

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.362.36:635.62

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-40-46>

## Разработка новой камеры разрежения для пневматического сепаратора семян

*Н.А. Круглых*

Луганский государственный аграрный университет – ФГБОУ ВО ЛГАУ имени К.Е. Ворошилова; г. Луганск, Россия  
nikakom-1@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-6743-8300>

**Аннотация.** Повышая качество посевного материала путем отбора лучших семян для посева, можно добиться повышения валовых сборов урожая. На кафедре сельскохозяйственных машин ЛГАУ был разработан и собран экспериментальный образец пневматического сепаратора семян овощных и бахчевых культур, достоинством которого является повышение качества сепарации плоских семян за счет ориентирования их на цилиндрической опорной поверхности. С целью повышения качества работы нового сепаратора авторы разработали новую камеру разрежения, позволяющую повысить равномерность разрежения по всей рабочей поверхности. Авторы провели моделирование воздушных потоков и распределения вакуумметрического давления в исходном и предложенном образце воздушных камер с помощью программы SolidWorks Flow Simulation. Аэродинамический расчет показал достоинства разработанной камеры. Разработанную модель камеры разрежения напечатали на 3D-принтере из пластика PETG. Для подтверждения результатов моделирования провели опыт по измерению перепадов давления в новой и исходной воздушных камерах. При помощи прибора Testo 510i в трехкратной повторности отслеживали перепады вакуумметрического давления с частотой измерений один раз в секунду при линейной скорости вращения поверхности сепаратора 0,5 см/с. Обработка экспериментальных данных учитывала усредненные показатели по пяти возможным траекториям движения семян по отношению к воздушной камере. По результатам эксперимента установлено, что разработанная камера обеспечивает более равномерное разрежение, среднее отклонение границ вакуумметрического давления уменьшилось с 11,70 до 7,56 Па. По результатам дисперсионного анализа общая точность опыта составила 0,53%. По результатам проведенных исследований разработанная камера разрежения будет интегрирована в конструкцию сепаратора.

**Ключевые слова:** сепаратор; семена; моделирование; воздушная камера; камера разрежения; аэродинамический расчет; равномерность разрежения

**Для цитирования:** Круглых Н.А. Разработка новой камеры разрежения для пневматического сепаратора семян // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 3. С. 40-46. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-40-46>

## ORIGINAL ARTICLE

## Development of a new vacuum chamber for a pneumatic seed separator

*N.A. Kruglykh*

Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov; Lugansk, Russia;  
nikakom-1@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-6743-8300>

**Abstract.** Improving the quality of seed material by selecting the best seeds for sowing, we can increase gross harvests. At the Department of Agricultural Machinery of Lugansk State Agrarian University, the author previously developed and assembled an experimental model of a pneumatic separator for seeds of vegetable and melon crops, the advantage of which is an increase in the quality of separation of flat seeds due to their positioning on a cylindrical support surface. In order to improve the quality of the new separator, a new vacuum chamber was developed, capable of increasing the uniformity of vacuum over the entire working surface. The authors performed a simulation of airflows and vacuum pressure distribution in the original and proposed sample of air chambers using SolidWorks Flow Simulation software. The aerodynamic calculation clearly demonstrated the advantages of the developed chamber. The developed model of the vacuum chamber was printed on a 3D printer from PETG plastic. In order to confirm the simulation results, an experiment was conducted to measure pressure drops in the new and original air chambers. Using the Testo 510i device,

the author monitored the differences in vacuum pressure with a measurement frequency of once per second at a linear rotation speed of 0.5 cm/s with three retakes of the experiment. While processing the experimental data, the author took into account the averaged indicators for five possible trajectories of the seed movement in relation to the air chamber. According to the experiment results, it was found that when using the developed vacuum chamber, the average deviation of the vacuum pressure boundaries decreased from 11.70 Pa to 7.56 Pa. The overall accuracy of the experiment was 0.53%. Based on the research results, the developed rarefaction chamber will be integrated into the separator design.

