

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2025. № 4 (81). С. 124–132.  
Buryat Agrarian Journal. 2025;4(81):124–132.

Научная статья

УДК 631.362.36:635.62

doi: 10.34655/bgsha.2025.81.4.015

## Определение рабочих параметров для пневматического сепаратора семян

**Никита Александрович Круглых**

Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова, Луганск, Россия, nikakom-1@mail.ru

**Аннотация.** Бахчевые культуры занимают стратегически важное место в растениеводстве, где отбор высококачественных семян является ключевым фактором повышения урожайности и качества плодов. Основной проблемой при подготовке семян тыквы и других бахчевых культур является их плоская форма, обуславливающая сильную зависимость аэrodинамического сопротивления от ориентации относительно воздушного потока и существенно осложняющая эффективную сепарацию традиционными методами. Для решения этой задачи на кафедре сельскохозяйственных машин Луганского ГАУ разработаны новые конструкции пневматических сепараторов (включая лабораторный образец и опытный образец ССБ-0,1), обеспечивающие стабильную ориентацию семян на рабочей поверхности и равномерное воздействие воздушного потока. Целью данного исследования стало определение оптимальных рабочих параметров процесса для пневматической сепарации семян тыквы на лабораторном образце сепаратора с учетом взаимодействия ключевых факторов. Для достижения цели был спланирован и проведен многофакторный эксперимент, в котором варьировались три параметра: частота вращения барабана ( $x_1$ , об/с), разрежение в воздушных камерах ( $x_2$ , Па) и угол наклона барабана ( $x_3$ , градусы). Обработка экспериментальных данных (масса тысячи семян целевой посевной фракции) осуществлялась с использованием программных пакетов PlanExp B-D13 и Python, что позволило построить адекватную математическую модель процесса и провести его оптимизацию. В результате регрессионного анализа установлены следующие оптимальные параметры, обеспечивающие максимизацию качества сепарации: частота вращения барабана – 0,418 об/с; разрежение в отверстиях рабочей поверхности – 270.24 Па; угол наклона барабана – 8,714°. Применение данных параметров позволяет существенно оптимизировать процесс сепарации и сократить время настройки оборудования перед началом работы. Для промышленного образца ССБ-0,1 рекомендовано проведение аналогичного исследования.

**Ключевые слова:** бахчевые культуры; семена; пневматический сепаратор; многофакторный эксперимент; частота вращения; разрежение; угол наклона.

Original article

## Assessment of the operating parameters for a pneumatic seed separator

**Nikita A. Kruglykh**

Lugansk State Agrarian University, Lugansk, Russia,  
nikakom-1@mail.ru

**Abstract.** Cucurbit crops have a strategically important position in plant growing, where the selection of high-quality seeds is a key factor to increase yield capacity and fruit quality. The primary

challenge in preparing pumpkin and other cucurbit crop seeds is their flat shape, which causes a strong dependence of aerodynamic drag on orientation with regard to the airflow and significantly complicates efficient seed separation by traditional methods. To address this problem, the Department of Agricultural Machinery at Lugansk State Agrarian University has developed new designs of pneumatic separators (including a laboratory prototype and the experimental model SSB-0.1), ensuring stable seed orientation on the working surface and uniform exposure to the air stream. The aim of this study was to determine the optimal operating parameters for the pneumatic separation process of pumpkin seeds using the laboratory separator prototype, accounting for the interaction of key factors. To achieve the goal, a multifactorial experiment was planned and conducted, varying three parameters: drum rotational rate ( $x_1$ , rps), suction pressure in the air chambers ( $x_2$ , Pa), and drum tilt angle ( $x_3$ , degrees). Processing of the experimental data (thousand-seed weight of the target sowing fraction) was performed using the software packages PlanExp B-D13 and Python, enabling the construction of a relevant mathematical model of the process and its optimization. Regression analysis allowed identifying the following optimal parameters maximizing separation quality: drum rotational rate – 0.418 rps; suction pressure in the working surface holes – 270.24 Pa; drum tilt angle – 8.714°. Applying these parameters helps to optimize significantly the separation process and reduces equipment setup time before the start of the operation. For the industrial prototype SSB-0.1, conducting a similar study is recommended.

