневих шарах [10–14]. Максимальне навантаження сприймає початок долота, а мінімальне – крила. У менеджері властивостей *Тип* вибираємо *Грани для давления* і вказуємо їх.

Прикладаємо до моделі сили, які були визначенні при проведенні експериментів в польових умовах [10–14]. У вікні менеджера властивостей *Значение давления* вказуємо величину і напрямок сил окремо на кожну поверхню. Стійка на різній глибині сприймає різне навантаження. Поділяємо торцеву поверхню в менеджері властивостей *Разделить Тип разъёма Создать эскиз* і створюємо потрібні ділянки поверхні.

В інструменті *Консультант по соединениям Набор контактов Тип Нет проникновения* вибираємо межі поверхонь деталей, які мають контакти.

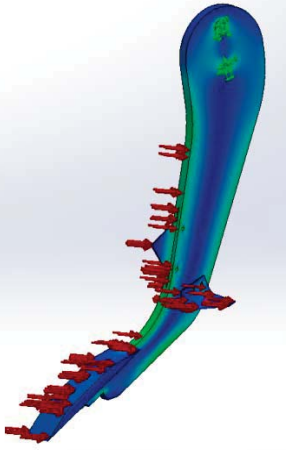
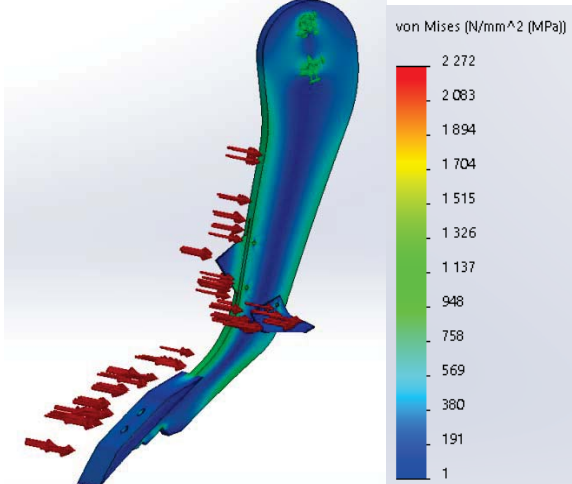
В інструменті *Запустить это исследование* вибираємо *Создание сетки*. Сітка необхідна для розбиття поверхні робочого органу на маленькі ділянки докладання

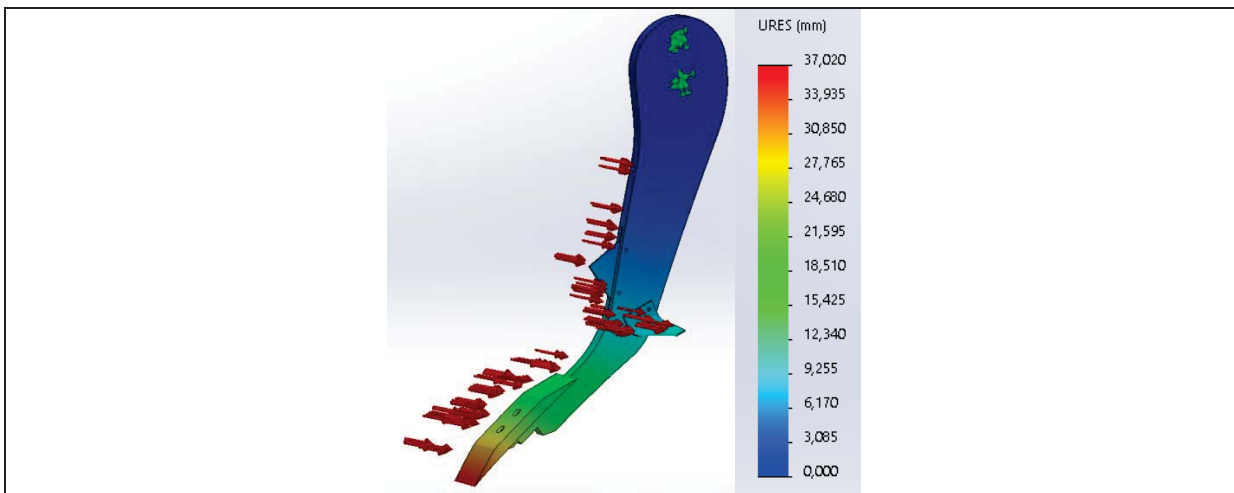
зусиль. Щільність сітки вибираємо бігунком *Высокое* для отримання більш детальних результатів силового розрахунку.

