



УДК. 631.331



DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-65-70

## Метод обобщенной оценки при выборе факторов и уровней их варьирования в многофакторном исследовании высевających аппаратов

**Елена Михайловна Зубрилина**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры,  
e-mail: Q-factor2017@yandex.ru;  
**Илья Анатольевич Маркво**,  
старший преподаватель;

**Андрей Сергеевич Журавлев**,  
инженер, магистрант;  
**Виталий Иванович Новиков**,  
инженер;  
**Елизавета Владимировна Нерода**,  
инженер

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Реферат.** Результаты исследований сложных объектов могут быть представлены как задача с несколькими выходами, а это потребует получения отдельной математической модели для каждого результата. При использовании обобщенного критерия оптимизации (суперкритерия), например в виде функции желательности Харрингтона, достаточно будет одной модели. Привели пример применения методики для определения факторов, влияющих на процесс высева семян экспериментальной сеялкой. (*Цель исследования*) Сформулировать общие рекомендации по усовершенствованию процесса планирования и организации научных экспериментов в области сельскохозяйственного машиностроения. (*Материалы и методы*) В ходе исследований руководствовались идеей преобразования натуральных значений частных критериев (или характеристик) в безразмерную шкалу желательности с последующей оценкой уровня предпочтительности набора факторов и уровней их варьирования в многофакторном эксперименте. В качестве объекта исследования выбрали высеваящий аппарат для совместного высева двух культур. (*Результаты и обсуждение*) Установили следующие уровни желательности натуральных значений выхода (комбинации уровней варьирования факторов эксперимента): «очень хорошо», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо». Получили степень влияния факторов на процесс высева семян кукурузы экспериментальной сеялкой с помощью применения методики априорного ранжирования. Выявили приемлемый набор значений (комбинация оптимальных и максимальных значений) из диапазона варьирования факторов, позволяющий более качественно реализовать выбор основных факторов, влияющих на параметр оптимизации. Продемонстрировали работу запатентованного программного обеспечения по расчету данных согласно плану Бокса-Бенкена, позволяющего получить достаточную информацию о поверхности отклика процесса в центре эксперимента, выбранном в качестве предполагаемого оптимума. (*Выводы*) Представили способ подготовки к проведению и последующей обработке результатов сложных исследований с применением суперкритерия. Подчеркнули необходимость цифровизации процесса планирования и организации научных экспериментов.

**Ключевые слова:** обобщенный критерий оптимизации, организация научных экспериментов, экспериментальная сеялка, функция желательности Харрингтона, обработка результатов сложных исследований.

■ **Для цитирования:** Зубрилина Е.М., Маркво И.А., Журавлев А.С., Новиков В.И., Нерода Е.В. Метод обобщенной оценки при выборе факторов и уровней их варьирования в многофакторном исследовании высевających аппаратов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 65-70. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-65-70.

## Method of Generalized Evaluation in the Selecting Factors and Levels of Variation in the Multifactorial Study of Sowing Machines

**Elena M. Zubrilina**,  
Ph.D.(Eng), associate professor;  
Q-factor2017@yandex.ru;  
**Ilya A. Markvo**,  
senior lecturer;

**Andrey S. Zhuravlev**,  
research engineer, postgraduate student;  
**Vitaly I. Novikov**,  
research engineer;  
**Elizaveta V. Neroda**,  
research engineer