**Keywords:** cucurbit crops, seeds, pneumatic separator, multifactorial experiment, rotational rate, suction pressure, tilt angle.

**Введение.** Бахчевые культуры занимают стратегически важное место в мировом и российском растениеводстве [1], сочетая экономическое, агроэкологическое и социально-пищевое значение. Их значимость подтверждается научными исследованиями и рыночными анализа-ми, раскрывающими влияние этих культур [2]. Известно, что отбор семян по комплексным признакам, влияющим на содержание питательных веществ, позволяет повысить урожайность плодов [3, 4, 5, 6]. Однако проблема аэродинамической сепарации семян бахчевых культур обусловлена их плоской формой. Это затрудняет качественное разделение, поскольку миделево сечение семени и, следовательно, его аэродинамическое сопротивление существенно зависят от ориентации относительно воздушного потока. Активные исследования аэродинамических свойств семян, прогнозирования их поведения в воздушном потоке и разработки новых конструкций сепараторов для минимизации данных рисков ведутся и зарубежными учеными [7, 8], что подчеркивает актуальность проблемы.

На кафедре сельскохозяйственных машин Луганского государственного аграрного университета им. К.Е. Ворошилова разработаны и изготовлены опытные

образцы пневматических сепараторов новой конструкции для семян овощных и бахчевых культур. Лабораторный образец использовался для проведения всех исследований по сепарации [9, 10]. Опытный образец ССБ-0,1 обладает повышенной производительностью и предназначен для апробации технологии в условиях АПК (испытания в фермерских хозяйствах, демонстрация на аграрных выставках). Ключевыми преимуществами конструкции являются обеспечение равномерного воздействия воздушного потока на семена и их стабильная ориентация на рабочей цилиндрической поверхности [11].

**Цель исследования** – определение оптимальных параметров работы нового пневматического сепаратора для сепарации семян овощных и бахчевых культур.

**Материалы и методы исследования.** Схема нового пневматического сепаратора семян овощных и бахчевых культур представлена на рисунке 1.

Принцип сепарации основан на создании градиента разрежения двумя воздушными камерами на поверхности наклонного барабана. Под действием разрежения семена легкой и средней фракций прилипают к перфорированной поверхности и транспортируются в целевые лотки,

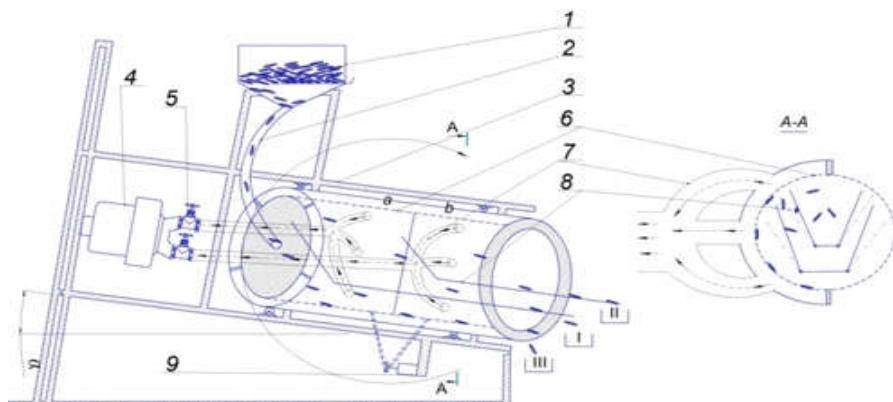


Рисунок 1. Конструктивно-технологическая схема нового пневматического сепаратора

Примечание: 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

в то время как тяжелая фракция, не взаимодействуя с воздушным потоком, пере-

мещается по барабану и сбрасывается с него.



Рисунок 2. Лабораторный образец пневматического сепаратора

Примечание: 1 – бункер; 2 - гофра для подачи семян; 3 – рама; 4 – камера с вентилятором; 5 – воздушная гофра; 6 – перфорированная рабочая поверхность; 7 – ролик; 8 – семяприемник тяжелой фракции; 9 – привод



Рисунок 3. Пневматический сепаратор ССБ-0,1 (опытный образец)

Для эксперимента по сепарации были взяты неотсортированные семена сорта «Крокус» с  $m_{1000}$  225 г. Требования к посевной фракции начинаются с  $m_{1000}$  260 г.