**Keywords:** separator; seeds; simulation; air chamber; rarefaction chamber; aerodynamic calculation; rarefaction uniformity

**For citation:** Kruglykh N.A. Development of a new vacuum chamber for a pneumatic seed separator. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(3):40-46 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-40-46>

## Введение

По мнению специалистов, продовольственная независимость любой страны возможна только тогда, когда импорт продуктов питания в общем объеме составляет не более 20% [1]. В России в XXI в. наблюдается тенденция увеличения валовых сборов бахчевых культур [2]. Известно, что улучшение качества посевного материала путем отбора семян с наибольшей массой позволяет повысить урожайность плодов [3-5].

На кафедре сельскохозяйственных машин ЛГАУ был разработан новый пневматический сепаратор семян овощных и бахчевых культур [6, 7]. Его основными достоинствами являются равномерное воздействие на семена при сепарации и их ориентирование на рабочей цилиндрической поверхности [8]. Сепарация происходит за счет действия двух воздушных камер с разным разрежением, расположенных на разных участках наклонного барабана. Проходя через рабочую поверхность, присосавшиеся семена легкой и средней фракций распределяются по приемным лоткам, а тяжелая фракция проходит через барабан, не присосавшись (рис. 1). Одним из методов интенсификации данной технологии является выравнивание вакуумметрического давления в воздушных камерах.

**Цель исследований:** разработка и создание воздушных камер для сепаратора более рациональной формы и экспериментальное подтверждение теоретических исследований.

## Материалы и методы

Схема нового пневматического сепаратора семян овощных и бахчевых культур представлена на рисунке 1.

При моделировании исходной и разработанной камер разрежения использовали программу для общего параметрического моделирования потока SolidWorks Flow Simulation. После введения начальных и граничных условий (табл. 1) провели

моделирование воздушных потоков и моделирование распределения разрежения в воздушных камерах. Участки воздушной камеры с перепадами давлений определяли при помощи цветовой гаммы и индикатора атмосферного давления. Чем ниже атмосферное давление, тем выше на данном участке разрежение. Путем вытяжения стенок воздушной камеры в местах избыточного разрежения в исходной воздушной камере создали условия для более равномерного распределения разрежения в разработанной камере.

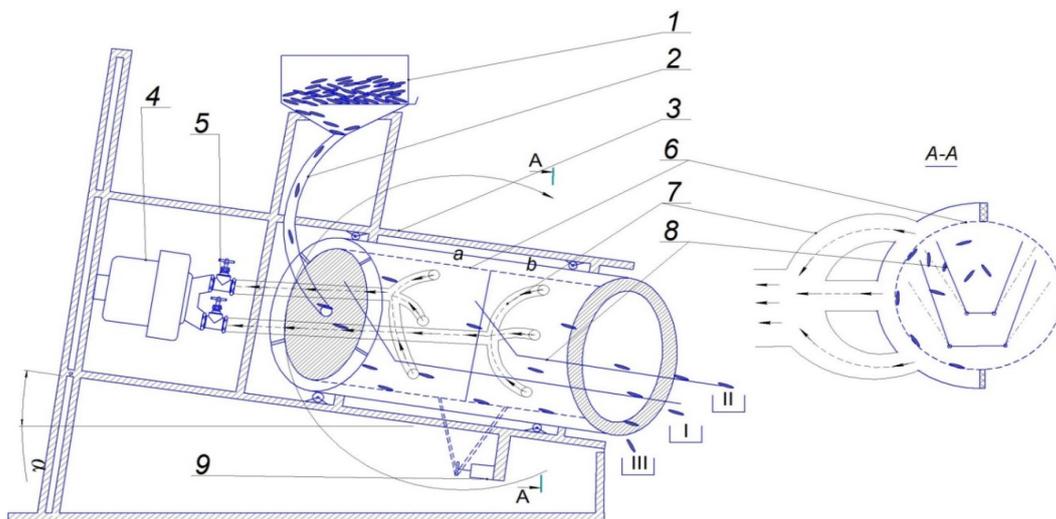
По результатам моделирования на 3D-принтере напечатали новые воздушные камеры разрежения из пластика PETG.