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** The results of studying complex objects can be presented as a problem with several outputs, and this will require a separate mathematical model for each result. If we use a generalized optimization criterion (super criterion), for example, in the form of the Harrington desirability function, one model will suffice. The authors have drawn an example of applying this methodology to

determine the factors influencing the seeding process performed with an experimental seeder. (*Research purpose*) To show general recommendations for improving the process of planning and organization of scientific experiments in the field of agricultural engineering. (*Materials and methods*) The authors were guided by the idea of converting the natural values of particular criteria (or characteristics) into a dimensionless scale of desirability with subsequent assessment of the level of preference of a set of factors and their levels of variation in a multifactorial experiment. The object of research was represented by a sowing unit used for combined seeding of two crops. (*Results and discussion*) The study has established the following levels of desirability of natural output values (combinations of the variation levels of experimental factors): "very good", "good", "satisfactory", "bad", and "very bad". The rate of influence of these factors on corn seed sowing with an experimental seeder was obtained by applying a priori ranking technique. An acceptable set of values (a combination of optimal and maximum values) from the range of factors variation was revealed, which provides for more qualitative choice of the main factors influencing the optimization parameter. The authors have demonstrated the operation of the patented software to calculate data according to the Box-Behnken plan, which allows to obtain sufficient information about the response surface of the process in the experiment center selected as the expected optimum. (*Conclusions*) The paper presents the way of preparing for an experiment and subsequent processing of the results of complex studies using the super criterion. The necessity for digitalizing the process of planning and organization of scientific experiments has been emphasized. **Keywords:** generalized optimization criterion, organization of scientific experiments, experimental seeder, Harrington desirability function, processing of complex research results.

**For citation:** Zubrilina EM, Markvo I.A., Neroda E.V., Novikov V.I., Zhuravlev A.S. Metod obobshchennoy otsenki pri vybore faktorov i urovney ih var'irovaniya v mnogofaktornom issledovanii vysewayushchih apparatov [Method of generalized evaluation in the selecting factors and levels of variation in the multifactorial Study of sowing machines]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 65-70 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-65-70.

Результаты исследований сложных объектов могут быть представлены как задача с несколькими выходами, а это потребует получения отдельной математической модели для каждого результата [1, 2]. При использовании обобщенного критерия оптимизации (суперкритерия), например в виде функции желательности Харрингтона, достаточно будет одной модели [3-6].

Пример применения данной методики для определения факторов, влияющих на процесс высева семян экспериментальной сеялкой, приведен в работах [1, 2].

**Цель исследования** – сформулировать общие рекомендации по усовершенствованию процесса планирования и организации научных экспериментов в области сельскохозяйственного машиностроения.

**Материалы и методы.** В основе исследования лежит идея преобразования натуральных значений частных критериев (или характеристик) в безразмерную шкалу желательности с последующей оценкой предпочтительности набора факторов и уровней их варьирования в многофакторном эксперименте. В качестве объекта исследования выбран высевающий аппарат для совместного высева двух культур [6, 7].

Установлены следующие уровни желательности натуральных значений выхода (комбинации уровней варьирования факторов эксперимента): «очень хорошо», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо». Степень влияния факторов на процесс высева семян кукурузы экспериментальной сеялкой получена с помощью применения методики априорного ранжирования [5, 6, 8].

**Результаты и обсуждение.** Выявлен приемлемый набор значений (комбинация оптимальных и максимальных значений) из диапазона варьирования фак-

торов, позволяющий более качественно выбрать основные из них, влияющие на параметр оптимизации [1, 2, 9]. Продемонстрирована работа запатентованного программного обеспечения по расчету данных согласно плану Бокса-Бенкена, с целью получения достаточной информации о поверхности отклика процесса в центре эксперимента, выбранного в качестве предполагаемого оптимума.

Разработка новых конструкций и элементов сельскохозяйственной техники предусматривает проведение эксперимента по различным планам и определение параметра оптимизации в зависимости от количества и качества влияющих на него факторов [1, 2, 8].

Результаты исследований сложных объектов могут быть выражены как задача с несколькими выходами, что требует получения отдельной математической модели для каждого результата. Сложность эксперимента определяется количеством факторов и их уровней, поэтому все исследователи стремятся минимизировать их. Один из таких методов – априорное ранжирование, рассмотренное нами ранее, на базе которого выбрали три основных фактора [1, 2, 9-13].