В інструменті *Запустить это исследование* запускаємо дослідження.

Отримані результати розрахунків силових навантажень проведених програмою для моделі чизельної лапи із вказаними величинами сил і їх напрямками зберігаємо як *Статический анализ* в кореневій теці складання (табл. 1). Після чого можна відкрити і редагувати властивості моделі та параметри навантаження в *Дереве построения*.

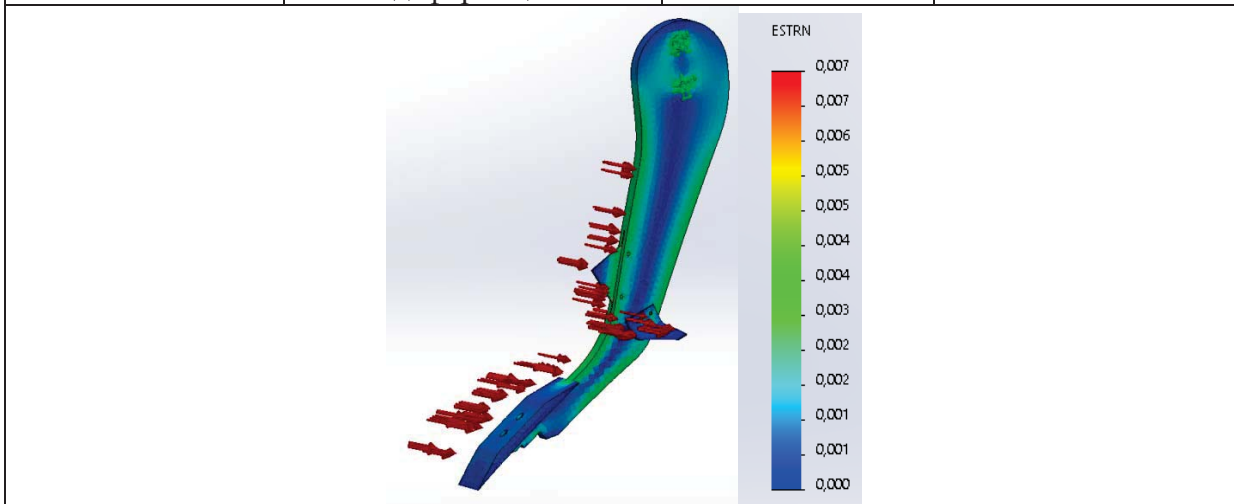
Таблиця 1 – Результати розрахунків на міцність

	<p>Имя: Тип модели: Критерий прочности по умолчанию: Предел текучести: Предел прочности при растяжении: Модуль упругости: Коэффициент Пуассона: Массовая плотность: Модуль сдвига: Коэффициент теплового расширения:</p>	<p>1.0601 (C60) Линейный, Упругий, Изотропный Максимальное напряжение von Mises 6.6e+08 N/m² 8.5e+08 N/m² 2.1e+11 N/m² 0.28 7800 kg/m³ 7.9e+10 N/m² 1.1e-05 /Kelvin</p>	
<p>Назва Напряження</p>	<p>Тип VON: Напряження Von Mises</p>	<p>Мінімальне 3,230 N/mm² (MPa)</p>	<p>Максимальне 5 338,425 N/mm² (MPa)</p>
			
<p>Назва</p>	<p>Тип</p>	<p>Мінімальне</p>	<p>Максимальне</p>
<p>Переміщення</p>	<p>URES: Результуюче переміщення</p>	<p>0,000 mm</p>	<p>38,609 mm</p>



Закінчення табл. 1

Назва	Тип	Мінімальне	Максимальне
Деформація	ESTRN: Еквівалентна деформація	0,000	0,012



Аналіз розрахунків, проведених програмою, показав області моделі, в яких під дією зовнішніх навантажень виникають найбільші внутрішні напруження. Також показані області, де дія зовнішніх сил відчутна слабо.