Для оптимизации качества сепарации, определяемого зависимостью от нескольких параметров, применен метод многофакторного эксперимента. Данный подход позволяет построить адекватное математическое описание процесса и определить область оптимальных параметров.

Фиксированная производительность лабораторной установки составила 25,7 кг/ч, что соответствует рациональному значению, установленному в ходе однофакторных испытаний.

В качестве варьируемых факторов, влияющих на качество сепарации лабораторного образца, выбраны три параметра работы сепаратора:

1. Частота вращения барабана ( $x_1$ ),  $\text{с}^{-1}$  (об/с).
2. Разрежение в воздушных камерах ( $x_2$ ), Па.
3. Угол наклона барабана ( $x_3$ ), градусы.

Выбор варьируемых факторов обусловлен их прямым влиянием на динамику движения семян в зоне сепарации и баланс действующих на них сил. В процессе пневматической сепарации на семя действуют три ключевые силы:

- центробежная сила, пропорциональная квадрату частоты вращения барабана;
- сила вакуумного присасывания, определяемая величиной разрежения в перфорированных зонах;
- проекция силы тяжести вдоль образующей барабана, зависящая от угла его наклона.

Именно совокупное действие этих сил определяет момент и место отрыва семени от рабочей поверхности, а следовательно, его попадание в соответствующую фракцию.

Выбор трех факторов соответствует общепринятой практике планирования

экспериментов второго порядка, где число факторов ограничивается 3-4 для обеспечения управляемости числа опытов и статистической надёжности модели [12-15].

Уровни факторов кодированы: основной уровень – 0, нижний – -1, верхний – +1. Перевод натуральных значений факторов ( $x_i$ ) в кодированные ( $X_i$ ) осуществлялся по формуле линейного преобразования:

$$x_i = \frac{X_i - x_{0i}}{\Delta X_i}, \quad (1)$$

где:  $x_i$  – натуральное значение  $i$ -го фактора;

$x_{0i}$  – натуральное значение  $i$ -го фактора на основном уровне;

$\Delta X_i$  – интервал варьирования  $i$ -го фактора.

В соответствии с методикой проведения эксперимента предполагается проведение десяти серий экспериментов, каждая из которых включает в себя три повторности.

Обработка результатов эксперимента выполнена с использованием программных пакетов PlanExp B-D13 и Python.

**Результаты исследований и их обсуждения.** Показателями качества разделения семян пневматическим сепаратором является масса тысячи семян  $m_{1000}$ , попавших в третью посевную фракцию за промежуток времени  $Q_{3\phi}$  при  $m_{1000}$  исходного материала 225 г. Показатель массы семян, попавших в посевную фракцию за фиксированную единицу времени ( $Q_{3\phi}$ ), в данном эксперименте не являлся критерием оптимизации. Значение факторов были выбраны в таком диапазоне, чтобы обеспечить стабильное попадание 45-55% исходного материала в посевную фракцию, что было установлено ранее в серии однофакторных экспериментов.

Таблица 1 – Факторы и интервалы их варьирования

	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
x1:	0,27	0,4	0,53	0,13	частота вращения
x2:	200	280	360	80	разрежение
x3:	4	8	12	4	угол наклона

Таблица 2 – План эксперимента и результаты опытов

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (масса 1000 семян, г)		
	x1	x2	x2	частота вращения об/с <sup>-1</sup>	разрежение, Па	угол наклона, градусы	Y (u, 1)	Y (u, 2)	Y (u, 3)
1	-1	-1	-1	0,27	200	4	267	269	266
2	+1	-1	-1	0,53	200	4	251	253	249
3	-1	+1	-1	0,27	360	4	297	307	305
4	-1	-1	+1	0,27	200	12	259	261	259
5	-1	0,19	0,19	0,27	295,2	8,76	283	287	285
6	0,19	-1	0,19	0,4247	200	8,76	252	252	252
7	0,19	0,19	-1	0,4247	295,2	4	288	288	288
8	-0,29	+1	+1	0,3623	360	12	268	265	265
9	+1	-0,29	+1	0,53	256,8	12	253	251	252
10	+1	+1	-0,29	0,53	360	6,84	277	287	274

