

DOI
УДК 004.942

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ СКАРИФИКАТОРА С КОНУСНЫМ ДИСКОМ
ДЛЯ СЕМЯН БОБОВЫХ КУЛЬТУР**

Э. Р. Хасанов, Р. Р. Мирзаматов, А. М. Якупов, М. М. Ямалетдинов

Реферат. В настоящее время, в условиях западных санкций главной целью сельского хозяйства Российской Федерации является продовольственная безопасность и снижение импортозависимости. Модернизация сельскохозяйственной техники, а также поиск новых способов предпосевной обработки семян, позволит увеличить всхожесть семян и обеспечить сельскохозяйственный скот качественными кормовыми бобовыми культурами. В работе рассматривается экспериментальный скарифikator семян бобовых культур, позволяющий скарифицировать семена бобовых культур, тем самым повышая их всхожесть. В статье описана теоретическая основа движения семян по конусной поверхности, рассмотрен метод дискретных элементов, который лежит в основе программного комплекса Rocky DEM, позволяющий моделировать сложные системы моделей. Были проведены лабораторные исследования, в ходе которых определили угол естественного откоса для двух сортов семян люцерны (Сарга и Вега) и семян козлятника восточного. На основе полученных данных моделирования сконструировали экспериментальный скарифikator со скарифицирующим рабочим органом и провели производственные эксперименты, в ходе которых определили качество обработки и всхожесть семян козлятника восточного на экспериментальном скарификаторе.

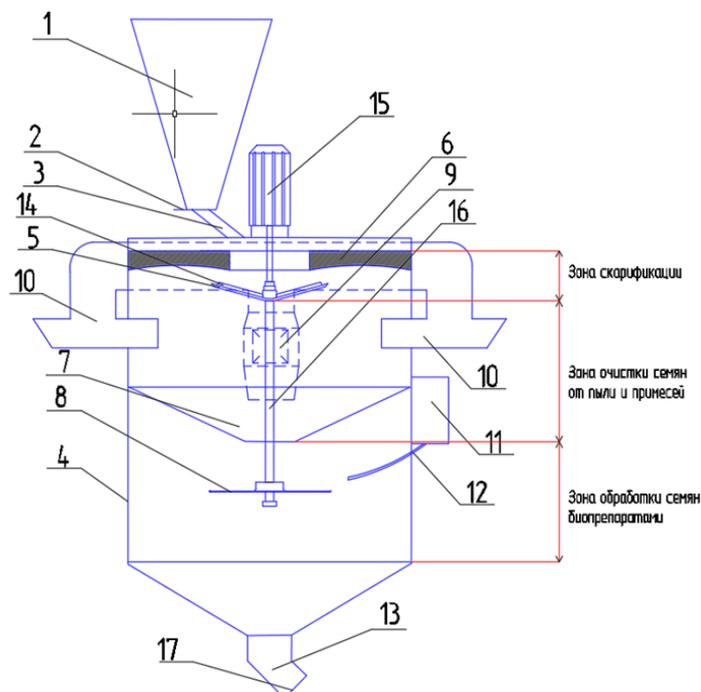
Ключевые слова: семена люцерны, скарификация семян, конусная поверхность, метод дискретных элементов, угол естественного откоса, калибровка, Rocky DEM.

Введение. Люцерна - однолетнее или многолетнее растение, которое обладает высокими питательными свойствами, поэтому оно широко используется как корм для скота. В семенах люцерны содержится много белка, жира, углеводов, витаминов и минералов, которые необходимы животным для здорового развития и роста.

Скарификация семян - частичное нарушение целостности твердой водонепроницаемой

оболочки семян с целью облегчения их прорастания и увеличения процента всхожести. В данной работе скарификация осуществляется путем моделирования методом дискретных элементов (DEM - Discrete Element Method) [1, 2, 3].

Нами разработана конструкция и получен патент на изобретение экспериментального скарифikatorа семян, представленного на рисунке 1.



1 – бункер для семян; 2 - регулировочная заслонка; 3 - регулировочная заслонка; 4 – корпус; 5 – конусный скарифицирующий ротор; 6 – шлифовальный диск; 7 - направляющая конусная поверхность; 8 – разбрасывающий ротор; 9 – вентилятор аспирационной системы; 10 – воздуховоды; 11 – бак для биопрепаратов; 12 – распылитель биопрепарата; 13 – выгрузное окно; 14 – лопата; 15 – электродвигатель; 16 – вал; 17 – заслонка.

Рисунок 1 – Схема экспериментального скарифikatorа семян

Повышение качества обработки семян бобовых культур путем подбора оптимальных параметров угла диска в экспериментальном скарификаторе, на основе моделирования в программном комплексе Rocky DEM.