Таким чином, незначно змінивши розміри моделі можна отримати конструкцію лапи чизеля, яка не матиме областей з небезпечною концентрацією внутрішніх напружень та забезпечить її міцність та жорсткість.

Таблиця 2 – Результати розрахунків на міцність удосконаленої моделі

Назва	Тип	Мінімальне	Максимальне
Напруження	VON: Напруження Von Mises	3,230 N/mm ² (MPa)	5 338,425 N/mm ² (MPa)
<p>von Mises (N/mm² (MPa))</p> <p>5 338,425 4 893,826 4 449,226 4 004,626 3 560,027 3 115,427 2 670,827 2 226,228 1 781,628 1 337,028 892,429 447,829 3,230</p> <p>→ Предел текучести: 660,000</p>			
Назва	Тип	Мінімальне	Максимальне
Переміщення	URES: Результуоче переміщення	0,000 mm	38,609 mm
<p>URES (mm)</p> <p>38,609 35,392 32,174 28,957 25,740 22,522 19,305 16,087 12,870 9,652 6,435 3,218 0,000</p>			
Назва	Тип	Мінімальне	Максимальне
Деформація	ESTRN: Еквівалентна деформація	0,000	0,012
<p>ESTRN</p> <p>0,012 0,011 0,010 0,009 0,008 0,007 0,006 0,005 0,004 0,003 0,002 0,001 0,000</p>			

Джерело: розроблено автором

Висновки. Таким чином сучасні програми САПР – це потужний інструмент для інженерів–конструкторів, які дозволяють не тільки створювати 3D моделі складових частин виробів і їх самих, а також створювати креслення для виготовлення деталей та складання з них продукції, що буде поставлятися на ринок, а й скоротити час на проведення експериментальних досліджень та виробничих випробувань розробленої техніки. Інструменти моделювання навантажень дозволяють виявити слабкі місця в конструкції ще на етапі конструювання та провести необхідні зміни без виготовлення натурних зразків. Це в свою чергу дозволяє значно зекономити витрати на матеріали, що в свою чергу впливає на вартість випущеної продукції.

Список літератури

1. SolidWorks 2010. Расширенное моделирование деталей. Dassault Systemes SoidWorks Corporation, 2010. 333 с.
2. Основные элементы SolidWorks 2011. Dassault Systemes SoidWorks Corporation, 2011. 532 с.
3. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. Москва: ДМК Пресс, 2010. 464 с.
4. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. СПб.: БХВ–Петербург, 2012. 448 с.
5. Лещенко С.М. Інтенсифікація основного безполицевого обробітку ґрунту шляхом вдосконалення конструкції комбінованого чизеля. *Інноваційні технології в АПК: тези V Всеукраїнської науково–практичної конференції*. Луцьк: Ред.–вид. відділ ЛНТУ, 2015. С. 66–69.
6. Лещенко С.М., Сало В.М. Вдосконалення конструкції чизельної лапи комбінованого глибокорозпушувача. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: матеріали X Міжнародної наук.–практ. конф.* Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 123–126.
7. Лещенко С.М. Вдосконалення комбінованого чизельного глибокорозпушувача. *Сучасні наукові дослідження та розробки: теоретична цінність та практичні результати – 2016: матеріали міжнародної наук.–практ. конференції (Братислава, 15–18 березня 2016 року)*. Київ: ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2016. С. 76–77.
8. Сало В.М., Лещенко С.М., Пашинський В.А., Ярових Р.В. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2015. Вип. 45, Ч.1. С. 126–132.
9. Сало В.М., Лещенко С.М., Шевченко О.І. Нова конструкція чизельного глибокорозпушувача–удобрювача. *Сільськогосподарські машини: зб. наук.ст.* 2017. Вип. 36. С. 150–157.
10. Sergey Leschenko, Vasil Salo, Dmitry Petrenko. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2014. Вип. 44 С. 237–243.
11. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Експериментальна оцінка якості роботи комбінованого чизеля з додатковими горизонтальними та вертикальними деформаторами. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Механізація сільського господарства – Харків, 2015. – Вип. 156.– С. 25–34.*
12. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І., Лісовий І.О. Вплив конструктивних параметрів чизельної лапи глибокорозпушувача на деформацію ґрунту. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти.* 2016. Вип. 4. С. 115–124.
13. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Вплив конструктивно–технологічних параметрів комбінованого глибокорозпушувача на обробіток ґрунту. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2016. Вип. 46. С. 78–87.
14. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту.* 2018. Вип. 31.С. 10–20.