Таблица 3 – Коэффициенты уравнения регрессии

b0	b1	b2	b3	b11	b12	b13	b22	b23	b33
276,072	-8,882	12,597	-11,314	0,111	0,793	-1,523	-8,584	-5,978	-1,424

Уравнение математической модели в кодированных переменных имеет вид:

$$\begin{aligned}
 y = & (276,072) + (-8,882) \cdot x_1 + (12,597) \cdot x_2 + (-11,314) \cdot x_3 + \\
 & +(0,111) \cdot x_1^2 + (-8,584) \cdot x_2^2 + (-1,424) \cdot x_3^2 + (0,793) \cdot x_1 \cdot x_2 + \\
 & +(-1,523) \cdot x_1 \cdot x_3 + (-5,978) \cdot x_2 \cdot x_3
 \end{aligned} \quad (2)$$

Таблица 4 – Оценка значимости коэффициентов модели (критерий Стьюдента)

	b0	b1	b2	b3	b11	b12	b13	b22	b23	b33
t-критерий	98,8	7,425	10,53	9,458	0,048	0,556	1,068	3,713	4,192	0,616
Значимость	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0

Таблица 5 – Проверка адекватности математической модели (критерий Фишера)

Дисперсия адекватности ( $s^2_{\text{ад}}$ )	21,016
Число степеней свободы (fad)	4
F-расчетное	2,87
F-табличное ( $\alpha=0.05$ , fad, $f_e$ )	2,34

Поскольку F-расчетное (2.34) < F-табличного (2.87), уравнение регрессии (2) признано адекватным и может быть использовано для оптимизации.

$$\begin{aligned}
 y = & (276,072) + (0) + (12,597) \cdot x_2 + (-11,314) \cdot x_3 + (0) + (-8,584) \cdot x_2^2 + \\
 & +(-1,424) \cdot x_3^2 + (0) \cdot x_2 + (0) \cdot x_3 + (-5,978) \cdot x_2 \cdot x_3
 \end{aligned} \quad (3)$$

При взятии нулевого значения критерия  $x_1$  в качестве постоянного фактора уравнение было преобразовано:

Экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет 272,159. Экстремуму функции отклика

соответствуют значения факторов:  $x_2=-0,087$  (273,04) и  $x_3=0,189$  (8,756) при  $x_1=0$  (0,4).

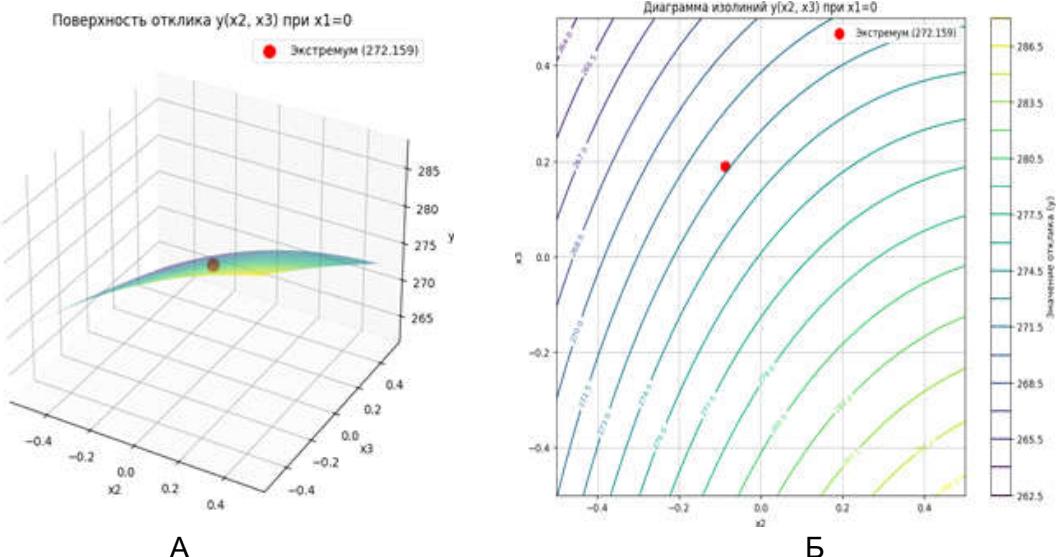


Рисунок 4. Графическое отображение отклика при постоянном значении частоты вращения барабана

Примечание: А – поверхность отклика; Б – диаграмма изолиний

Нелинейная форма поверхности свидетельствует о существенном взаимодействии между факторами  $x_2$  и  $x_3$ . Сгущение изолиний в определенных направлениях указывает на области наиболее интенсив-

ного изменения выходного параметра.

