

Streszczenie

W niniejszej pracy doktorskiej opisano proces modelowania sił kontaktowych w układzie ziarno roślinne-powierzchnia zespołu roboczego dla zjawiska zderzenia w kierunku prostopadłym. Przeprowadzono szerokie studium literaturowe obejmujące ponad 200 pozycji. Stwierdzono, iż współczesne podejście badaczy do modelowania sił kontaktowych bazuje wprost na przenoszeniu wyników badań opisujących relacje siła – odkształcenie, realizowanych na maszynach wytrzymałościowych (quasi statycznych) do warunków, w których następuje zderzenie. Postępowanie to jest znaczącym uproszczeniem, stąd podjęto działania w kierunku opracowania oryginalnych modeli ujmujących łączny wpływ złożonych zjawisk występujących podczas zderzenia na relacje siła – odkształcenie.

Dokonano przeglądu zjawisk determinujących zachowania obiektu badań w warunkach nagłej zmiany parametrów kinematycznych (zderzenia). Zidentyfikowano ograniczenia istniejących modeli i zaproponowano nową formę opisu relacji pomiędzy siłą działającą na ziarno, a odkształceniem. Ustalono formę graficzną tej relacji, w postaci histerezy o kształcie, nachyleniu i polu zależnym od prędkości uderzenia i wilgotności ziaren.

Badania przeprowadzono nad ziarnem pszenicy ozimej odmiany Memory, będącym obecnie jednym z części uprawianych zbóż w Polsce. Doświadczenia przeprowadzono dla czterech poziomów wilgotności materiału badawczego, tj.: 7; 10; 13 oraz 16 %, które odpowiadają wilgotnościom ziaren zbóż w klasycznych rolno-spożywczych ciągach technologicznych. Opracowane modele uwzględniają wpływ wilgotność na przebieg zjawiska zderzenia.

Dla potrzeb identyfikacji parametrów zaproponowanego modelu przygotowano dwa oryginalne stanowiska badawcze do wyznaczania relacji siła – odkształcenie podczas zderzenia ziarna z płaską powierzchnią elementu roboczego. Pierwsze w formie wahadła opuszczanego swobodnie, w którym element roboczy uderza w ziarno w kontrolowanych warunkach, prędkość uderzenia regulowana jest wysokością rzutu. Drugie stanowisko wykorzystuje wzbudnik elektrodynamiczny, z mikroprocesorowym sterowaniem prędkością wymuszenia. W obu przypadkach zastosowano wysokoczułe przetworniki przemieszczenia do wyznaczenia deformacji ziarna i czujniki siły do pomiaru oddziaływań ziarno-element roboczy. W wyniku przeprowadzonych prac badawczych zidentyfikowano parametry opracowanych modeli.

Modele te przygotowano w formie funkcji umożliwiających ich łatwą implementację do oprogramowania do symulacji metodą elementów dyskretnych (DEM). Takie zastosowanie modeli pozwala na lepsze i dokładniejsze przewidywanie w analizach komputerowych ruchu ziarna zbożowego. Aspekt ma istotne znaczenie w procesie projektowania i udoskonalania maszyn do wysiewu ziarna, co w konsekwencji umożliwia uzyskiwanie wysokich plonów.

Wyniki prac zestawiono w syntetycznym podsumowaniu. Wytyczono dalsze kierunki badań, w tym konieczność ujęcia zderzeń w kierunkach innych niż prostopadłe oraz konieczność przebadania innych gatunków zbóż.

Modeling of contact forces in the system of plant grain - surface of the working unit in terms of phenomena with a dynamic course

Abstract:

This doctoral thesis describes the process of modeling contact forces in the plant grain-surface system of the working unit for collision phenomena. A comprehensive literature review was conducted, encompassing over 200 references. It was found that the contemporary approach of researchers is based on transferring the results of studies conducted on strength machines (quasi-static) to conditions where collision occurs. This approach is a significant simplification, which prompted the development of new models that capture the complexity of the phenomena occurring during collision.

An overview of the phenomena determining the behavior of the research object under conditions of sudden changes in kinematic parameters was carried out. The limitations of existing models were identified, and a new form of describing the relationship between the force acting on the grain and deformation was proposed. The graphical form of this relationship was established and fine-tuned, taking the shape, slope, and velocity-dependent field of the hysteresis into account.

The research was limited to the consideration of winter wheat grains of the Memory variety, which is currently one of the most commonly cultivated cereals in Poland. For experimental purposes, four moisture levels of the research material were selected: 7%, 10%, 13%, and 16%. The chosen parameters reflect the state of the material in classical agri-food technological chains. The developed models take into account the influence of moisture on the course of the collision phenomenon.

For the purpose of parameter identification for the proposed model, two original test stands were prepared. The first setup consisted of a freely dropped pendulum. The working element of the pendulum strikes the grain under controlled conditions, with the impact velocity regulated by the drop height. The second setup utilized an electrodynamic exciter with microprocessor control. In both cases, highly sensitive displacement and force transducers were used. Characteristic data were obtained, which formed the basis for a correct description of the analyzed object's response to external excitations.

The developed models were prepared in the form of functions that allow for easy implementation of research results for simulations using the discrete element method (DEM). Such application of the models will enable faithful, better, and more accurate predictions in computer analyses of grain movement. This aspect is of significant importance in the process of designing and improving grain seeding machines, ultimately leading to high yields.

The results of the work are presented in a concise summary. Further research directions were outlined, including the need to address collisions in directions other than perpendicular and the necessity of examining a larger number of cereal grains.