References

1. SolidWorks 2010. (2010). *Rasshirennoe modelirovanie detaley [Advanced Part Modeling]*. Dassault Systemes SoidWorks Corroration [in Russian]/
2. Dassault Systemes SoidWorks Corroration. *Osnovnyie elementy SolidWorks 2011 [Main elements SolidWorks 2011]*. (2011). Dassault Systemes SoidWorks Corroration [in Russian].
3. Alyamovskiy, A.A. (2010). *Inzhenernyye raschety v SolidWorks Simulation [Engineering Calculations in SolidWorks Simulation]*. Moscow: DMK Press [in Russian]
4. Alyamovskiy, A.A. (2012). *SolidWorks Simulation. Kak reshat prakticheskie zadachi [SolidWorks Simulation. How to solve practical task]*. St. Petersburg: BKHV–Peterburg [in Russian].
5. Leshchenko, S.M. (2015). Intensyfikatsiia osnovnoho bezpolytsevoho obrobitku gruntu shliakhom vdoskonalennia konstruksii kombinovanoho chyzelia [Intensification of basic tillage tillage by improving the design of the combined chisel]. *Tezy V Vseukrainskoi naukovopraktychnoi konferentsii «Innovatsiini tekhnologii v APK» – Abstracts of the 5th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Innovative Technologies in AIC"*. (pp. 66–69). Lutsk: LNTU [in Ukraine].
6. Leshchenko, S.M. & Salo, V.M. (2015). Vdoskonalennia konstruksii chyzelnoi lapy kombinovanoho hlybokorozpushuvacha [Improvement of the design of the chisel paw of the combined deep baking powder]. *Materialy X Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii. Problemy konstruiuvannia, vyrobnytstva ta ekspluatatsii silskohospodarskoi tekhniki – Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference. Problems of design, production and operation of agricultural machinery*. (pp.123–126). Kirovohrad: KNTU [in Ukraine].
7. Leshchenko, S.M. (2016). Vdoskonalennia kombinovanoho chyzelnoho hlybokorozpushuvacha [Improvement of the combined chisel deep baking powder]. *Suchasni naukovi doslidzhennia ta rozrobky: teoretychna tsinnist ta praktychni rezultaty – 2016: materialy mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (Bratyslava, 15–18 bereznia 2016 roku) – Modern Research and Development: Theoretical Value and Practical Outcomes - 2016: Proceedings of an International Scientific and Practical Conference (Bratislava, March 15-18, 2016)*. (pp. 76–77). Kyiv: TOV «NVP «Interservis» [in Ukraine].
8. Salo, V.M., Leshchenko, S.M., Pashynskii, V.A. & Yarovykh, R.V. (2015). Analiz protsesiv chyzeliuvannia gruntiv z zastosuvanniam riznykh kombinatsii robochykh orhaniv [Analysis of soil chiseling processes using different combinations of working bodies]. *Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko – Design, production and operation of agricultural machines. National interagency scientific and technical digest, 45, 1, 126–132*. Kirovohrad [in Ukraine].
9. Salo, V.M., Leshchenko, S.M. & Shevchenko, O.I. (2017). Nova konstruksiiia chyzelnoho hlybokorozpushuvacha–udobriuvacha [New design of chisel deep-looser-fertilizer]. *Silskohospodarski mashyny – Agricultural machinery, 36, 150–157*. Lutsk: LNTU [in Ukraine].
10. Sergey Leschenko, Vasil Salo & Dmitry Petrenko. (2014). Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Zahalnodержavnyi mizhvidomchyi naukovotekhnichniy zbirnyk – Design, production and operation of agricultural machines. National interagency scientific and technical digest, 44, 237–243*. Kirovohrad [in Ukraine].
11. Leshchenko, S.M., Salo, V.M. & Petrenko, D.I. (2015). Eksperymentalna otsinka yakosti roboty kombinovanoho chyzelya z dodatkovymy horizontalnymy ta vertykalnymy deformatoramy [Experimental evaluation of the combined chisel quality with additional horizontal and vertical deformatory]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko, 156, 25–34*. Kharkiv [in Ukraine].
12. Leshchenko, S.M., Salo, V.M., Petrenko, D.I. & Lisovyy, I.O. (2016). Vplyv konstruktyvnykh parametriv chyzelnoi lapy glybokorozpushuvacha na deformatsiiu gruntu [Influence of the design parameters of the Chisel paw on the soil deformation]. *Visnyk Ukrainskoho viddilennia Mizhnarodnoi akademii ahrarnoi osvity – Bulletin of the Ukrainian Branch of the International Academy of Agrarian Education, 4, 115–124*. Kherson: OLDI–PLYUS [in Ukraine].
13. Leshchenko, S.M., Salo, V.M. & Petrenko, D.I. (2016). Vplyv konstruktyvno–tekhnolohichnykh parametriv kombinovanoho hlybokorozpushuvacha na obrobitok gruntu [Influence of structural and technological parameters of the combined deep-ripper on soil tillage]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Zahalnodержavnyi mizhvidomchyi naukovotekhnichniy*