При взятии нулевого значения критерия  $x_2$  в качестве постоянного фактора уравнение выглядело следующим образом:

$$y = (275,841) + (-8,922) \cdot x_1 + (0) + (-11,274) \cdot x_3 + (0,278) \cdot x_1^2 + \\ + (0) + (-1,485) \cdot x_3^2 + (0) \cdot x_1 + (-1,451) \cdot x_1 \cdot x_3 + (0) \cdot x_3 \quad (4)$$

Экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет

232,557. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов:  $x_1=0,139$  (0,418) и  $x_3=0,168$  (8,672) при  $x_2=0$  (280).

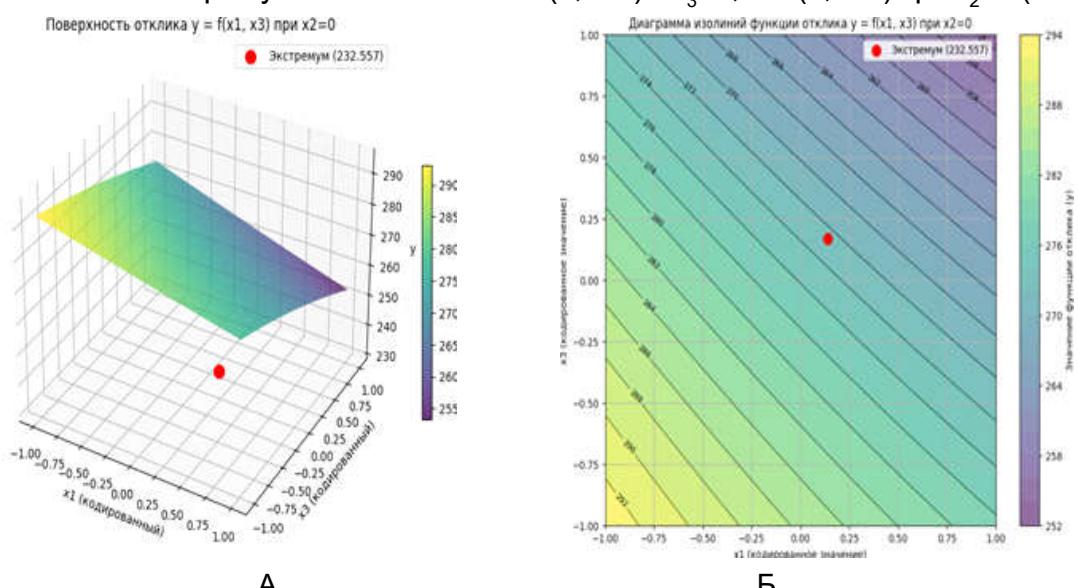


Рисунок 5. Графическое отображение отклика при постоянном значении разрежения

Примечание: А – поверхность отклика; Б – диаграмма изолиний

Почти параллельные изолинии без загибов свидетельствуют о том, что квадратичные эффекты и взаимодействия статистически значимы, но слабо влияют на общую форму поверхности отклика.

$$y = (276,405) + (-8,862) \cdot x_1 + (12,617) \cdot x_2 + (0) + (-0,168) \cdot x_1^2 + (-8,863) \cdot x_2^2 + (0) + (0,883) \cdot x_1 \cdot x_2 + (0) \cdot x_1 + (0) \cdot x_2 \quad (5)$$

Экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет 231,442. Экстремуму функции откли-

При взятии нулевого значения критерия  $x_3$  в качестве постоянного фактора уравнение выглядело следующим образом:

