

УДК 519.816

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.47.4.012](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.47.4.012)

Повышение объективности процесса принятия решений в задачах посева сельскохозяйственных культур

С.П. Стрыгин¹, В.В. Конкина²✉, Н.Ю. Пустоваров¹, А.С. Коновальцев²,
М.А. Дудин²

¹ООО «НЧХР», Тамбов, Российская Федерация

²Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,
Российская Федерация

Резюме. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности и экономической выгоды возделывания сельскохозяйственных культур. Исследования, приведенные в данной статье, направлены на разработку системы поддержки принятия решений, которая усовершенствует способ оценки точности работы высевальных аппаратов, позволит производить предпосевную настройку пропашных сеялок и уменьшит нагрузку на агрономов. Рассмотрен пунктирно-гнездовой способ посева, в качестве критериев оценки неравномерности распределения семян в рядке определены общий коэффициент вариации, динамический коэффициент вариации и точность. В качестве альтернатив исследовалась соя сортов «Аляска» и «Лиссабон» различных фракций при различных конструктивно-режимных параметрах работы высевального аппарата, а именно: частота вращения высевального диска аппарата (15–55 об/мин), положение сбрасывателя семян (от полностью открытого отверстия до перекрытого на 1/3 площади отверстия), диаметр отверстий высевального диска (4–4,5 мм). В работе сформулирована задача теории принятия решений в рамках предметной области исследования. Решена поставленная задача методом анализа иерархий и методом полного перебора. Материалы статьи представляют практическую ценность для сельскохозяйственных предприятий, в том числе для предпосевной настройки пропашных сеялок.

Ключевые слова: многокритериальная задача, принятие решений, метод анализа иерархий, весовые коэффициенты, объективный выбор.

Благодарности: Исследования проводились при финансировании Министерством образования и науки Тамбовской области (проект № МУ2023-02/12).

Для цитирования: Стрыгин С.П., Конкина В.В., Пустоваров Н.Ю., Коновальцев А.С., Дудин М.А. Повышение объективности процесса принятия решений в задачах посева сельскохозяйственных культур. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2024;12(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1714> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.012

Improving the objectivity of the decision-making process in relation to the tasks of sowing crops

S.P. Strygin¹, V.V. Konkina²✉, N.Yu. Pustovarov¹, A.S. Konovalcev², M.A. Dudin²

¹NCHHR, Tambov, the Russian Federation

²Tambov State Technical University, Tambov, the Russian Federation

Abstract. The relevance of the study stems from the need to improve the efficiency and economic benefits of crop cultivation. The research in this paper is aimed at developing a decision support system that will improve the method of evaluating the accuracy of seeding units, allow pre-sowing adjustment of row crop seeders and reduce the workload of agronomists. The dotted-nested sowing method was considered, and the total coefficient of variation, dynamic coefficient of variation and accuracy were determined as criteria for assessing the unevenness of seed distribution in the row. As alternatives,

soybean varieties "Alaska" and "Lisbon" of different fractions were studied at different design and operating parameters of the seeding unit, namely: the rotation speed of the seeding disk of the unit (15–55 rpm), the position of the seed wiper (from fully open hole to overlapped by 1/3 of the area of the hole), the diameter of the holes of the seeding disk (4–4.5 mm). The paper formulates the problem of decision-making theory within the framework of a specific research area. The problem is solved using the method of hierarchical analysis and complete enumeration. The article's materials are of practical use for agricultural enterprises, including pre-sowing rowed seeder settings.

Keywords: multicriteria problem, decision making, method of hierarchy analysis, weight coefficients, objective choice.

Acknowledgements: The research was conducted with the financial support of the Ministry of Education and Science of Tambov Region (project No. MU2023-02/12).

For citation: Strygin S.P., Konkina V.V., Pustovarov N.Yu., Konovalcev A.S., Dudin M.A. Improving the objectivity of the decision-making process in relation to the tasks of sowing crops. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1714> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.012 (In Russ.).