Рассмотрим в качестве объекта исследования высевающий аппарат для совместного высева двух культур (сорго и кукурузы). Выделим факторы, влияющие отдельно на процесс высева каждой культуры и общие положения. К общим факторам обоих процессов относятся:  $x_1$  – частота вращения высевающего диска;  $x_2$  – величина разрежения в вакуумной камере аппарата. Факторами, влияющими на процесс высева семян кукурузы, будут:  $x_3$  – положение подвижной части перегородки камер, выполняющей функции сбрасывателя «лишних» семян;  $x_4$  – количество

Таблица 1

Table 1

**ДИАПАЗОН ВАРЬИРОВАНИЯ ФАКТОРОВ И ИХ ОПТИМУМЫ (СЕМЕНА КУКУРУЗЫ)**  
**VARIATION RANGE OF FACTORS AND THEIR OPTIMUM (FOR CORN SEEDS)**

Выход Output	Обозначение фактора Factor designation	Интервал варьирования Variation interval	Диапазон варьирования Variation range	Ограничения Restrictions	Оптимум Optimum	Параметр выхода Output parameter	
						$\alpha_0$	$\alpha_1$
1	$X_1$	1	2-4	–	3	–15	5
2	$X_2$	1	2-4	–	3	–15	5
3	$X_3$	1,5	0-3	–	1,5	–5	10/3
4	$X_5$	2,5	2,5-5,0	–	5	–15	4
5	$X_6$	1	111-112	–	112	–1115	10
6	$X_7$	0,2	5,05-5,15	6,0	5,15	–510	100
7	$X_9$	30	0-30	45	30	–5	1/3
8	$X_{10}$	30	28-58	–	58	–43/3	1/3

присасывающих отверстий на высевающем диске;  $x_5$  – диаметр присасывающих отверстий;  $x_6$  – радиусы удаления присасывающих отверстий от центра высевающего диска;  $x_7$  – толщина диска;  $x_8$  – конструктивный вариант ворошилки семян;  $x_9$  – угол наклона дна семенной камеры;  $x_{10}$  – расстояние от перегородки семенной камеры до ее дна (табл. 1). Для планирования многофакторного эксперимента необходимо знать количество основных факторов и их уровней. Для этого предложили оценку выбора факторов и уровней их варьирования методом обобщенного критерия. Исследовали факторы, влияющие на процесс высева экспериментального высевающего аппарата для возделывания двух культур (кукурузы и сорго) методом обобщенного критерия, то есть факторы, определяющие качество процесса дозирования семян кукурузы. Определили интервалы и диапазон варьирования, ограничения и оптимумы. В таблицу 1 не вошли факторы, влияющие на процесс высева, которые при планировании эксперимента рассматриваются как константы с учетом конструктивной особенности работы высевающего аппарата: количество присасывающих отверстий на высевающем диске и конструктивный вариант ворошилки семян. В основе построения обобщенной функции желательности Харрингтона лежит идея преобразования натуральных значений частных критериев (или характеристик) в безразмерную шкалу желательности или предпочтительности (рисунок).

Введем равномерную шкалу (по оси абсцисс):  $g$  с интервалом значений от  $-5$  до  $+5$ . Далее необходимо перевести значения каждого выхода  $y_i$  в новую шкалу, рассчитав абсциссы параметров выхода по формуле:

$$g_i = a_0 + a_i \cdot y_i, \quad (1)$$

где  $a_0, a_i$  – параметры выхода для перевода значений каждого выхода в новую шкалу.