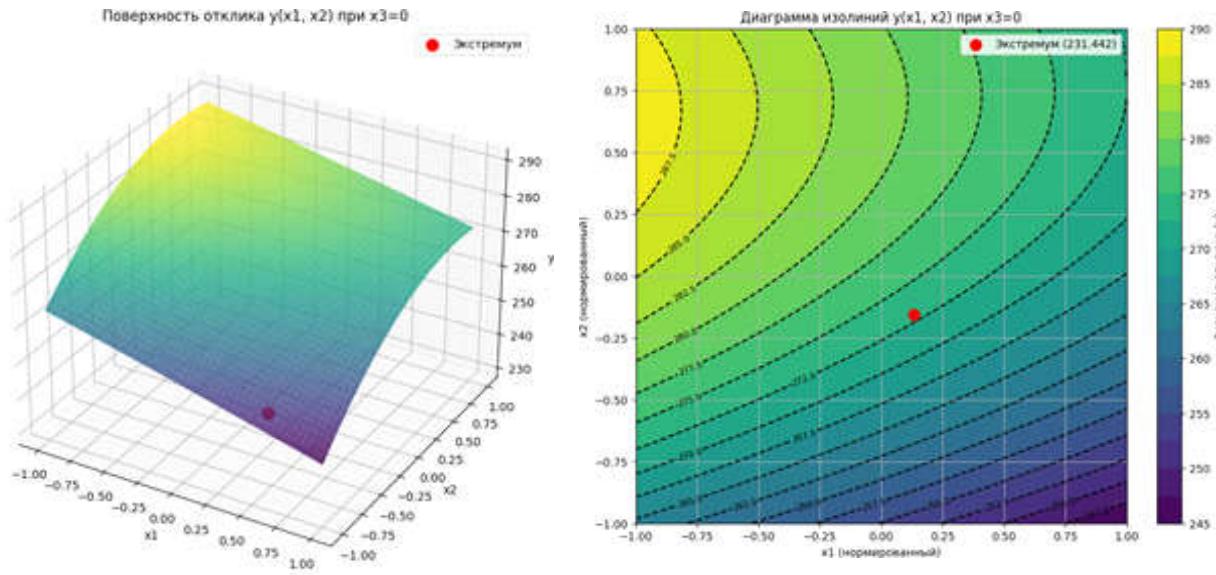


Рисунок 6. Графическое отображение отклика при постоянном значении угла наклона барабана

Примечание: А – поверхность отклика; Б – диаграмма изолиний

Наличие взаимодействия между факторами проявляется в асимметрии и повороте оси симметрии поверхности. Экстремум функции находится в рабочей области факторов, а значит полученная модель адекватно описывает поведение системы в исследованной области факторов и может быть использована для оптимизации процесса с учетом выявленных особенностей поверхности отклика.

Итоговые оптимальные значения факторов определены как среднее арифметическое результатов трёх частичных оптимизаций (при фиксации каждого из факторов поочерёдно). Такой подход позволяет учесть взаимное влияние всех трёх параметров и обеспечивает устойчи-

вую оценку оптимума в трёхмерном факторном пространстве. Разброс значений для каждого фактора не превышает 1-2% от диапазона варьирования, следовательно, модель устойчива, а оптимум чётко выражен.

**Выводы.** 1. Многофакторный эксперимент и регрессионный анализ позволили построить адекватную математическую модель процесса пневматической сепарации семян тыквы, учитывающую взаимодействие факторов.

2. Оптимальные параметры сепарации лабораторного образца сепаратора, обеспечивающие максимизацию массы тысячи семян целевой фракции, определены как частота вращения бараба-

на: 0.418 об/с, разрежение в воздушных камерах: 270.24 Па, угол наклона барабана: 8.714°.

3. Установленные параметры позволяют оптимизировать процесс сепарации и сократить время настройки лабораторного оборудования перед началом работы.

4. Для оптимальной настройки про-

мышленного образца ССБ-0,1, обладающего большим размером рабочего органа, необходимо проведение аналогичного многофакторного эксперимента, так как характер взаимодействия фактора частоты вращения ( $x_1$ ) с другими параметрами может отличаться.