Для получения значений перепадов разрежения на рабочей поверхности к одному из отверстий присоединили трубку со смарт-зондом Testo 510i. Поверхность сепаратора вращалась с линейной скоростью 0,5 см/с ( $0,08 \text{ c}^{-1}$ ). Прибор фиксировал вакуумметрическое давление с частотой один раз в секунду на протяжении прохождения всей рабочей зоны воздушной камеры. Эксперимент проводили с трехкратной повторностью, данные автоматически сохранялись в формате Microsoft Excel для дальнейшей обработки. Для контроля линейной скорости вращения на поверхность наклеили мерную ленту с пометками 0,5 см и использовался метроном, настроенный на 60 bpm.

## Результаты и их обсуждение

Результаты моделирования воздушных потоков и распределения разрежения в воздушных камерах представлены на рисунках 2-5. Геометрические параметры разработанной воздушной камеры представлены на рисунке 6.

Результаты моделирования процесса сепарации с учетом заданных начальных и граничных условий по двум камерам представлены в таблице 2. Аэродинамический расчет подтвердил достоинства разработанной формы камеры.



**Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема нового пневматического сепаратора:**

1 – бункер для семян; 2 – гофра для подачи семян; 3 – рама; 4 – вакуумный вентилятор; 5 – регулировочный вентиль; 6 – рабочая поверхность; 7 – воздушная гофра; 8 – приемный лоток; 9 – привод; а – зона первой воздушной камеры; б – зона второй воздушной камеры; I – фуражная фракция; II – товарная фракция; III – посевная фракция

**Fig. 1. Design and technological scheme of the new pneumatic separator:**

1 – seed hopper; 2 – corrugation for seed feeding; 3 – frame; 4 – vacuum fan; 5 – adjusting valve; 6 – working surface; 7 – air corrugation; 8 – receiving tray; 9 – drive; a – zone of the first air chamber; b – zone of the second air chamber; I – forage fraction; II – marketable fraction; III – sowing fraction

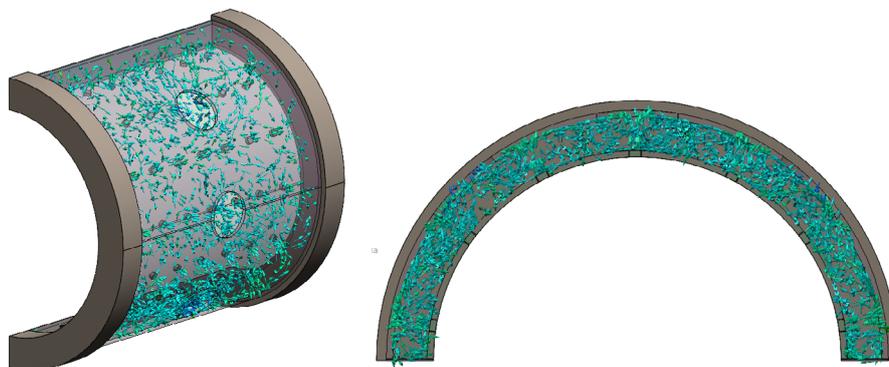
**Начальные условия для моделирования процесса**