Задачи:

- изучить теоретическую основу движения частиц по конусной поверхности;
- провести лабораторные исследования по определению угла естественного откоса семян люцерны;
- рассмотреть принцип математического моделирования методом дискретных элементов;
- спроектировать 3D модель дисков с разными углами и экспериментальный скарификатор;
- подбор оптимальных параметров в программном комплексе Rocky DEM, для получения виртуальной модели, максимально

приближенной к результатам, полученных в естественных условиях;

- смоделировать движение частиц в программном комплексе Rocky DEM;
- провести производственные исследования по определению качества обработки семян бобовых культур на экспериментальном скарификаторе.

Условия, материалы и методы. Как показано на рисунке 1, под номером 5 и 12 в скарификаторе расположен конусный скарифический ротор и лопатка соответственно.

Для повышения степени скарификации семян, необходимо подобрать оптимальные параметры угла конусного диска, а также рассмотреть траекторию движения частиц.

На рисунке представлено, какие силы действуют на частицу в момент ее движения по конусной поверхности.

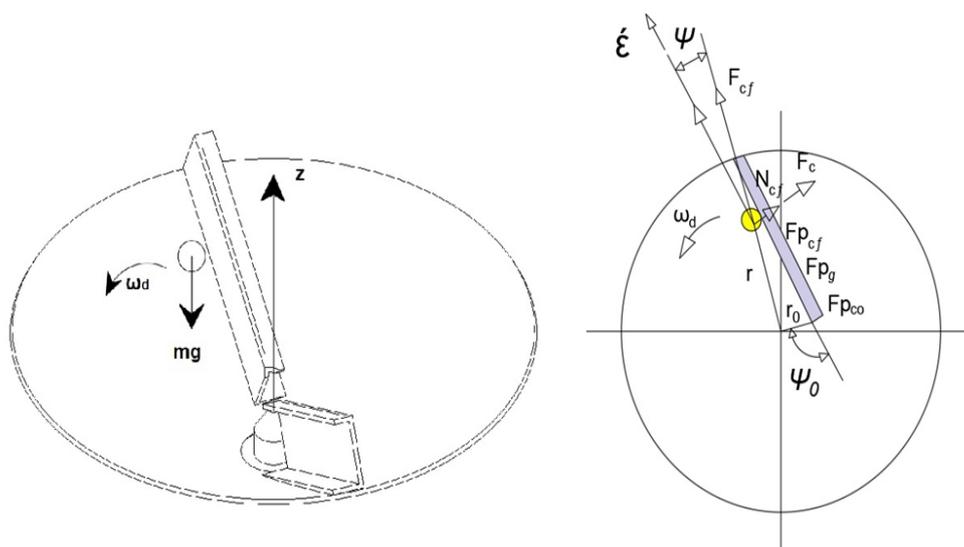


Рис. 2 – Силы, действующие на частицу

Как видно из рисунка 2, на частицу действуют следующие силы: mg – масса частицы, действующая перпендикулярно поверхности диска, равная произведению массы частицы (m) на ускорение свободного падения (g).

Также на частицу действуют:

F_{cf} – центробежная сила;

F_{co} – сила Кориолиса;

$F_{p_{cf}}$ – Сила трения между лопаткой и частицей [4, 5, 6].

Для получения адекватной математической модели движения частиц по конусной поверхности, необходимо провести калибровку программного комплекса, для приближения результатов моделирования к реальному процессу.

Калибровка осуществляется путем проведения двух идентичных экспериментов, первый в лабораторных условиях, на рисунке 3 представлен прибор по определению угла естественного откоса и его схематическое изображение с описанием составных элементов, второй проводят в том же масштабе

в программном комплексе [7, 8, 9].

При разработке методом DEM, необходимо настроить параметры физики и подобрать коэффициенты, позволяющие провести эксперименты различной сложности, в данной работе использовались следующие модели контактных сил:

- Hertzian spring-dashpot model для нормальной контактной силы;
- Linear spring Coulomb limit model для расчета тангенциальных параметров;
- JKR adhesive force model для симуляции влажности семян [1].

Результаты и обсуждение. Конусный диск расположен под абразивным диском таким образом, чтобы при вращении семени, попавшие на диск, благодаря центробежной силе и угловой скорости, сходят с диска и скользящим движением касаются абразивной поверхности.

Преимуществом расположения диска является тот факт, что семена не подвергаются повторной скарификации.