zbirnyk – Design, production and operation of agricultural machines. National interagency scientific and technical digest, 46, 78–87. Kirovohrad: KNTU [in Ukraine].

14. Leshchenko, S.M., Salo, V.M. & Petrenko, D.I. (2018). Otsinka enerhoiemnosti hlybokoho obrobitku gruntu kombinovany my chyzelnymy hlybokorozpushuvachamy [Assessment of the energy intensity of deep tillage by combined chisel deep-tillers]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Didest of scientific papers of Kirovograd National Technical University. Engineering in agricultural production, industrial engineering, automation, 31, 10–20. Kropyvnytskyi: KNTU [in Ukraine].*

Denys Trykin, bachelor, **Sergiy Moroz**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Kateryna Vasytkovska**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Seriy Karpushyn**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The Use of Modern CAD Systems in the Design of Agricultural Machines

For faster creation of new models of machines, manufacturers use modern CAD systems that allow creating not only drawings but also 3D models in a short time. It allows you to get a clear idea of both working bodies, units and mechanisms, and the machine as a whole. A large set of various tools for building elements and editing, analyzing models and assemblies, creating assemblies allow you to create not only drawings of parts, units, mechanisms and machines in a short time, but also to create their electronic catalogues and a complete set of specifications. These programs include SolidWorks. SolidWorks Simulation is a structural analysis tool that provides modelling solutions for linear and nonlinear static analysis, frequency analysis, stability, temperature analysis, fatigue, impact tests, linear and nonlinear dynamic analysis, and also optimization analysis.

For example, select the paw of the soil ripper. We create a general model assembly that will be tested for strength and rigidity by external forces. In the toolbar, activate the Simulation toolbar, in which we select New Research. In the Property Manager window, select Static, and in the Apply Material tab, select the materials for each detail. We secure the assembly with the Fixing Advisor tool and point to the holes that secure the frame in the frame. In the External Load Consultant tool, select Pressure and specify the amount of force and its direction. In the Type property manager, we select Pressure Ranges and specify them. In the property manager window, The value of pressure indicates the magnitude and direction of forces separately on each surface. Divide the end surface and create the desired areas of the surface. We specify the boundaries of the surfaces of the parts that have contacts. Adjust the density of the grid to obtain more detailed results of the power calculation. We launch research. We get the results of calculations of power loads. The analysis of the calculations made by the program showed the areas of the model where the greatest internal stresses occur under the influence of external loads. Also shown are areas where the external forces are weak. We resize the model to obtain a structure that will not have areas with a dangerous concentration of internal stresses and provide its strength and rigidity. Thus, modern CAD software is a powerful tool for design engineers, who not only create 3D models of parts and their own, but also create drawings for manufacturing parts and assembling products that will be marketed, but also cut time for experimental research and production testing of the developed equipment. Load simulation tools allow us to identify weaknesses in the construction at the design stage and make the necessary changes without making bulk samples. This, in turn, significantly saves the cost of materials, which in turn affects the cost of products.

SolidWorks Simulation, 3D–model, property manager, material, surface mesh

Одержано (Received) 21.11.2019

Прорецензовано (Reviewed) 04.12.2019

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2019