Таблица 1

**Initial conditions for process modeling**

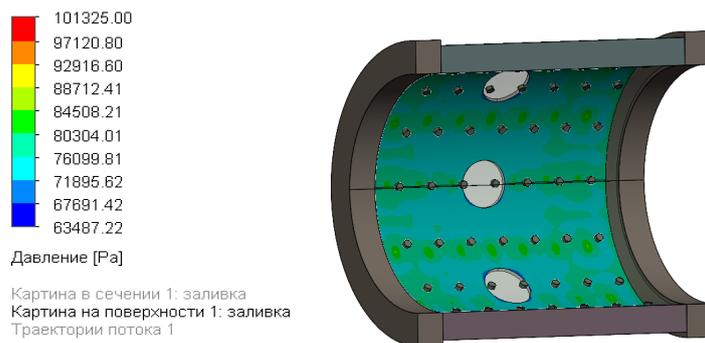
Table 1

Параметры / Parameters	Значение / Value
<b>Термодинамические параметры / Thermodynamic parameters:</b> статическое давление, Па / static pressure, Pa температура, К / temperature, K	101325 293,20
<b>Вектора скорости в направлениях X, Y, Z, м/с / Velocity vectors in X, Y, Z directions, m/s</b>	0
<b>Параметры турбулентности / Turbulence parameters:</b> интенсивность, % / intensity, % масштаб длины, м / length scale, m	2,00 8,050e-04
<b>Поверхность барабана / Drum surface</b>	<b>внутренняя / internal</b>
<b>Система координат / Coordinate system</b>	<b>глобальная / global</b>
<b>Базовая ось / Reference axis</b>	X
<b>Тип пограничного слоя / Boundary layer type</b>	<b>турбулентный / turbulent</b>

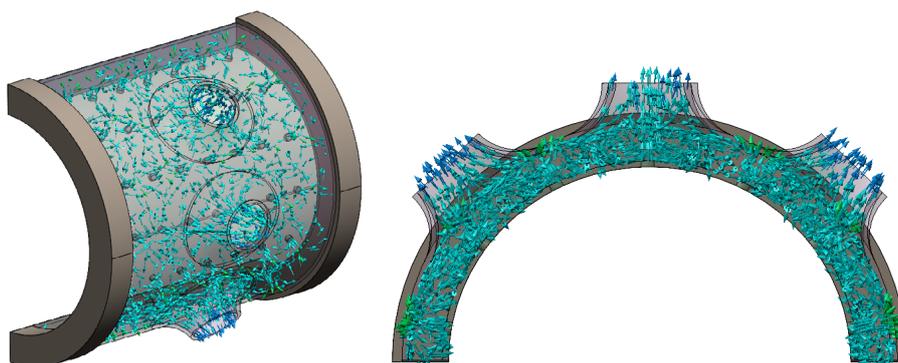


**Рис. 2. Моделирование воздушного потока в исходной камере разрежения**

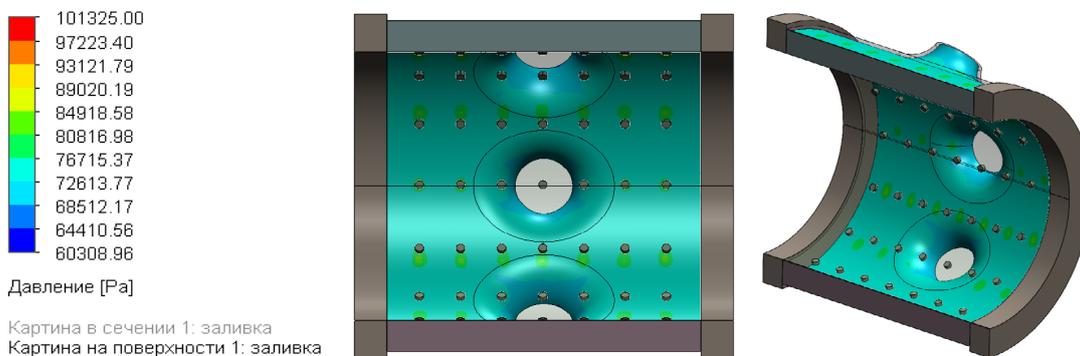
**Fig. 2. Modeling of air flow in the original rarefaction chamber**



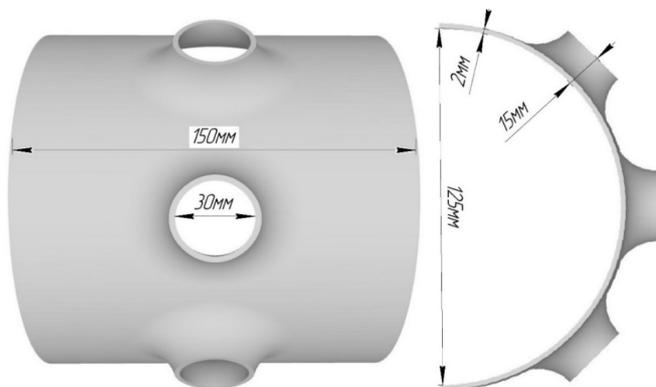
**Рис. 3. Моделирование перепадов давления в исходной камере разрежения**  
**Fig. 3. Modeling of a pressure drop in the original rarefaction chamber**



