

УДК 631.361.022

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБМОЛОТА БИЛЬНЫМ МОЛОТИЛЬНЫМ БАРАБАНОМ

Михаил Андреевич Чеботарев

аспирант

mchibis1997@gmail.com

Андрей Владимирович Бутовченко

доктор технических наук, профессор

butovchenkoav@yandex.ru

Донской государственный технический университет

г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. В статье представлены процессы подготовки моделей исходного зернового вороха и молотильно-сепарирующего устройства бильного типа для проведения моделирования методом дискретных элементов. Также представлены результаты моделирования обмолота методом дискретных элементов.

Ключевые слова: метод дискретных элементов, молотильно-сепарирующее устройство, пшеница, обмолот.

Метод дискретных элементов - один из численных методов, с помощью которого можно воспроизвести движение большого количества отдельных частиц, например: песок, гравий, калыка, зерно, гранулы. Применительно к сельскому хозяйству, с помощью метода дискретных элементов можно воспроизвести процессы, связанные с транспортировкой и разрушением частиц технологической массой (пшеница, рис, соя и прочие) внутри комбайна. В частности, можно провести оценку протекания технологического процесса в молотильно-сепарирующем устройстве, а именно качество разрушения и траекторию движения каждой частицы [1].

Нами проведено моделирование методом дискретных элементов процессов в молотильно-сепарирующем устройстве бильного типа зерноуборочного комбайна. На рисунке 1 представлен общий вид конструкции моделируемого молотильно-сепарирующего устройства.

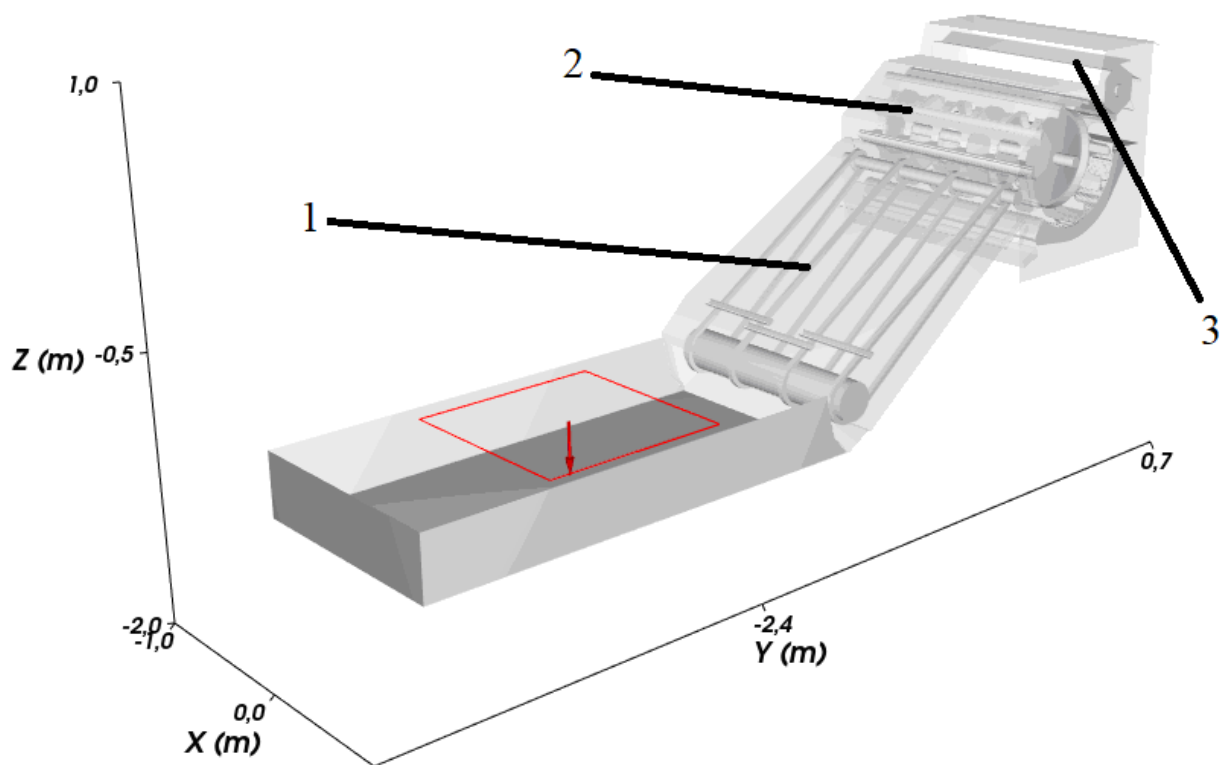


Рисунок 1 – исследуемая конструкция, где:
1 – наклонная камера, 2 – молотильный барабан, 3 – битей.