#### Список источников

1. Колебошина Т.Г., Егорова Г.С., Варивода Е.А., Шапошников Д.С. Значение селекции бахчевых культур в развитии отрасли бахчеводства // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 1(45). С. 90–97. EDN: YSLEHZ.
2. Ломакина Т.В., Феськова М.В. Совершенствование методики калькулирования себестоимости продукции бахчевых культур в условиях концепции импортозамещения // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. Т. 11. С. 1356–1360. URL: <http://e-koncept.ru/2016/86291.htm> (дата обращения: 05.04.2025).
3. Гончаров А.В. Агробиологические и технологические основы повышения продуктивности и качества тыквы при механизированном возделывании в условиях Центрального региона Нечерноземной зоны Российской Федерации: дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 2023. 312 с. EDN: GQWCHH.
4. Хазраткулова Ш.У., Кобилов Н.Э. Влияние массы 1000 зёрен на прорастание семян в лабораторных условиях // Life Sciences and Agriculture. 2020. № 3 (7). С. 41–43. DOI: 10.24411/2181-0761/2020-10123. EDN: MDSXCO.
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. DOI: 10.25230/2412-608. EDN: LLWFUT
6. Буенков А.Ю. Взаимосвязь количества семян с корзинки и массы 1000 семян с урожайностью сортов подсолнечника // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации климата: сб. матер. IV межд. науч.-практ. конф. (Саратов, 21–22 марта 2024 г.). Саратов: ООО «Медиамир», 2024. С. 48–53. EDN: FOGOWO.
7. Sakura G.B., Leung A.Y.T. Experimental Study of Particle Collection Efficiency of Cylindrical Inlet Type Cyclone Separator // International Journal of Environmental Science and Development. 2015. Vol. 6, № 3. Pp. 160–164. DOI: 10.7763/IJESD.2015.V6.581.
8. Zhou L., Elelam M.A., Agarwal R.K., Shi W. Modeling of Aerodynamic Systems // Discrete Element Method for Multiphase Flows with Biogenic Particles. Cham: Springer, 2024. Pp. 45–67. DOI: 10.1007/978-3-031-67729-8\_3.
9. Патент на изобретение № 2822527 С1 Российская Федерация, МПК B07B 4/00. Сепаратор семян овощных и бахчевых культур: № 2024104114: заявл. 16.02.2024: опубл. 08.07.2024 / Н.А. Круглых, А.А. Ильченко, С.Ф. Вольвак [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». EDN: BCRSNC.
10. Круглых Н.А. Разработка новой камеры разрежения для пневматического сепаратора семян // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 3. С. 40–46. DOI: 10.26897/2687-1149-2025-3-40-46. EDN: POSLFB.
11. Ильченко А.А., Круглых Н.А., Гоженко Н.Ю. Перспективы разработок аэродинамических сепараторов для семян, имеющих плоскую форму поверхности // Профессия инженер: сб. ст. по материалам XI Всерос. молодеж. науч.-практ. конф. (Орёл, 14 апреля 2023 г.) / под общ. ред. А.Л. Севостьянова. Орёл: Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина, 2023. С. 116–121. EDN: HQNHCZ.
12. Бойко А.Ф., Воронкова М.Н. Теория планирования многофакторных экспериментов. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. 75 с. EDN: RTDZDP.
13. Шмигель В.В., Угловский А.С., Махаева Н.Ю. Проведение и планирование многофакторного эксперимента эффективности работы сепаратора в программе STATGRAPHICS // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 1. С. 56–65. DOI: 10.34286/1995-4646-2020-70-1-56-65. EDN: PDSJSG.
14. Таршхоеева Ж.Т. Язык программирования Python. Библиотеки Python // Молодой ученый. 2021. № 5 (347). С. 20–21. EDN: MBMUWL.
15. Борисова Л.В., Димитров В.П., Зубрилина Е.М. Основы теории эксперимента. Построение математических моделей. Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2018. 105 с. EDN: YMONNB.