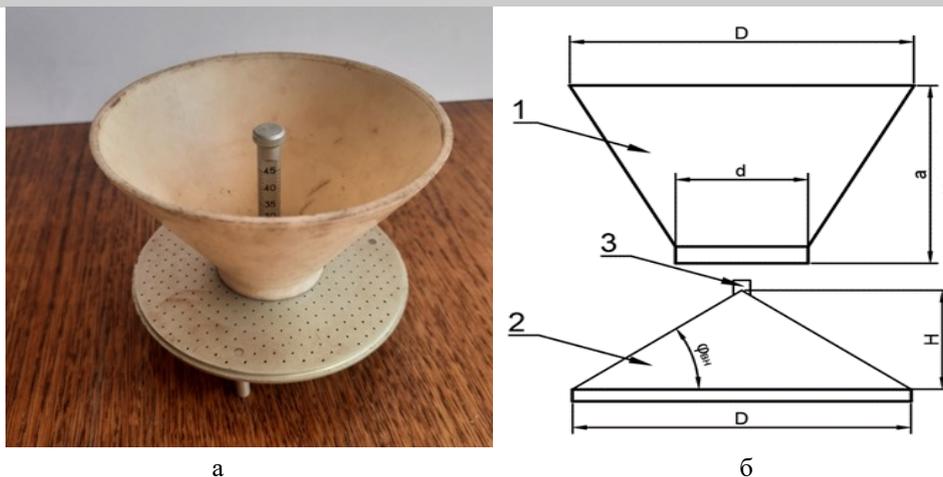


Рис. 3 – Устройство для определения угла естественного откоса
 а – прибор для определения угла естественного откоса в лабораторных условиях;
 б – схема прибора измерения угла естественного откоса

1 – цилиндрический конус; 2 – горизонтальная поверхность; 3 – стержень с делением.

Вариации диска с разными углами представлены на рисунке 4. Данные вариации позволяют выбрать наиболее оптимальный угол диска для скарификации семян путем моделирования движения частиц в программном комплексе Rocky DEM.

Следующим этапом работы являются лабораторные исследования по определению угла естественного откоса семян люцерны, а также подбор оптимальных параметров коэффициентов, которые используются программой Rocky DEM [10, 11].

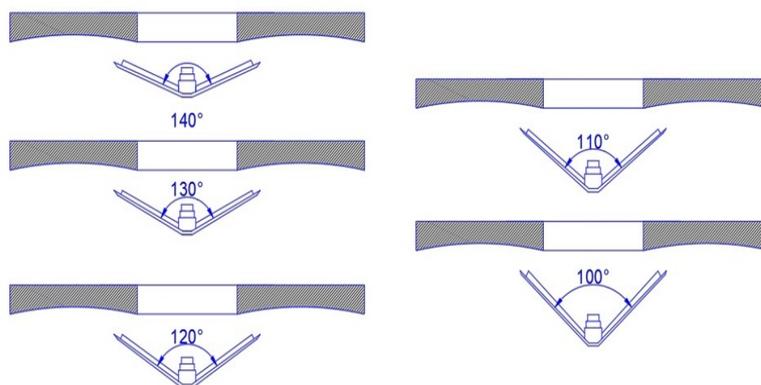


Рис. 4 – Вариации дисков с разными углами

Для определения угла естественного откоса, цилиндрический конус необходимо заполнить семенами, после плавным движением

поднять цилиндр, тем самым семена высыпятся и образуют горку. Процесс представлен на рисунке 5 [1].



Рис. 5 – Процесс определения угла естественного откоса

Для рандомизации угол естественного откоса определялся для семян люцерны и козлятника, так как экспериментальный скарификатор будет применяться для семян бобовых культур, в свою очередь семена люцерны и

козлятника являются самыми распространёнными [12, 13].

Результаты по определению угла естественного откоса семян люцерны и козлятника восточного представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Угол естественного откоса измеренного в лабораторных условиях

Сорт	Влажность семян	Угол естественного откоса ϕ , градусы					Усредненный показатель
		1	2	3	4	5	
Сорт Сарга (Люцерна)	8,4	21	21,8	21,8	21,8	21,6	21,6
Сорт Вега (Люцерна)	7,7	25	24,2	24,5	23,4	22,6	23,9
Козлятник восточный	6,9	23,2	24,1	23,8	23,1	22,9	23,4

После определения угла естественного откоса в лабораторных условиях, необходимо провести аналогичный процесс путем подбора коэффициентов в программном комплексе Rocky DEM, с допустимой погрешностью в 5% (1 градус).

Предварительно путем математических расчетов осуществили расчет объема цилиндрического конуса, для вычисления

времени заполнения семенами и времени начала подъема.

Скорость подъема цилиндрического конуса играет важную роль, поскольку для избегания оказания влияния на скорости на семена, необходимо чтобы конус поднимался со скоростью 0,1 м/с и без ускорения [14].

На рисунке 6 представлен процесс подъема цилиндрического конуса.