Так, для частного параметра выхода  $l$  фактора  $X_l$  имеем (табл. 1):

$$\left. \begin{aligned} -5 &= a_0 + a_i \cdot 2 \\ 5 &= a_0 + a_i \cdot 4 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

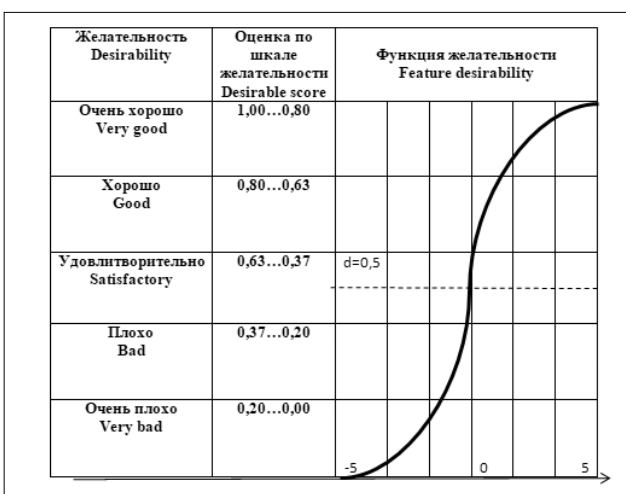


Рис. График функции желательности при одностороннем ограничении

Fig. Graph of the desirability function with a one-sided restriction

Решая систему уравнений, получим значения параметров выхода для новой шкалы:  $a_0 = -15$ ;  $a_1 = 5$ .

Аналогичным способом найдем параметры формул перевода значений каждого выхода в новую шкалу (табл. 1). Установим уровень желательности для значений выхода по каждому фактору, выбрав их значения на оптимальном и максимальном уровне (табл. 1) и заполним таблицы 2-4.

Далее по формуле (1) рассчитали абсциссы частных параметров выхода по новой шкале в соответствии с параметрами формул перехода (табл. 2) и выходов опытов (табл. 3).

Пример:

$$\begin{aligned} g_{11} &= -15 + 5 \cdot 3 = 0,00; & g_{12} &= -15 + 5 \cdot 2,75 = -1,25; \\ g_{13} &= -15 + 5 \cdot 2,5 = -2,50; & g_{14} &= -15 + 5 \cdot 2,25 = -3,75; \\ g_{15} &= -15 + 5 \cdot 2 = -5,00. \end{aligned}$$

Рассчитанные величины сведены в таблицу 4.

Заключительным этапом в расчетах следует считать нахождение частной и обобщенной функции желательности.

Частная функция желательности:

Таблица 2 Table 2

**УРОВНИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ НАТУРАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЫХОДА ПО ОПТИМАЛЬНЫМ И МАКСИМАЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ**  
**DESIRABILITY LEVELS OF NATURAL OUTPUT VALUES FOR OPTIMAL AND MAXIMUM VARIANTS**

Функция желательности Desirability function		Уровень Level	Выход опытов по общей шкале в натуральных величинах The output of experiments on a common scale in natural values							
оценка по шкале желательности (ордината) rating on the scale of desirability (ordinate)	желательность desirability		Y <sub>1i</sub>	Y <sub>2i</sub>	Y <sub>3i</sub>	Y <sub>4i</sub>	Y <sub>5i</sub>	Y <sub>6i</sub>	Y <sub>7i</sub>	Y <sub>8i</sub>
0,80-1,00	очень хорошо very good	оптимальный optimal	3	3	1,5	5	112	5,15	30	58
		максимальный maximum	4	4	3	7,5	113	5,25	30	58
0,63-0,80	хорошо good	оптимальный optimal	2,75	2,75	1,125	4,375	111,75	5,125	22,5	50,5
		максимальный maximum	3,5	3,5	2,25	6,25	112,5	5,175	22,5	50,5
0,37-0,63	удовлетворительно satisfactorily	оптимальный optimal	2,5	2,5	0,75	3,75	111,5	5,1	15	43
		максимальный maximum	3	3	1,5	5	112	5,1	15	43
0,20-0,37	плохо poorly	оптимальный optimal	2,25	2,25	0,375	3,125	111,25	5,075	7,5	35,5
		максимальный maximum	2,5	2,5	0,75	3,75	111,5	5,025	7,5	35,5
0,00-0,20	очень плохо very bad	оптимальный optimal	2	2	0	2,5	111	5,05	0	28
		максимальный maximum	2	2	0	2,5	111	5,05	0	28