**Рис. 4. Моделирование воздушного потока в разработанной камере разрежения**  
**Fig. 4. Modeling of an air flow in the developed rarefaction chamber**



**Рис. 5. Моделирование перепадов давления в разработанной камере разрежения**  
**Fig. 5. Modeling of a pressure drop in the developed rarefaction chamber**



**Рис. 6. Габаритная схема воздушной камеры**  
**Fig. 6. Dimensional diagram of the air chamber**

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- наблюдается уменьшение разрежения в разработанной воздушной камере (за счет обтекаемой формы обеспечивается более равномерный поток на выходные патрубки);
- в разработанной камере создается значительно меньше воздушных завихрений, что положительно сказывается на равномерности разрежения;
- чем ближе отверстия цилиндра камеры расположены к выходным патрубкам, тем выше разрежение в исходной и разработанной камерах;
- разработанная камера разрежения более целесообразна к применению, поскольку выполняется

требование более равномерного распределения разрежения по всей камере.

Наиболее подходящим методом для получения обтекаемой формы корпуса камеры разрежения является метод аддитивных технологий [9]. Смоделированные камеры разрежения напечатали на 3D-принтере. Выбрали пластик типа PETG от производителя НИТ, который по своим характеристикам отвечает нашим требованиям по прочности и стойкости к температурам.

Для проверки результатов программного аэродинамического расчета провели опыт по измерению перепадов разрежения в обеих камерах разрежения при одинаковых условиях работы (рис. 7).

В результате замеров показателей разрежения с шагом 0,5 см получили по 36 точек замеров разрежения в воздушной камере по трем траекториям движения семени с трехкратной повторностью. По усредненным результатам замеров из трех повторений по трем траекториям в исходной и разработанной камерах разрежения по всем точкам измерений провели дисперсионный анализ, который позволил вычислить отклонения границ давления по каждой траектории движения. Провели также дисперсионный анализ трех повторений измерений по каждой точке согласно методике обработки экспериментов [10], что позволило определить точность опыта.

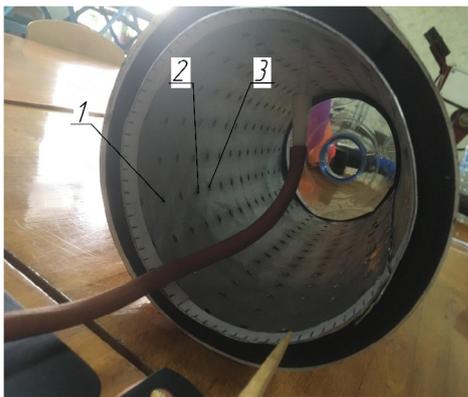
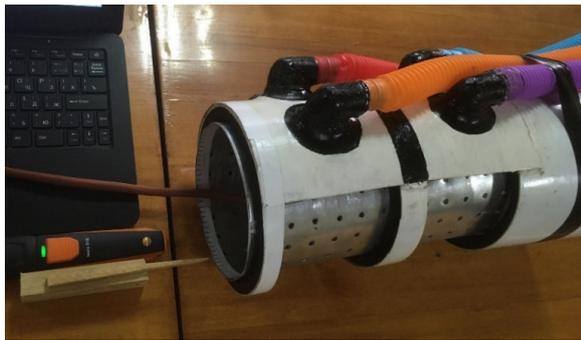
Таблица 2

Расчетные значения показателей исходной и разработанной камер разрежения

Table 2

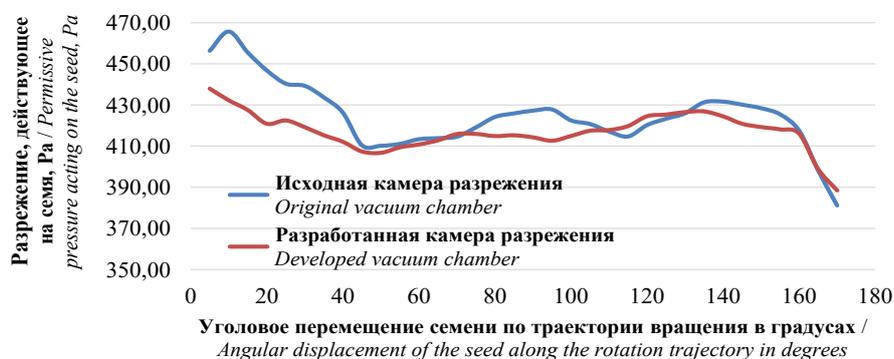
Calculated values of indicators of the original and developed vacuum chamber