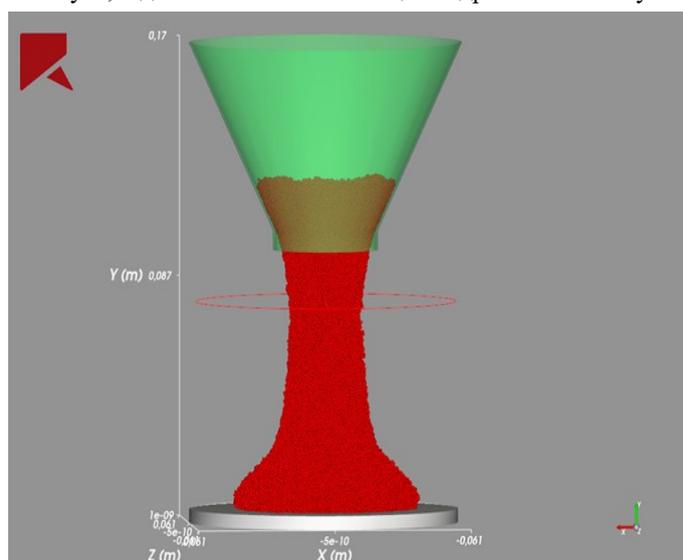


Рис. 6 – Процесс подъема цилиндрического конуса

Размер семян люцерны сортов Сарга и Вега и козлятника восточного варьируется в пределах 0,85 до 1,5 мм диаметре. Моделирование осуществлялось с частицами

с диаметром от 0,85 до 1,5 мм, в равном соотношении [1, 15].

Основные параметры модели представлены в таблице 2 [1].

Таблица 2 – Параметры, использованные при моделировании

Показатель	Частицы	Границы
Размер частиц	От 0,85 до 1,5 мм	
Коэффициент статистического трения	0,2	0,2
Коэффициент динамического трения	0,2	0,2
Модуль Юнга	$1,9 \cdot 10^9$ Па	$1,8 \cdot 10^9$ Па
Плотность	1366 кг/м^3	1800 кг/м^3
Коэффициент Пуассона	-	0,25
Поверхностная энергия	$1,38 \text{ J/m}^2$	$0,075 \text{ J/m}^2$

Результат калибровки параметров Rocky DEM на рисунке диаграмма, с отображением размера частиц по цвету. DEM представлен на рисунке 7, где слева

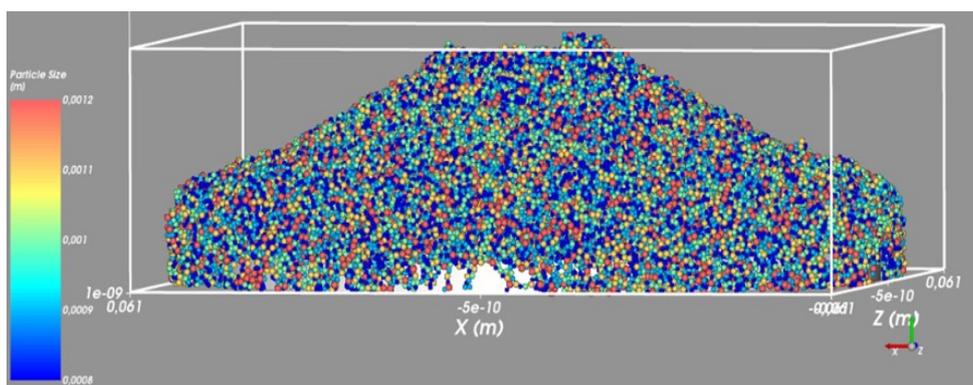


Рис. 7 -Результат калибровки

График с углом естественного откоса представлен на рисунке 8.

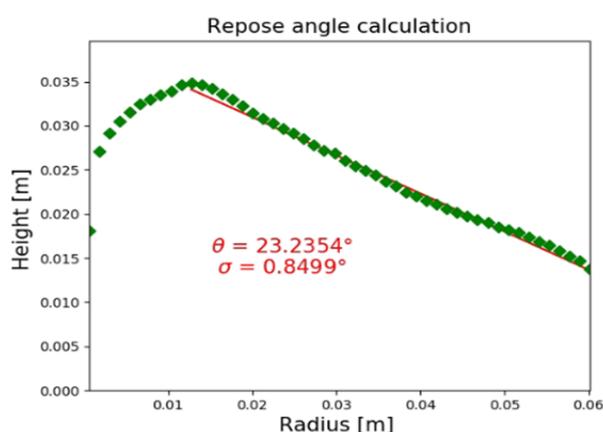


Рис. 8 – Угол естественного откоса (расчет осуществляется при помощи дополнительно подгружаемого скрипта)

В программном комплексе Rocky DEM осуществляется настройка и импорт 3D модели экспериментального скарификатора, параметры модели приняты согласно

полученным данным калибровки из таблицы 2 [1]. На рисунке 9 представлен процесс моделирования движения частиц с углом конусного диска 120 градусов.