Таблица 3 Table 3

**АБСЦИССЫ КОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЫХОДА ПО ОПТИМАЛЬНЫМ И МАКСИМАЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ**  
**THE ABSISSAS OF THE OUTPUT CODE VALUES AT THE OPTIMAL AND MAXIMUM VALUES**

Функция желательности Desirability function		Уровень Level	Выход по новой шкале в кодовых величинах The output of the new scale in code values							
Оценка по шкале желательности (ордината) Rating on the scale of desirability (ordinate)	желательность desirability		g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	g <sub>4</sub>	g <sub>5</sub>	g <sub>6</sub>	g <sub>7</sub>	g <sub>8</sub>
0,80-1,00	очень хорошо very good	оптимальный optimal	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
		максимальный maximum	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
0,63-0,80	хорошо good	оптимальный optimal	-1,25	-1,25	-1,25	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
		максимальный maximum	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
0,37-0,63	удовлетворительно satisfactorily	оптимальный optimal	-2,50	-2,50	-2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		максимальный maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,20-0,37	плохо poorly	оптимальный optimal	-3,75	-3,75	-3,75	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50
		максимальный maximum	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50
0,00-0,20	очень плохо very bad	оптимальный optimal	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00
		максимальный maximum	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00

$$d_i = e^{-e^{-g_i}} \quad (3)$$

Пример: для 1-го параметра (фактора X<sub>1</sub>) частные функции желательности равны:

$$d_1 = e^{-e^0} = 0,37; d_2 = e^{-e^{1,25}} = 0,03; d_3 = e^{-e^{2,5}} = 0,00; d_4 = e^{-e^{3,75}} = 0,00; d_5 = e^{-e^5} = 0,00.$$

Остальные результаты сведены в таблицу 4. Обобщенная функция желательности:



Таблица 4

Table 4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ЧАСТНЫХ И ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИЙ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ ФАКТОРОВ НА ОПТИМАЛЬНОМ И МАКСИМАЛЬНОМ УРОВНЯХ											
CALCULATION RESULTS OF SPECIFIC AND GENERALIZED DESIRABILITY FUNCTIONS WHEN CHOOSING FACTORS AT THE OPTIMAL AND MAXIMUM LEVELS											
№ п/п	Уровень Level	Частные функции желательности, $d_i$ Private functions of desirability, $d_i$								Обобщенная функция желательности $D_i$ Generalized desirability function $D_i$	Желательность Desirability
		$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$		
1	Оптимальный Optimal	0,37	0,37	0,37	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,68	хорошо good
	Максимальный Maximum	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	очень хорошо very good
2	Оптимальный Optimal	0,03	0,03	0,03	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,25	плохо badly
	Максимальный Maximum	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	очень хорошо very good
3	Оптимальный Optimal	0,00	0,00	0,00	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,00	очень плохо very bad
	Максимальный Maximum	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	удовлетворительно satisfactorily
4	Оптимальный Optimal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	очень плохо very bad
	Максимальный Maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	очень плохо very bad
5	Оптимальный Optimal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	очень плохо very bad
	Максимальный Maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	очень плохо very bad

$$D_i = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i} \quad (4)$$

Пример:

$$D_1 = \sqrt[8]{0,37 \cdot 0,37 \cdot 0,37 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99} = 0,68.$$

Показатель  $D_i$  определяется как среднее геометрическое частных коэффициентов  $d_i$ . Результаты расчетов сведены в *таблице 4*. На основе анализа априорной информации и полученных результатов подтвердилась гипотеза о том, что сочетание первых трех факторов ( $x_1$ - $x_3$ : частота вращения высевающего диска, величина разрежения в вакуумной камере аппарата, положение подвижной части перегородки камер) на ос-

новном уровне, а оставшихся факторов ( $x_4$ - $x_8$ ) – на максимальном уровне диапазона варьирования при планировании многофакторного эксперимента по обобщенной функции показало результат «хорошо». Поэтому при проведении эксперимента рекомендуем применять план Бокса-Бенкена для трех факторов на трех уровнях ( $x_1$ - $x_3$ ), а факторы  $x_4$ - $x_8$  принять константой на максимальном уровне диапазона варьирования.