Показатель <i>Indicator</i>	Исходная камера <i>Original chamber</i>		Разработанная камера <i>Developed chamber</i>	
	Минимальное значение <i>Minimum value</i>	Максимальное значение <i>Maximum value</i>	Минимальное значение <i>Minimum value</i>	Максимальное значение <i>Maximum value</i>
Давление, Па / <i>Pressure, Pa</i>	63487,22	101325,00	60308,96	101325,00
Плотность (текучая среда), кг/м <sup>3</sup> / <i>Density (fluid medium), kg/m<sup>3</sup></i>	0,71	1,20	0,69	1,20
Скорость по оси, м/с / <i>Velocity X, Y, Z-axis, m/s</i>	0	230,424	0	237,239
<i>X</i>	-91,678	223,652	-103,279	237,224
<i>Y</i>	-217,079	216,390	-227,073	226,453
<i>Z</i>	-136,611	147,555	-138,096	155,217
Температура, К / <i>Temperature, K</i>	289,64	316,61	288,94	318,61
Температура (текучая среда), К / <i>Temperature (fluid), K</i>	289,64	316,61	288,94	318,61
Завихренность, 1/с / <i>Vorticity, 1/s</i>	67,36	244164,23	121,06	217622,12
Скорость по оси во вращающейся системе координат, м/с <i>Velocity in the rotating coordinate system X, Y, Z-axis, m/s</i>	0	230,424	0	237,239
<i>X</i>	-91,678	223,652	-103,279	237,224
<i>Y</i>	-217,079	216,390	-227,073	226,453
<i>Z</i>	-136,611	147,555	-138,096	155,217
Число Маха / <i>Mach number</i>	0	0,67	0	0,70
Касательное напряжение, Па / <i>Tangential stress, Pa</i>	0	66,49	0	155,23
Относительное давление, Па / <i>Relative pressure, Pa</i>	-37837,78	0	-41016,04	0
Индикатор неколлинеарности теплового потока <i>Heat flux non-collinearity indicator</i>	2,0008332e-06	1,0000000	4,6648228e-06	1,0000000
Индикатор теплового сопротивления / <i>Heat resistance indicator</i>	2,2146269e-08	1,0000000	1,4399799e-07	1,0000000
Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м <sup>2</sup> · К) / <i>Heat transfer coefficient, W/(m<sup>2</sup> · K)</i>	0	0	0	0
Поверхностная плотность теплового потока, Вт/м <sup>2</sup> <i>Surface heat flux density, W/m<sup>2</sup></i>	0	0	0	0
Поверхностная плотность теплового потока (конвекция), Вт/м <sup>2</sup> <i>Surface heat flux density (convection), W/m<sup>2</sup></i>	2,918e+07	7,173e+07	-2,644e+07	7,232e+07
Акустическая мощность, Вт/м <sup>3</sup> / <i>Acoustic power, W/m<sup>3</sup></i>	0	650,909	0	7258,110
Уровень акустической мощности, дБ / <i>Acoustic power level, dB</i>	0	148,14	0	158,61



**Рис. 7. Общий вид экспериментальной установки:**  
1, 2, 3 – траектории движения семени для измерений

**Fig. 7. General view of the experimental installation:**  
1, 2, 3 – trajectories of seed movement for measurements



**Рис. 8. Зависимость вакуумметрического воздействия на семя от его углового перемещения по траектории вращения**  
**Fig. 8. Relationship between the vacuum-metric influence on the seed and its angular displacement along the rotation trajectory**

### Выводы

1. Теоретически, методом программного аэродинамического моделирования, определена эффективность исходной камеры разрежения, не имеющей разницы расстояния от стенки камеры до сепарирующей поверхности в зависимости от расстояния от пневмотрубопроводов, и разработанной камеры разрежения, учитывающей этот фактор. Установлено, что разработанная камера обеспечивает более равномерное разрежение за счет формы с вытянутыми участками, в которых в исходной камере наблюдалось избыточное давление.