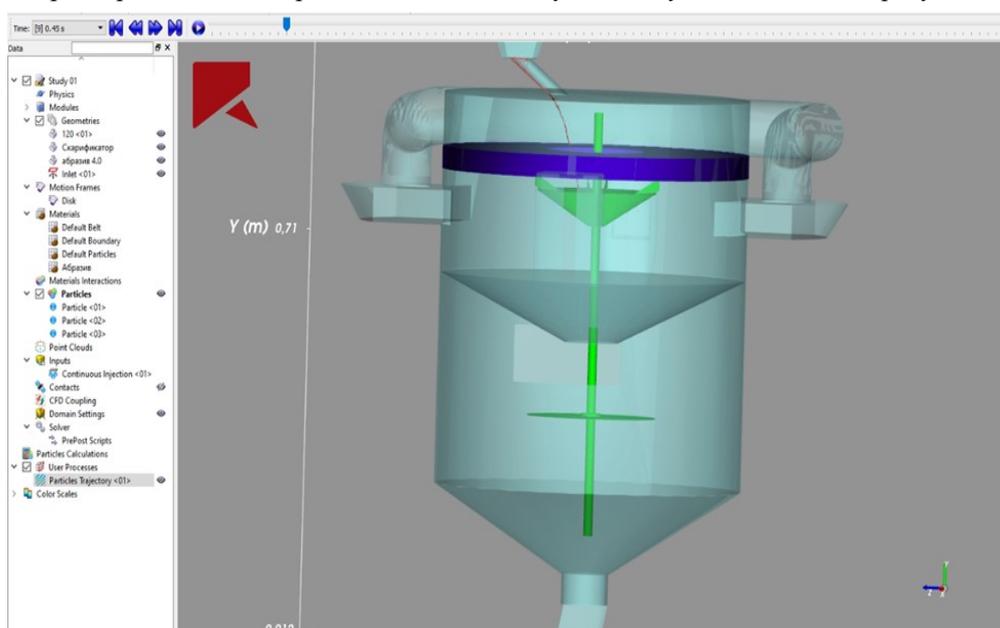


Рис. 9 – Процесс моделирования движения частиц в программном комплексе Rocky DEM

Оптимальный параметр угла диска определяется при помощи модуля Normal Impact Velocity, который осуществляет сбор информации о движении и скорости частиц.

Было проведено моделирование движения частиц по конусному диску с углами 140 и 130 градусов, однако согласно симуляции частицы касаются абразивной поверхности лишь частично, остальная часть семян попросту не скарифицируются. По проведенному моделированию конусных углов 120 и 110 градусов, результаты модели показывают, что углы диска 120 и 110 отлично подойдут

для скарификации семян, что позволит повысить их всхожесть и благодаря правильному расположению, поможет исключить повторную скарификацию во избежание полного разрушения оболочки семян бобовых культур [16].

Также проведено моделирование движение семян с углом конусного диска 110 градусов, которое представлено на рисунке 10. Однако согласно рисунку, диаграмма показывает скорость удара частиц о абразивную поверхность, которая составила 6,7 м/с, средняя скорость около 4,5 м/с.

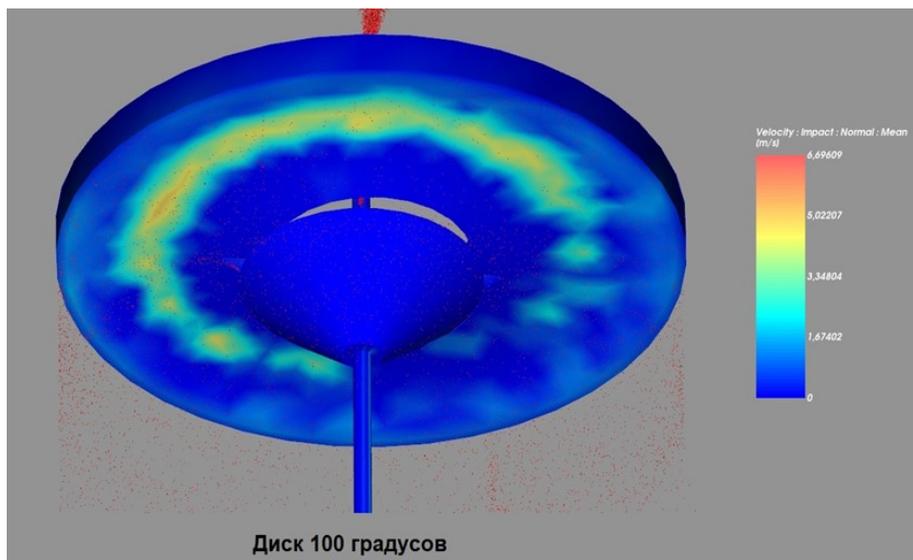


Рис. 10 – Результаты моделирования для дисков с углом 100 градусов

Благодаря проведенным исследованиям, сконструировали экспериментальный скарификатор (рис. 11) согласно схеме, представленной на рисунке 2.1, производительностью 300 кг/час [2].

Основные технические характеристики скарификатора:

- Производительность: 300 кг/час;
- Скорость вращения диска: регулируется от 73,3 до 157,7 рад/с;
- Диаметр диска: 240 мм
- Угол конусной поверхности: 100 град
- Диаметр абразивной поверхности: внешний: 600 мм; внутренний: 200 мм



Рис. 11 – Запатентованный экспериментальный скарификатор семян

Семена козлятника восточного в ходе проведения производственных экспериментов скарифицировали и обработали биологическим препаратом на экспериментальном

скарификаторе, определили качество скарификации и обработку семян биопрепаратом. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 12.