Введение

Цифровизация в аграрном секторе становится доминирующим фактором, и это приводит к повышению эффективности производства сельскохозяйственной продукции и улучшает экономическую устойчивость сельскохозяйственных предприятий.

Посевная, как правило, проводится в сжатые сроки, особенно в периоды засухи. При этом надо учитывать влажность и температуру почвы на глубине заделки семян. Для получения максимального урожая необходимо равномерное размещение семян по посевному ряду с целью рационального использования площади для питания каждого растения. При решении проблемы коротких сроков посевной агрономы прибегают к увеличению скорости движения посевных агрегатов выше нормативной, а это, как следствие, приводит к негативным последствиям, а именно: недосеву из-за увеличения пропусков, возрастанию скученности растений из-за групповых подач, дроблению семян, а также к несоблюдению нормы высева [1].

Для повышения эффективности и экономической выгоды возделывания сельскохозяйственных культур особую важность имеет разработка системы поддержки принятия решений, которая усовершенствует способ оценки точности работы высевающих аппаратов, позволит производить предпосевную настройку пропашных сеялок и уменьшит нагрузку на агрономов.

Системы поддержки принятия решений влияют на процесс принятия решения на основе сбора и анализа данных путем помощи лицу, принимающему решение, в процессе его принятия [2].

Так, данные технологии стали приобретать все большую актуальность и востребованность в системах, используемых в сельскохозяйственной сфере.

Целью такой системы является помощь лицам, принимающим решение, найти компромисс между производительностью и качеством посева в зависимости от внешних факторов и выбрать оптимальный режим работы высевающего аппарата.

Одним из наиболее распространенных и перспективных способов посева является широкорядный пунктирно-гнездовой. При таком подходе к посеву семена распределяются не сплошными рядами с одинаковыми расстояниями между семенами, а группами, состоящими из трех семян (Рисунок 1). При такой расстановке уменьшается расход семян, повышается освещенность растений, корневая система и надземная часть растений развивается лучше [3]. Также облегчается механизированная обработка и уборка урожая.



Рисунок 1 – Схема размещения семян в рядке
 Figure 1 – The scheme of placing seeds in the furrow

Для определения качества посева анализируются и оцениваются следующие показатели: норма высева семян; дробление семян высевающими аппаратами; производительность посевного агрегата; неравномерность распределения семян в рядке; неравномерность заделки семян по глубине.

В данном исследовании более подробно рассмотрен показатель неравномерности распределения семян в рядке.

Целью работы является повышение объективности процесса принятия решения в многокритериальных задачах посева сельскохозяйственных культур.

В рамках работы необходимо решить следующую задачу: для того, чтобы найти решающее правило с помощью математических средств, необходимо представить и структурировать имеющиеся знания в соответствии с математическими терминами.

Материалы и методы

На Рисунке 2 представлена схема математической модели исследуемой системы. На данном рисунке исследуемая система представлена прямоугольником.



Рисунок 2 – Схема математической модели
 Figure 2 – The scheme of the mathematical model

Пусть даны параметры $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ некоторого объекта X , где $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – конструктивно-технологические параметры работы высевающего аппарата (количество отверстий высевающего диска и их диаметр, норма высева, высеваемая культура, частота вращения высевающего диска, положение сбрасывателя семян и др.).

Параметры U являются входными воздействиями системы, т. е. воздействиями, подающимися на вход в систему. $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ – вектор возможных состояний показателей качества посева, где k – количество возможных вариантов. Выходные показатели Y обозначены на Рисунке 1 стрелкой, выходящей из прямоугольника.

Необходимо построить решающие правила, которые позволят отнести i -ый высевающего аппарата с определенным набором признаков к одному из имеющихся классов, характеризующих качество посева, тем самым обеспечив помощь в принятии решений.

Существуют различные подходы для решения поставленной задачи. Одним из подходов, который можно использовать при разработке системы поддержки принятия решений, является метод анализа иерархий. Данный метод заключается в построении иерархии и дальнейшем попарном сравнении критериев [4].