2. Экспериментально подтверждено достоинство разработанной формы воздушной камеры. При переходе

Получили зависимость вакуумметрического воздействия на семя по мере его углового перемещения по траектории вращения в исходной и разработанной камерах разрежения (рис. 8). Для этого 36 точек замеров в камерах разрежений в полуцилиндре были заменены на 180 градусов по оси  $Y$ .

По результатам эксперимента можно отметить, что при использовании разработанной камеры разрежения среднее отклонение границ вакуумметрического давления согласно дисперсионному анализу уменьшилось с 11,70 до 7,56 Па. Кривая на графике, отражающая результаты замеров исходной камеры разрежения, указывает на повышенное разрежение на трех участках полуцилиндра (примерно там, где происходит высасывание воздуха). Согласно графику в разработанной воздушной камере перепады давлений менее значительны, и небольшой избыток разрежения в нижней части полуцилиндра не оказывает негативного влияния на качество сепарации, так как отрыв семян при сепарации происходит выше. По результатам дисперсионного анализа общая точность опыта составила 0,53%.

После экспериментального подтверждения преимуществ разработанной камеры разрежения перед исходной в конструкцию сепаратора будет установлена новая камера.

на разработанную камеру отклонение границ вакуумметрического давления уменьшилось с 11,70 до 7,56 Па. Общая точность опыта составила 0,53%.

3. Разработанная воздушная камера с более равномерным распределением разрежения позволит повысить качество разделения семян, поскольку участки камеры с перепадами давления могут привести к присасыванию и попаданию в лотки тяжелых кондиционных семян либо, наоборот, к раннему отрыву от поверхности недоразвитого семени в случае участка с недостаточным разрежением. Поэтому по результатам проведенных исследований, разработанная воздушная камера будет интегрирована в конструкцию сепаратора.

## Список источников

1. Семин А.Н. К вопросу о понятиях «продовольственная независимость» и «продовольственная безопасность» // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2013. № 11. С. 1-4. EDN: RNLWUV
2. Ташкинов Е.В. Современное состояние бахчеводства в Российской Федерации // Молодежная наука-2024: технологии, инновации: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной Десятилетию науки и технологий в Российской Федерации, г. Пермь, 8-12 апреля 2024 г. Пермь: ИПЦ Прокрость, 2024. С. 173-178. EDN: ROGSOO
3. Вабищевич Ю.Е. Влияние качества посевного материала на продуктивность гречихи сорта Девятка // Молодежный вестник дальневосточной аграрной науки: Сборник студенческих научных трудов. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2024. С. 5-9. EDN: ANXXJJ
4. Сунцов А.В., Огородников Л.П. Эффективность новой технологии подготовки семян // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 6. С. 36-38. EDN: NXACUL
5. Буенков А.Ю., Кудряшов С.П. Изменение количества и массы 1000 семян по годам, их влияние на урожайность семян сортов подсолнечника // Масличные культуры. 2023. № 3 (195). С. 12-18. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2023-3-195-12-18>
6. Сепаратор семян овощных и бахчевых культур: Патент RU2822527 C1, МПК B07B4/00 / Н.А. Круглых, А.А. Ильченко, С.Ф. Вольвак и др. № заявки 2024104114, заявл. 16.02.2024; Опубл. 08.07.2024. EDN: BCRSNC
7. Круглых Н.А., Ильченко А.А. Исследование разделения семян тыквы на новом пневматическом сепараторе // Вестник аграрной науки. 2023. № 3 (102). С. 71-77. EDN: MRUAKU
8. Ильченко А.А., Круглых Н.А., Гоженко Н.Ю. Перспективы разработок аэродинамических сепараторов для семян, имеющих плоскую форму поверхности // Профессия инженер: Сборник статей по материалам XI Всероссийской молодежной научно-практической конференции, г. Орел, 14 апреля 2023 г. / Под общ. ред. А.Л. Севостьянова. Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2023. С. 116-121. EDN: HQNHZC
9. Осипов Д.В., Иванов П.Ю., Ковшин А.С., Пахомов В.В. Применение методов конечных элементов при изготовлении изделий с помощью аддитивных технологий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. № 4 (76). С. 162-172. EDN: SIGRFP
10. Королев А.И., Медведев Д.Ю., Овдворцев А.Ю. Методика проведения однофакторного эксперимента в учебном процессе // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, г. Воронеж, 25 февраля 2021 г. / Под общ. ред. О.М. Костинова, А.В. Божко. Ч. II. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. С. 264-268. EDN: OMOVZHY