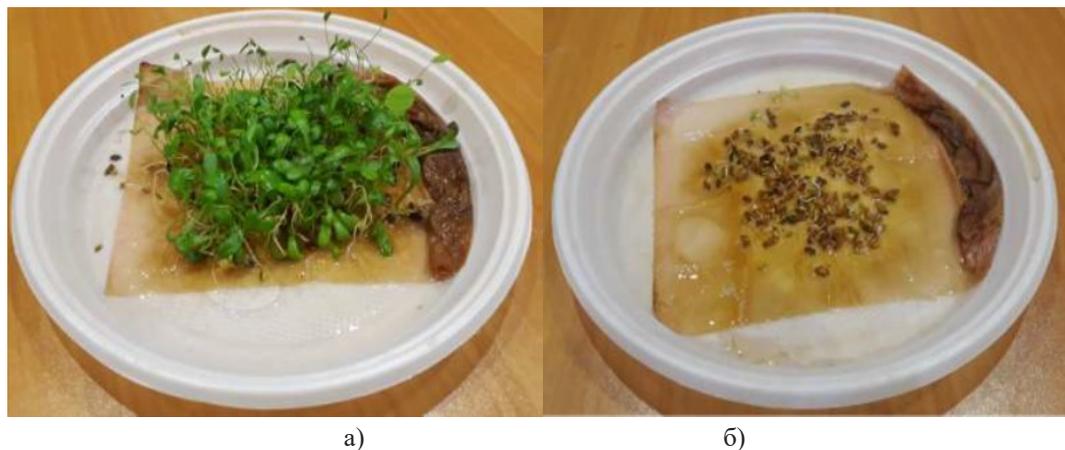


Рис. 12 – Пророщенные семена козлятника восточного на 14 день:
а) скарифицированные и обработанные биопрепаратом на экспериментальном скарификаторе семян; б) без обработки (контроль)

Чтобы определить всхожесть семян, скарифицированные и обработанные биопрепаратом семена проращивали, оценивали путем определения размеров проростков и лабораторной всхожести семян. На фильтрованной бумаге, предварительно смоченной дистиллированной водой осуществлялось проращивание семян. Семена козлятника восточного оставляли на 14 дней в темное место при комнатной температуре на тарелках, затем определили всхожесть [2, 17].

Выводы. В исследовании рассмотрели устройство запатентованного экспериментального скарификатора семян бобовых культур, проанализировали теоретическую основу движения семян по конусной поверхности, описали способ определения угла естественного откоса и изучили принцип работы программного комплекса Rocky DEM в основе которого заложен метод дискретных элементов. Осуществили лабораторные исследования по определению угла естественного откоса семян люцерны (сортов Сарга и Вега) угол которых составил 21,6 и 23,9 соответственно, семян козлятника восточного с углом 23,4 градуса.

Создали 3D модель устройства по определению угла естественного откоса в программе AutoCAD, затем импортировали его в формате .stl в программу Rocky DEM. Откалибровали параметры программного комплекса Rocky DEM и путем подбора оптимальных коэффициентов, представленных в таблице 2, мы получили адекватную математическую

модель. Виртуальная модель по определению угла естественного откоса состояла из 220 тысяч частиц, размерами от 0,85 до 1,5 мм, разной формы, которые максимально приближены к форме семян люцерны посевной. При исследовании выявлены основные закономерности, оказывающие влияние на угол естественного откоса, при создании виртуальной модели, важными параметрами являются:

- Поверхностная энергия;
- Размер семян;
- Коэффициент Пуассона;
- Модуль Юнга;
- Коэффициенты статистического трения;
- Коэффициент динамического трения.

Результат исследования, позволил смоделировать движение частиц на экспериментальном скарификаторе, в ходе моделирования определили оптимальный угол конусного диска, который составил 110 градусов, позволяющий повысить качество скарификации семян и тем самым увеличить их всхожесть.

Создана конструкция скарифицирующего органа, провели производственные эксперименты, в ходе которых определили качество обработки и всхожесть семян козлятника восточного на экспериментальном скарификаторе.

Сведения об источниках финансирования. Исследования выполнены за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-76-10070).

Литература

1. Калибровка параметров движения семян люцерны в программном комплексе Rocky DEM методом дискретных элементов / Э. Р. Хасанов, Р. Р. Мирзаматов, Д. И. Маскулов, Р. З. Мусин // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(64). – С. 136-143. – DOI 10.31563/1684-7628-2022-64-4-136-143.
2. Маскулов, Д. И. Обоснование конструктивно-технологических параметров и разработка скарификатора семян козлятника : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Маскулов Дамир Ильшатович. – Уфа, 2021. – 192 с.