Другим подходом для решения поставленной задачи является использование продукционной модели [5]. Данная модель построена на использовании факторов и правил, часто применяется в системах поддержки принятия решений, поскольку

характеризуется легкостью внесения дополнений и изменений в базу знаний, содержащей правила и факты, и простотой механизма логического вывода. Работа данного алгоритма заключается в использовании прямой цепочки рассуждений, т. е. последовательном применении правил по порядку до момента, пока не будет получено результирующее значение переменной.

Коэффициент вариации пунктирно-гнездового способа посева можно рассчитать по формуле:

$$\vartheta = \frac{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(x_i - \frac{k}{m} \sum_{k=1}^m \frac{t_{\alpha}^{(k-1)+t_{\beta}}}{k} \right)^2}}{\frac{k}{m} \sum_{k=1}^m \frac{t_{\alpha}^{(k-1)+t_{\beta}}}{k}}, \quad (1)$$

где m – произведение количества групп семян и числа семян в группе; $k = 3$ – число семян в группе, шт; $t_{\text{гр}}$ – длительность прохождения группы семян через регистрирующий датчик, с; t_{α} – длительность между прохождением через датчик семян в группе, с; t_{β} – длительность между прохождением через датчик группы семян, с [6].

Теоретический коэффициент вариации распределения семян пунктирно-гнездового способа посева стремится к 35,5 % [7].

За основу оценки неравномерности распределения семян в рядке взяты критерии: общий коэффициент вариации (К1), динамический коэффициент вариации (К2) и точность (К3).

В ходе проведения исследований в высевательный аппарат был установлен датчик высева, через который фиксировался момент прохождения семян. Результаты записывались в файл [8]. Для определения общего коэффициента вариации (К1) проводилось сравнение полученного экспериментально коэффициента вариации с теоретическим.

При определении динамического коэффициента вариации (К2) расчет производился каждые 180 семян, что сопоставимо 10 метрам хода посевного агрегата при норме высева 18 шт/м. Полученные значения сравнивались с теоретическим коэффициентом вариации.

Точность посева (К3) рассчитывалась как отношение зачатенных групп семян к их общему количеству [9], при этом в зачатенные группы попадали те, в которых расстояние между семенами в группе или расстояние между группами соответствовали заданным.

В качестве альтернатив исследовалась соя сортов «Аляска» и «Лиссабон» различных фракций при различных конструктивно-режимных параметрах работы высевательного аппарата: частота вращения высевательного диска аппарата (15–55 об/мин), диаметр отверстий высевательного диска (4–4,5 мм), положение сбрасывателя семян (от полностью открытого отверстия до перекрытого на 1/3 площади отверстия).

Результаты

Не существует идеального метода решения многокритериальных задач. Метод анализа иерархии основан на использовании экспертных оценок, является универсальным, не привязанным к конкретной предметной области, что делает его предпочтительным для достижения поставленной цели.

На первом этапе метода анализа иерархий необходимо выполнить декомпозицию цели на составляющие критерии и построить иерархию проблемы. Данная структура представлена в Таблице 1, где d – диаметр отверстия высевательного диска, p – положение сбрасывателя семян. Для каждой матрицы рассчитывается индекс согласованности и проверяется отношение согласованности. Значение этого отношения не должно превышать 0,1.

На втором этапе метода необходимо построить матрицы приоритетов. В первую очередь строится матрица попарных сравнений для критериев, используемых в иерархии (Таблица 2).

Таблица 1 – Сведения о критериях и рассматриваемых альтернативах
Table 1 – Information on criteria and alternatives under consideration

Критерии	Альтернативы					
	Аляска (б)		Лиссабон		Аляска (м)	
	15 мин ⁻¹ $p = 1/3$ $d = 4$ мм (A1)	55 мин ⁻¹ $p = 0$ $d = 4,5$ мм (A2)	30 мин ⁻¹ $p = 0$ $d = 4$ мм (A3)	40 мин ⁻¹ $p = -1$ $d = 4,5$ мм (A4)	50 мин ⁻¹ $p = -1$ $d = 4,5$ мм (A5)	25 мин ⁻¹ $p = 1/3$ $d = 4$ мм (A6)
К1, %	37,4	37,7	45	37,43	40,47	37,3
К2, %	38,9	40,2	49,5	41,2	44,3	40,8
К3, %	91,61	37,14	72,05	59,97	39,81	85,38