Для моделирования методом дискретных элементов программы позволяют как использовать уже имеющиеся частицы для расчёта, так и создать свои. Для нашего случая был создан стебель пшеницы с колосом. При этом,

данная частица имела возможность изгибаться и разрушаться за счёт внешних сил. Элементы частицы представляли собой сфероцилиндры. Два соседних элемента соединялись с помощью деформируемого элемента – шарнира. Когда шарнир подвергается деформациям, он создает силы и моменты на соединительных элементах, которые данным деформациям противоположны. Эти силы удерживают элементы вместе. Однако, при таком подходе к моделированию частицы, разрушение частицы может происходить только в местах соединения, поскольку отдельные её элементы не являются деформируемыми. На рисунке 2 представлен метод создания частицы «по координатам» с помощью Microsoft Excel.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
x1	y1	z1	x2	y2	z2	diameter	k_multipli	frozen	
0	0	0	0	0	0.04	0	0.003	1	0
0	0.04		0	0	0.08	0	0.003	1	0
0	0.08		0	0	0.12	0	0.003	1	0
0	0.12		0	0	0.16	0	0.003	1	0
0	0.16		0	0	0.2	0	0.003	1	0
0	0.2		0	0	0.24	0	0.003	1	0
0	0.24		0	0	0.28	0	0.003	1	0
0	0.28		0	0	0.32	0	0.003	1	0
0	0.32		0	0	0.36	0	0.003	1	0
0	0.36		0	0	0.4	0	0.003	1	0
0	0.4		0	0	0.44	0	0.003	1	0
0	0.44		0	0	0.48	0	0.003	1	0
0	0.48		0	0	0.52	0	0.003	1	0
0	0.52		0	0	0.56	0	0.003	1	0
0	0.56		0	0	0.6	0	0.003	1	0
0	0.6		0	0	0.64	0	0.003	1	0
0	0.64		0	0	0.68	0	0.003	1	0
0	0.68		0	0	0.72	0	0.003	1	0
0	0.72		0	0	0.76	0	0.003	1	0
0	0.76		0	0	0.8	0	0.003	1	0
0	0.8		0	0	0.825	0	0.007	1	0
0	0.825		0	0	0.850	0	0.007	1	0

Рисунок 2 – Координаты частицы.

Основные свойства материала геометрии и технологической массы определялись из литературных источников [2-4]. В таблице 1 представлены размерные и физико-механические свойства технологической массы, в качестве которой использовался стебель пшеницы.

Таблица 1

Характеристики пшеницы, используемые в расчёте.

Длина	800 мм стебель + 50 мм колос
Диаметр	3 мм стебель + 7 мм колос
Плотность	134 кг/м ³
Модуль Юнга	1250 МПа
Коэффициент Пуассона	0,4

При текущем моделировании было принято допущение, что все поверхности геометрических элементов конструкции и рабочих органов выполнены из стали, физико-механические свойства которой представлены в таблице 2.

Таблица 2

Свойства стали.

Наименование свойства	Размерность
Плотность	7850 кг/м ³
Модуль Юнга	210000 МПа
Коэффициент Пуассона	0,25

Также из литературных источников были определены статические и динамические коэффициенты трения, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты трения между используемыми материалами.

Пара материалов	Коэффициент статического трения	Коэффициент динамического трения
Сталь – пшеница	0,52	0,32
Пшеница - пшеница	0,4	0,2

Остальные данные необходимые для проведения имитационного моделирования методом дискретных элементов представлены в таблице 4.

Таблица 4

Исходные данные для моделирования.

Параметр	Размерность
Обороты молотильного барабана	750 об/мин
Обороты битера	796 об/мин
Линейная скорость цепи транспортера наклонной камеры	3,71 м/с
Производительность	18 т/ч

В результате моделирования, представленных на рисунке 3, возможно определить количество массы, проходящей через деку и идущей сходом. Так

как процесс моделирования весьма требует значительных вычислительных мощностей была возможность промоделировать только первые 5 секунд начального процесса. При этом более-менее установившийся режим начинается только с четвёртой секунды.