## Информация об авторе

**Круглых Никита Александрович**, аспирант,  
Луганский государственный аграрный университет –  
ФГБОУ ВО ЛГАУ имени К.Е. Ворошилова;  
291008, Российская Федерация, г. Луганск,  
р-н Артёмовский, тер. Лнау, д. 1;  
nikakom-1@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-6743-8300>;  
SPIN-код: 8872-8094, AuthorID: 1230788

## References

1. Semin A.N. On the problem of notions “food security” and “food safety”. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2013;11:1-4. (In Russ.)
2. Tashkinov E.V. Current state of melon growing in the Russian Federation. *Youth Science-2024: Technologies, Innovations: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference of young scientists, postgraduates and students, dedicated to the Decade of Science and Technology in the Russian Federation, Perm, April 8-12, 2024 Perm: IPTs Prokrost, 2024. P. 173-178. (In Russ.)*
3. Vabishchevich Yu.E. The influence of the seed quality on the productivity of buckwheat varieties Devyatka. *Youth Bulletin of Far Eastern Agrarian Science: Collection of Student Scientific Papers*. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University. P. 3-9. (In Russ.)
4. Suntsov A.V., Ogorodnikov L.P. New technology training seeds. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2011;6:36-38. (In Russ.)
5. Buenkov A.Yu., Kudryashov S.P. Changing of seed amount and 1,000 seeds weight by years, their impact on seed yield of sunflower varieties. *Oil Crops*. 2023;3:12-18. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2023-3-195-12-18>
6. Kruglykh N.A., Ilchenko A.A., Volvak S.F. et al. Vegetable and melons seeds separator: patent RU2822527 C1, IPC B07B4/00, 2024. (In Russ.)
7. Kruglykh N.A., Ilchenko A.A. Study of the separation of pumpkin seeds on a new pneumatic separator. *Bulletin of Agrarian Science*. 2023;3:71-77. (In Russ.)
8. Ilchenko A.A., Kruglykh N.A., Gozhenko N.Yu. Prospects for the development of aerodynamic separators for seeds with a flat surface. *Engineering Profession: Collection of articles based on the proceedings of the XI All-Russian Youth Scientific and Practical Conference, Orel, April 14, 2023*. Edited by A.L. Sevostyanov. Orel: Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 2023. P. 116-121. (In Russ.)
9. Osipov D.V., Ivanov P.Yu., Kovshin A.S., Pakhomov V.V. Application of finite element methods in the manufacture of products using additive technologies. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2022;4:162-172. (In Russ.)
10. Korolev A.I., Medvedev D.Yu., Odnodvortsev A.Yu. Methods of conducting a single-factor experiment in the educational process. *Trends in the Development of Technical Means and Technologies in the Agro-Industrial Sector: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, February 25, 2021*. Edited by O.M. Kostikov, A.V. Bozhko. Part II. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 2021. P. 264-268. (In Russ.)

## Author Information

**Nikita A. Kruglykh**, PhD student, Lugansk State  
Agrarian University named after K.E. Voroshilov;  
291008, Russian Federation, Lugansk,  
Artemovskiy district, LSAU area, Bld. 1;  
nikakom-1@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-6743-8300>

Статья поступила 10.01.2025, после рецензирования и доработки 03.04.2025; принята к публикации 04.04.2025

Received 10.01.2025; Revised 03.04.2025; Accepted 04.04.2025