Таблица 2 – Попарные сравнения критериев и расчет их важности
Table 2 – Pairwise comparisons of criteria and calculation of their importance

Критерий	К1	К2	К3	Средне геометрическое	Локальный приоритет	λ
К1	1	1/4	1/8	0,315	0,07	0,952
К2	4	1	1/3	1,101	0,26	1,088
К3	8	3	1	2,884	0,67	0,978
Сумма	13	4,25	1,458	4,3	ИС	0,009
					ОС	0,016

Поскольку отношение согласованности меньше 0,10, то матрицу решения можно считать согласованной, а рассчитанные коэффициенты – корректными.

Далее для каждого критерия строятся матрицы попарного сравнения альтернатив А1–А6 (Таблицы 3–5), где w – вес (коэффициент важности) критерия, λ – индекс (коэффициент внимания) критерия. Результаты расчета отношения согласованности для каждой матрицы представлены в последнем столбце. После производился подсчет глобальных приоритетов альтернатив (Таблица 6).

Таблица 3 – Попарные сравнения А1–А6 по К1 и расчет их важности
Table 3 – Pairwise comparisons A1–A6 by K1 and calculation of their importance

К1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Среднее геометрическое	w	λ
A1	1	1	4	3	4	1	1,91	0,29	1,1
A2	1	1	3	1	3	1	1,44	0,22	1,01
A3	0,25	0,333	1	0,25	0,5	0,5	0,42	0,06	1
A4	0,333	1	4	1	0,333	1	0,87	0,13	0,5
A5	0,25	0,333	2	3	1	1	0,89	0,13	1,24
A6	1	1	2	1	1	1	1,12	0,17	1,66
Сумма	3,833	4,667	16	9,25	9,833	5,5	6,65	ИС	0,10
								ОС	0,08

Таблица 4 – Парные сравнения A1–A6 по K2 и расчет их важности
Table 4 – Pairwise comparisons A1–A6 by K2 and calculation of their importance

K2	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Среднее геометрическое	w	λ
A1	1	2	6	3	3	1	2,18	0,32	1,064
A2	0,5	1	3	1	3	0,5	1,14	0,17	1,116
A3	0,167	0,333	1	0,25	0,5	0,5	0,39	0,06	1,025
A4	0,333	1	4	1	0,333	1	0,87	0,13	1,182
A5	0,333	0,333	2	3	1	0,5	0,83	0,12	1,198
A6	1	2	2	1	2	1	1,41	0,21	0,931
Сумма	3,333	6,667	18	9,25	9,833	4,5	6,84	ИС	0,103
								ОС	0,083

Таблица 5 – Парные сравнения A1–A6 по K3 и расчет их важности
Table 5 – Pairwise comparisons A1–A6 by K3 and calculation of their importance

K3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Среднее геометрическое	w	λ
A1	1	9	4	7	9	3	4,35	0,49	0,945
A2	0,111	1	0,143	0,5	1	0,143	0,32	0,04	0,972
A3	0,25	7	1	2	3	1	1,48	0,16	1,151
A4	0,143	2	0,5	1	2	0,25	0,64	0,07	1,077
A5	0,111	1	0,333	0,5	1	0,333	0,43	0,05	0,907
A6	0,333	7	1	4	3	1	1,74	0,19	1,112
Сумма	1,948	27	6,976	15	19	5,726	8,97	ИС	0,033
								ОС	0,027

Таблица 6 – Расчет вектора глобальных приоритетов для альтернатив
Table 6 – Calculation of the vector of global priorities for alternatives

Локальный приоритет	K1	K2	K3	Глобальный приоритет
		0,073	0,256	
w1	0,287	0,319	0,485	0,43
w2	0,217	0,167	0,036	0,08
w3	0,063	0,057	0,165	0,13
w4	0,131	0,128	0,072	0,09
w5	0,134	0,122	0,048	0,07
w6	0,169	0,207	0,194	0,2
Сумма				1

Соотношения выставлены правильно исходя из анализа оценки согласованности. Наилучшим вариантом является альтернатива, которая имеет максимальное значение в векторе глобальных приоритетов, то есть $\max \{0,43; 0,08; 0,13; 0,09; 0,07; 0,2\} = 0,43$, что соответствует сорту Аляска (б), при частоте вращения диска 15 мин^{-1} , диаметре отверстия диска $d = 4 \text{ мм}$, положении сбрасывателя семян $p = 1/3$.