3. Rocky DEM Technical Manual 4.4. ESSS. 2020.
4. Zubova, P. A. Обоснование режимов предпосевной обработки семян с твердой оболочкой ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Zubova Римма Анатольевна. – Барнаул, 2017. – 20 с.
5. Zhang, Hanbing & Li, Pengpeng & Zhang, Haonan & Huang, Wei & Zhang, Guochen & Mu, Gang & Li, Xiuchen. (2023). Design and experiment of cone disk centrifugal shellfish seeding device. *Frontiers in Marine Science*. 10. 1136844. 10.3389/fmars.2023.1136844.
6. Martínez-Rodríguez, Arturo & Victoria Gómez-Águila, MSc. María & Escobar, MC. Martín Soto. (2021). Model and Software for the Parameters Calculation in Centrifugal Disk of Fertilizer Spreaders. 30.
7. Практикум по расчетному курсу сельскохозяйственных машин / А.П. Иофинов, А.С. Самигуллин, Э.В. Хангильдин / под ред. А.С. Самигуллиной, - Уфа: Изд-во БГАУ, 2007. – 236 с.
8. Zhou, Y. C., et al. "An experimental and numerical study of the angle of repose of coarse spheres." *Powder technology* 125.1. 2002. P. 45-54.
9. Kuře, J., et al. "Discrete element simulation of rapeseed shear test." 2019.
10. Sarkar, Saurabh, Guilherme Hanauer de Lima, and Alex Potapov. "Predictive Optimization of SAG Mill Wear Using Rocky." 2017.
11. Fang, Weiquan, et al. "Review of Material Parameter Calibration Method." *Agriculture* 12.5. 2022. P. 706.
12. Roessler, Thomas, and André Katterfeld. "Scalability of angle of repose tests for the calibration of DEM parameters." 12th International Conference on Bulk Materials Storage, Handling and Transportation (ICBMH 2016), The, Engineers Australia. 2016.
13. Фоны минерального питания люцерновых агроценозов и урожайность последующей культуры полевого севооборота - яровой пшеницы ЭКАДА 70 на серых лесных почвах Республики Татарстан / Ф. Н. Сафиоллин, Г. С. Миннуллин, М. М. Хисматуллин, С. В. Сочнева // *Зерновое хозяйство России*. – 2017. – № 2 (50). – С. 29-33.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022615410 Российская Федерация. Определение рациональной ширины окна воздуховода пневмомеханического протравливателя : № 2022613980 : заявл. 18.03.2022 : опубл. 31.03.2022 / Р. Ф. Сабиров, А. Р. Валиев, В. М. Медведев [и др.] ; заявитель Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования «Казанский Государственный Аграрный Университет».
15. Сабиров, Р. Ф. Определение дисперсности распыливания рабочего раствора биопрепарата / Р. Ф. Сабиров, А. Р. Валиев, Ф. Ф. Мухамадьяров // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. – 2022. – Т. 17, № 1(65). – С. 77-82. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-77-82.
16. Разработка способа определения механических микроповреждений зерна / Б. Г. Зиганшин, Р. Р. Лукманов, А. В. Дмитриев, Д. Т. Халиуллин // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 12-2. – С. 264-267.
17. Нуруллин, Э. Г. Экспериментальное исследование травмирования семян в сельскохозяйственных машинах / Э. Г. Нуруллин, Р. А. Файзуллин // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. – 2022. – Т. 17, № 2(66). – С. 99-105. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-99-105.

Сведения об авторах:

Хасанов Эдуард Рифович – доктор технических наук, профессор кафедры мехатронных систем и машин аграрного производства, e-mail: hasan_ed@mail.ru
 Мирзаматов Радмир Ринатович – аспирант кафедры мехатронных систем и машин аграрного производства, e-mail: radmir97-97@mail.ru
 Якупов Андрей Маратович – кандидат технических наук, доцент кафедры мехатронных систем и машин аграрного производства, e-mail: ya-andrei75@mail.ru
 Ямалетдинов Марсель Мусавирович – кандидат технических наук, доцент кафедры мехатронных систем и машин аграрного производства, e-mail: marselcxm@mail.ru
 Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.

DEVELOPMENT AND JUSTIFICATION OF A SCARIFIER WITH A CONE DISC FOR BEAN SEEDS

E. R. Khasanov, R. R. Mirzamатов, A. M. Yakupov, M. M. Yamaletdinov

Abstract. Currently, in the context of Western sanctions, the main goal of the agriculture of the Russian Federation is food security and reducing import dependence. The modernization of agricultural machinery, as well as the search for new ways of pre-sowing seed treatment, will increase the germination of seeds and provide agricultural livestock with high-quality fodder legumes. The paper considers an experimental scarifier of legume seeds, which makes it possible to scarify the seeds of legumes, thereby increasing their germination. The article describes the theoretical basis for the movement of seeds along a conical surface, considers the method of discrete elements, which underlies the Rocky DEM software package, which allows modeling complex systems of models. Laboratory studies were carried out, during which the angle of repose was determined for two varieties of alfalfa seeds (Sarga and Vega) and eastern goat's rue seeds. On the basis of the obtained modeling data, an experimental scarifier with a scarifying working unit was constructed and production experiments were carried out, during which the quality of processing and germination of seeds of oriental goat's rue on the experimental scarifier were determined.