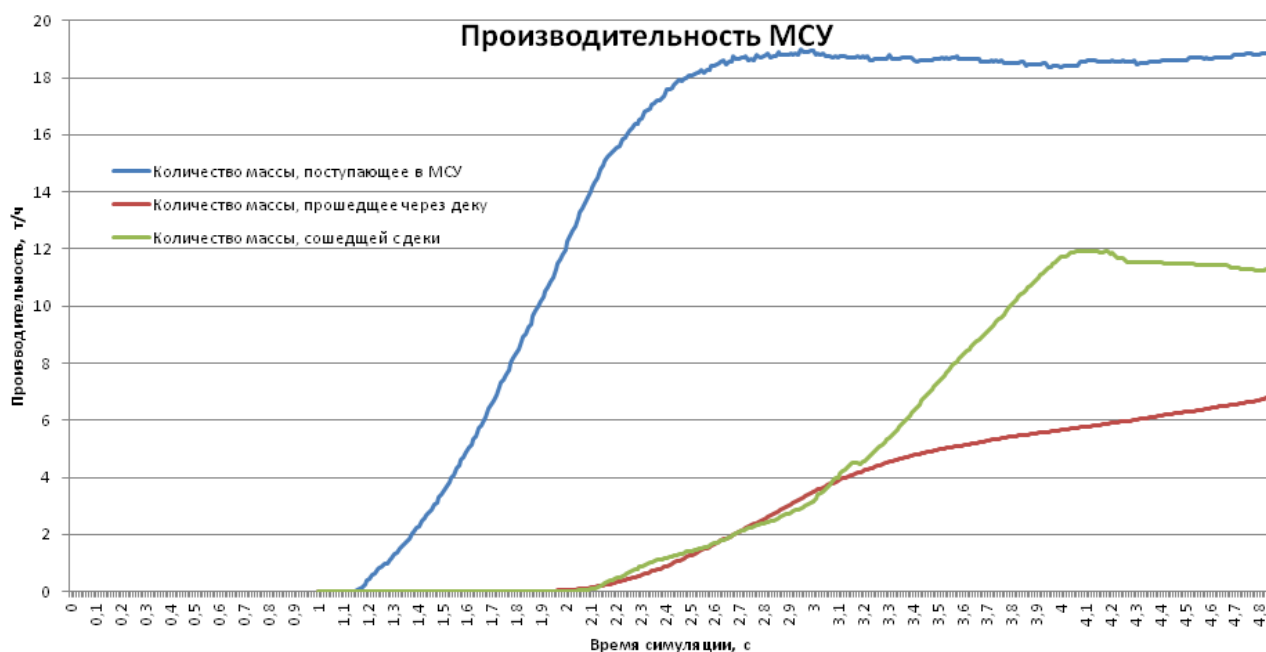


Рисунок 3 – График производительности.

Анализ результатов моделирования позволил сделать следующий вывод: при величине исходной подачи технологической массы 18 т/ч через деку молотильно-сепарирующего устройства проходит около 6 т/ч обмолоченной и измельченной технологической массы, а сходом выходит порядка 12 т/ч. Если принять, что соотношение зерна к соломе 1:2 то результаты первичного моделирования близки к показателям реального процесса. Разницу суммы между показателями прошедшей массы через определенные зоны можно объяснить погрешностью моделирования и остатками технологической массы в зоне молотильного барабана МСУ, а также малым временем моделирования, связанного с высокими вычислительными затратами и сложностью модели.

В качестве дальнейшего развития исследований на тему моделирования методом дискретных элементов процесса обмолота можно обозначить следующие направления:

- 1) оптимизация количества фасеток геометрии молотильно-сепарирующего устройства для проведения моделирования;
- 2) учет влияния воздушной среды на процесс транспортировки и обмолота при моделировании;
- 3) рассмотрение возможности использования зерносоломистой массы с разной степенью разрушения;
- 4) проведение моделирования с использованием более точной модели зерносоломистой массы.

Список литературы:

1. Cundall P. A., & Strack, O. D. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. // Geotechnique. 29(1). 1979 С. 47-65.
2. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений / Бурмистрова М.Ф. и др. // Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. 1956. С. 356.
3. Воронюк Б.А., Пьянков А.И. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений // Издательство «Колос». 1970. С. 423.
4. Ковалев Н.К., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) // ИК «Родник». 1998. С. 208.

UDC 631.361.022

MODELING OF THRESHING PROCESS BY BEATER THRESHING DRUM

Mikhail An. Chebotarev
postgraduate student
mchibis1997@gmail.com

Andrey V. Butovchenko

doctor of technical sciences, professor

butovchenkoav@yandex.ru

Don State Technical University

Rostov-on-Don, Russia

Abstract. The paper presents the process of preparation of models of technological mass and threshing and separating device for modeling by the method of discrete elements. Also the results of modeling of threshing of technological mass by the method of discrete elements are presented.

Key words: discrete element method, threshing and separating device, wheat, threshing.

Статья поступила в редакцию 20.03.2025; одобрена после рецензирования 20.06.2025; принята к публикации 30.06.2025.

The article was submitted 20.03.2025; approved after reviewing 20.06.2025; accepted for publication 30.06.2025.