Рассмотрим решение той же задачи методом полного перебора всех возможных целочисленных вариантов варьируемых переменных x_i . Метод полного перебора заключается в последовательном рассмотрении всех возможных комбинаций альтернатив и выборе той, которая имеет максимальную общую оценку. Входными данными выступают файлы результатов исследований высевальных аппаратов различных типов на различных режимах работы, содержащие информацию о посевном

материале, конструктивных параметрах высевающего диска, режимах работы высевающего аппарата. В конструктивные параметры включены тип диска, количество отверстий, диаметр отверстий. К режимам работы относятся частота вращения, положение сбрасывателя семян.

Для сои сорта Аляска (б) представлены графики изменения коэффициента вариации временных интервалов и положения съёмника двойников, диаметр отверстия высевающего диска $d = 4,5$ мм (Рисунки 3, 4).



(а)



(б)



(с)

Рисунок 3 – Изменение коэффициента вариации (K2) пунктирно-гнездового способа посева при частоте вращения 15 об/мин: а) $p = -1$; б) $p = 0$; в) $p = 1/3$

Figure 3 – Change in the coefficient of variation (K2) of the dotted-nest sowing method at a rotation speed of 15 rpm: а) $p = -1$; б) $p = 0$; с) $p = 1/3$



(а)



(б)

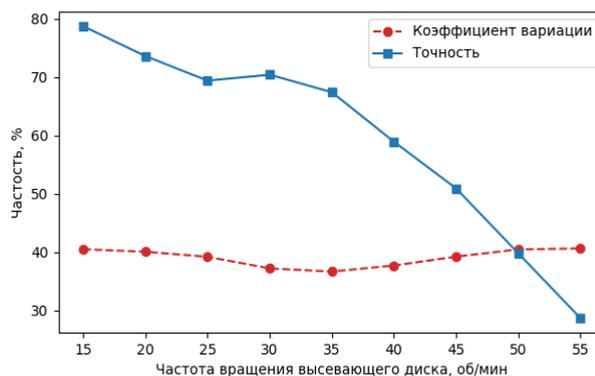


(с)

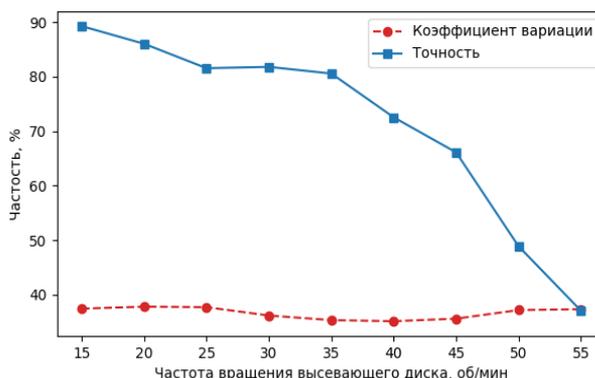
Рисунок 4 – Изменение коэффициента вариации (K2) пунктирно-гнездового способа посева при частоте вращения 55 об/мин: а) $p = -1$; б) $p = 0$; с) $p = 1/3$

Figure 4 – Change in the coefficient of variation (K2) of the dotted-nest sowing method at a rotation speed of 55 rpm: а) $p = -1$; б) $p = 0$; с) $p = 1/3$