Key words: alfalfa seeds, seed scarification, cone surface, discrete element method, angle of repose, calibration, Rocky DEM.

References

1. Khasanov ER, Mirzamатов RR, Maskulov DI, Musin RZ. [Calibration of the movement parameters of alfalfa seeds in the Rocky DEM software package]. 2022; 4(64). 136-143 p. – DOI 10.31563/1684-7628-2022-64-4-136-143.
2. Maskulov DI. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov i razrabotka skarifikatora semyan kozlyatnika: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Substantiation of structural and technological parameters and development of a goat's rue seed scarifier: dissertation for a degree of Ph.D. of Technical Sciences]. Maskulov Damir Il'shatovich. Ufa. 2021; 192 p.
3. Rocky DEM Technical Manual 4.4. ESSS. 2020.
4. Zubova RA. Obosnovanie rezhimov predpосevnoy obrabotki semyan s tverdoi obolochkoi ul'trazvukom i elektro-

magnitnym polem sverkhvysokoi chastity. avtoreferat dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Substantiation of modes of pre-sowing treatment of seeds with a hard shell by ultrasound and electromagnetic field of ultrahigh frequency: dissertation for the degree of Ph.D. of Technical Sciences]. Zubova Rimma Anatolievna. Krasnoyarsk: Krasnoyarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. 2017; 20 p.

5. Zhang, Hanbing & Li, Pengpeng & Zhang, Haonan & Huang, Wei & Zhang, Guochen & Mu, Gang & Li, Xiuchen. (2023). Design and experiment of cone disk centrifugal shellfish seeding device. *Frontiers in Marine Science*. 10. 1136844. 10.3389/fmars.2023.1136844.

6. Martínez-Rodríguez, Arturo & Victoria Gómez-Águila, MSc. María & Escobar, MC. Martín Soto. (2021). Model and software for the parameters calculation in centrifugal disk of fertilizer spreaders. 30.

7. Iofinov AP, Samigullin AS, Khangil'din EV. *Praktikum po raschetnomu kursu sel'skokhozyaistvennykh mashin*. [Workshop on the settlement rate of agricultural machines]. Ufa: Izd-vo BGAU. 2007; 236 p. illustrated.

8. Zhou YC. An experimental and numerical study of the angle of repose of coarse spheres. *Powder technology* 125.1. 2002; 45-54 p.

9. Kuře J. Discrete element simulation of rapeseed shear test. 2019.

10. Sarkar, Saurabh, Guilherme Hanauer de Lima, and Alex Potapov. Predictive optimization of SAG Mill Wear Using Rocky. 2017.

11. Fang, Weiquan. Review of material parameter calibration method. *Agriculture* 12.5. 2022; 706 p.

12. Roessler, Thomas, and André Katterfeld. Scalability of angle of repose tests for the calibration of DEM parameters. 12th International Conference on Bulk Materials Storage, Handling and Transportation (ICBMH 2016). The Engineers Australia. 2016.

13. Safiollin FN, Minnullin GS, Hismatullin MM, Sochneva SV. [Backgrounds of mineral nutrition of alfalfa agrocenoses and the yield of the subsequent crop of field crop rotation - spring wheat EKADA 70 on gray forest soils of the Republic of Tatarstan]. *Zernovoe hozaystvo Rossii*. 2017; 2(50). 29-33 p.

14. Sabirov RF, Valiev AR, Medvedev VM. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM № 2022615410. [Certificate of state registration of the computer program № 2022615410]. Rossiiskaya Federatsiya. № 2022613980: zayavl. 18.03.2022: opubl. 31.03.2022. Applicant Kazan State Agrarian University.

15. Sabirov RF, Valiev AR, Mukhamad'yarov FF. [Determination of dispersion of working solution of a biological product]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 1(65). 77-82 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-77-82.

16. Ziganshin BG, Lukmanov RR, Dmitriev AV, Khaliullin DT. [Development of a method for determining mechanical microdamages of grain]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. 12-2. 264-267 p.

17. Nurullin EG, Fayzullin RA. [Experimental study of seed injury in agricultural machines]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 2(66). 99-105 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-99-105.

Authors:

Khasanov Eduard Rifovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Mechatronic Systems and Agricultural Machinery Department, e-mail: hasan_ed@mail.ru

Mirzamatov Radmir Rinatovich – post-graduate student of Mechatronic Systems and Agricultural Machinery Department, e-mail: radmir97-97@mail.ru

Yakupov Andrey Maratovich – Ph.D. of Technical Sciences, associate professor of Mechatronic Systems and Agricultural Machinery Department, e-mail: ya-andrei75@mail.ru

Yamaletdinov Marsel Musavirovich – Ph.D. of Technical Sciences, associate professor of Mechatronic Systems and Agricultural Machinery Department, e-mail: marselcsm@mail.ru
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.