### References

1. Koleboshina T.G., Egorova G.S., Varivoda E.A., Shaposhnikov D.S. The value selection of melons in the melon industry development. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2017;1(45): 90–97 (In Russ.)
2. Lomakina T.V., Feskova M.V. Improving the methodology for calculating the cost of melon and gourd crops under the import substitution concept. *Nauchno-Metodicheskii Elektronnyi Zhurnal "Kontsept"*. 2016;11:1356–1360 (In Russ.). URL: <http://e-koncept.ru/2016/86291.htm>
3. Goncharov A.V. Agrobiological and technological bases for increasing the yield and quality of pumpkin under mechanized cultivation in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. Doctoral dissertation. Moscow, 2023. 312 p. (In Russ.)
4. Khazratkulova Sh.U., Kobilov N.E. Influence of 1000-grain weight on seed germination under laboratory conditions. *Life Sciences and Agriculture*. 2020;3(7): 41–43 (In Russ.). DOI: 10.24411/2181-0761/2020-10123
5. Buenkov A.Yu., Kudryashov S.P. Changing of seed amount and 1000 seeds weight by years, their impact on seed yield of sunflower varieties. *Oil crops*. 2023;3(195):12–18 (In Russ.). DOI: 10.25230/2412-608X-2023-3-195-12-18
6. Buenkov A.Yu. Relationship between the number of seeds per head and 1000-seed weight with the productivity of sunflower varieties. *Scientific Support for Sustainable Development of the Agro-Industrial Complex under Climate Aridization*: Proc. of the IV Int. Sci. and Pract. Conf. Saratov: MediaMir LLC, 2024. Pp. 48–53 (In Russ.)
7. Sakura G.B., Leung A.Y.T. Experimental study of particle collection efficiency of cylindrical inlet type cyclone separator. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2015;6(3):160–164. DOI: 10.7763/IJESD.2015.V6.581
8. Zhou L., Elemam M.A., Agarwal R.K., Shi W. Modeling of aerodynamic systems. *Discrete Element Method for Multiphase Flows with Biogenic Particles*. Cham: Springer, 2024. Pp. 45–67. DOI: 10.1007/978-3-031-67729-8\_3
9. Invention patent No. 2822527 C1 Russian Federation, IPC B07B 4/00. Separator for vegetable and melon seeds: No. 2024104114: application 16.02.2024: published 08.07.2024 / N.A. Kruglykh, A.A. Ilchenko, S.F. Vol'vak [et al.] (In Russ.)
10. Kruglykh N.A. Development of a new vacuum chamber for a pneumatic seed separator. *Agricultural Engineering*. 2025;27(3):40–46. DOI: 10.26897/2687-1149-2025-3-40-46
11. Ilchenko A.A., Kruglykh N.A., Gozhenko N.Yu. Prospects for the development of aerodynamic separators for seeds with a flat surface shape. *The profession of engineer*: Coll. of articles of the XI All-Russ(Orel, April 14, 2023) Ed. by A.L. Sevostyanov. Orel. Youth Sci. and Pract. Conf. 2023. Pp. 116-121 (In Russ.)
12. Boyko A.F., Voronkova M.N. Theory of planning multifactorial experiments. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2020 (In Russ.)
13. Shmigel V.V., Uglovskiy A.S., Makhaeva N.Yu. Conducting and planning a multifactorial experiment of the separator efficiency in the STATGRAPHICS program. *International Technical and Economic Journal*. 2020;(1):56–65. DOI: 10.34286/1995-4646-2020-70-1-56-65
14. Tarhoyeva Zh.T. The Python programming language. Python libraries. Molodoi Uchenyi. 2021;5(347):20–21 (In Russ.)
15. Borisova L.V., Dimitrov V.P., Zubrilina E.M. Fundamentals of the theory of experiment. Construction of mathematical models. Rostov-on-Don: DGTU-Print, 2018 (In Russ.)

### Сведения об авторах

**Никита Александрович Круглыkh** – учебный мастер кафедры сельскохозяйственных машин, Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова, nikakom-1@mail.ru

### Information about the authors

**Nikita A. Kruglykh** – Instructional Master, Chair of Agricultural Machinery, K.E. Voroshilov Lugansk State Agrarian University, nikakom-1@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.07.2025; одобрена после рецензирования 20.10.2025; принята к публикации 28.10.2025.

The article was submitted 21.07.2025; approved after reviewing 20.10.2025; accepted for publication 28.10.2025.