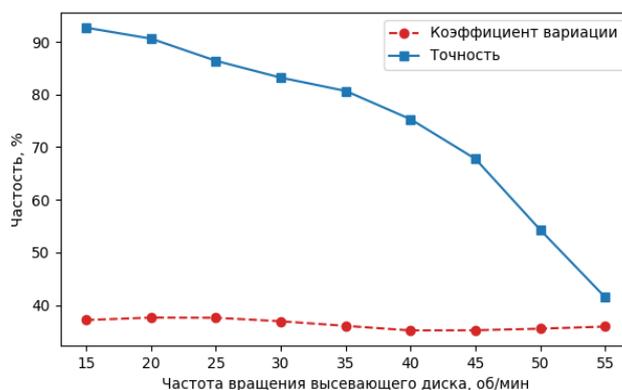
Представлены графики изменения коэффициента вариации K1 и точности K3 для сои сорта Аляска (б) с диаметром отверстия высевающего диска, равным $d = 4,5$ мм в зависимости от частоты вращения диска высевающего аппарата и положения сбрасывателя семян p (Рисунок 5).



(а)



(б)



(в)

Рисунок 5 – Значения K1 и K3: а) $p = -1$; б) $p = 0$; в) $p = 1/3$
Figure 5 – Values of K1 and K3: а) $p = -1$; б) $p = 0$; в) $p = 1/3$

Как видно из графиков, наилучшим вариантом является альтернатива, которая имеет максимальное значение, что соответствует сорту Аляска (б), при частоте вращения высевающего диска 15 мин^{-1} , положении сбрасывателя семян $p = 1/3$, диаметре отверстия высевающего диска $d = 4,5 \text{ мм}$.

Обсуждение

Из анализа графиков Рисунков 3–5 следует, что коэффициент вариации как критерий оценки качества адекватно не отражает ход пунктирно-гнездового посева.

Метод анализа иерархий отлично показал себя и подходит для решения задачи поиска глобальных приоритетов в рамках конкретных заданных параметров. Однако у

него есть серьезный недостаток – для грамотной работы эксперту необходимо заполнить очень большое количество таблиц вручную, основываясь на эмпирическом опыте. Также качество решения, полученного с помощью метода анализа иерархий, зависит от качества исходных данных, таких как оценки экспертов.

Метод полного перебора также отлично показал себя, у него есть серьезное преимущество – дает гарантированное решение задачи. Недостаток полного перебора в виде длительности вычислений решается ускорением расчетов при помощи параллельных вычислений. Для этого можно использовать кластер вычислительных устройств, видеокарты и облачные вычисления [10].

Заключение

В работе рассмотрен вопрос разработки системы поддержки принятия решений определения качества посева в зависимости от конструктивно-технологических параметров работы посевного агрегата, таких как скорость движения, производительность, количество и диаметр отверстия высевающего диска, положение сбрасывателя семян. Выступление коэффициента вариации индикатором качества работы сеялки при пунктирно-гнездовом посеве ограничено ввиду изначально различного расстояния между семенами в рядке. Дальнейшие исследования будут посвящены разработке программного обеспечения интеллектуальной системы определения качества пунктирно-гнездовых посевов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Шишлов С.А. Совершенствование конструкции высевающего аппарата и способа посева для сои. *Наука в центральной России*. 2013;(1):20–24.
Shishlov S.A. Improvement construction of sewing apparatus and a way of seeding for soya. *Science in the Central Russia*. 2013;(1):20–24. (In Russ.).
2. Литовка Ю.В., Соловьев Д.С., Обухов А.Д. *Системы поддержки принятия решений*. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ; 2023. 80 с.
3. Strygin S., Pustovarov N., Konkina V. Study of the Structural and Technological Parameters of the Seeding Machine Operation Affecting the Quality of Sowing. In: *2024 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 08–14 September 2024, Sochi, Russian Federation*. IEEE; 2024. pp.1060–1064. <https://doi.org/10.1109/RusAutoCon61949.2024.10694230>
4. Соловьева И.А., Соловьев Д.С., Литовка Ю.В., Коробова И.Л. Модификация метода анализа иерархий для повышения объективности принимаемых решений. *Труды МАИ*. 2018;(98). URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=90475>
Solovjeva I., Solovjev D., Litovka Yu., Korobova I. Modification of analytic hierarchy process to enhance decisions made objectivity. *Trudy MAI*. 2018;(98). (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=90475>
5. Коробова И.Л., Артемов Г.В. *Принятие решений в системах, основанных на знаниях*. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ; 2012. 81 с.
6. Василенко С.В., Василенко В.В., Гиевский А.М. Взаимозависимость полевой всхожести семян и коэффициента вариации интервалов по всходам. В сборнике: *Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: Материалы национальной научно-практической конференции, 25 сентября 2020 года, Воронеж, Россия*. Воронеж:

- Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I; 2020. С. 149–155.
7. Khairullina S., Strygin S.P., Sinelnikov A.A., Pustovarov N.Y., Balashov A.V. Research into the nested method of sowing soybean under the conditions of a moderate-continental climate. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Volume 1212: Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Energy, Ecology and Earth Science (ESDCA-III-2023), 14–18 March 2023, Dushanbe, Tajikistan*. IOP Publishing Ltd; 2023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1212/1/012005>
 8. Балашов А.В., Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Хайруллина С.Г., Конкина В.В. К обоснованию управляемых параметров высевяющего аппарата электрифицированной сеялки. *Наука в центральной России*. 2023;(3):40–47. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-40-47>
Balashov A., Strygin S., Pustovarov N., Khairullina S., Konkina V. Investigation of controlled parameters of the seeding apparatus of an electrified seeder. *Science in the Central Russia*. 2023;(3):40–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-40-47>
 9. Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Хайруллина С.Г., Конкина В.В., Заводнов А.С. Исследование качественных показателей оценки пунктирно-гнездового способа посева. *Наука в центральной России*. 2023;(4):63–71. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-63-71>
Strygin S., Pustovarov N., Khairullina S., Konkina V., Zavodnov A. Investigation of qualitative indicators of evaluation of dotted-nest sowing method. *Science in the Central Russia*. 2023;(4):63–71. (In Russ.). <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-63-71>
 10. Литовка Ю.В., Майстренко Н.В., Егоров С.Я. *Математические методы исследования операций*. Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»; 2023. URL: <https://tstu.ru/book/elib1/pdf/2023/LitovkaUV.pdf>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Стрыгин Сергей Петрович, кандидат технических наук, генеральный директор, ООО «НЧХР», Тамбов, Российская Федерация. **Sergei S. Strygin**, Ph.D in Engineering, General manager, NCHHR, Tambov, the Russian Federation.
e-mail: sew1982@gmail.com
ORCID: [0000-0001-7934-1673](https://orcid.org/0000-0001-7934-1673)

Конкина Виктория Викторовна, кандидат технических наук, старший преподаватель, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация. **Viktoriya V. Konkina**, Ph.D in Engineering, Senior Lecturer, Tambov State Technical University, Tambov, the Russian Federation.
e-mail: konkina-tstu@yandex.ru
ORCID: [0009-0006-7366-7182](https://orcid.org/0009-0006-7366-7182)

Пустоваров Никита Юрьевич, кандидат технических наук, главный конструктор, ООО «НЧХР», Тамбов, Российская Федерация. **Nikita Yu. Pustovarov**, Ph.D in Engineering, Chief designer, NCHHR, Tambov, the Russian Federation.
e-mail: nikita.pustovarov@mail.ru
ORCID: [0009-0006-0330-1150](https://orcid.org/0009-0006-0330-1150)

Коновальцев Александр Сергеевич, Alexander S. Konovalcev, student, Tambov State Technical University, Tambov, the Russian Federation.

e-mail: aleksandar.konovaltseff@yandex.ru

ORCID: [0009-0000-5952-8262](https://orcid.org/0009-0000-5952-8262)

Дудин Максим Андреевич, Maksim A. Dudin, student, Tambov State Technical University, Tambov, the Russian Federation.

e-mail: maxim_1dudin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14.10.2024; одобрена после рецензирования 25.10.2024; принята к публикации 01.11.2024.

The article was submitted 14.10.2024; approved after reviewing 25.10.2024; accepted for publication 01.11.2024.