**Выводы.** Представили способ подготовки к проведению и последующей обработке результатов сложных исследований с применением суперкритерия. Подчеркнули необходимость цифровизации процесса планирования и организации научных экспериментов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Zubrilina E., Vysochkina L., Danilov M., Maliyev V. Design modification of seed distributor of pneumatic seeder for corn sowing. *Engineering for Rural Development*. 2017. Vol. 16. 772-778.
- Зубрилина Е.М., Чикильдин В.Н. Экспериментальные исследования высевающего аппарата с семяпроводом-ускорителем // *Достижения науки и техники АПК*. 2011. №2. С. 66-70.
- Лабскер Л.Г. К вопросу о математической формализации выбора коэффициентов обобщенного критерия Гурвица // *Управление риском*. 2009. №3(51). С. 4-62.
- Лабскер Л.Г. Обобщенный критерий пессимизма-оптимизма Гурвица // *Финансовая математика: коллективная*

- монография. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2001. С. 401-414.
- Беднова О.В. Использование функции желательности Харингтона для оптимизации многокритериальной оценки состояния лесных экосистем в условиях урбанизированной территории // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2011. №7. С. 35-40.
- Щиров В.Н., Пархоменко Г.Г. Определение обобщенного критерия оценки технологического процесса мелкой обработки почвы // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2015. №2(12). С. 169-174.
- Кошурников А.Ф. Пунктирный посев пропашных куль-

тур и формирование густоты насаждений. Пермь: ИПЦ «Прокрост». 2015. 218 с.

8. Маркво И.А., Зубрилина Е.М., Новиков В.И. Анализ тенденций развития и необходимых направлений модернизации в сфере производства сеялок точного высева с пневмосемяпроводами // *Вестник АПК Ставрополя*. 2018. N4(34). С. 18-25.

9. Лощаков П.А. Планирование и реализация многофакторного эксперимента – путь к повышению эффективности исследований // *Автомобильная промышленность*. 2015. N10. С. 32-35.

10. Паламарчук И.П., Полевода Ю.А. Дослідження основних факторів, що визначають процес вібровідцентрового розділення сирого гліцерину // *Праці Таврійського держав-*

*ного агротехнологічного університету*. 2012. Т. 12. N4. С. 26-33.

11. Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 45-52.

12. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Технология комбинированного способа посева и высевающие аппараты для его осуществления // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N4(33). С. 61-65.

13. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Ya.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019 Vol. 190. 70-77.

### REFERENCES

1. Zubrilina E., Vysochkina L., Danilov M., Maliyev V. Design modification of seed distributor of pneumatic seeder for corn sowing. *Engineering for Rural Development*. 2017. Vol. 16. 772-778 (In English).

2. Zubrilina E.M., Chikil'din V.N. Eksperimental'nye issledovaniya vysewayushchego apparata s semyaprovodom-uskoritelem [Experimental studies of a seeding unit with a seed tube-accelerator]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2011. N2. 66-70 (In Russian).

3. Labsker L.G. K voprosu o matematicheskoy formalizatsii vybora koeffitsiyentov obobshchennogo kriteriya [On mathematical formalization of choosing the coefficients of the generalized Hurwitz criterion]. *Upravleniye riskom*. 2009. N3(51). 4-62 (In Russian).

4. Labsker L.G. Obobshchenny kriteriy pessimizma-optimizma Gurvitsa [The generalized Hurwitz criterion of pessimism-optimism]. *Finansovaya matematika: kolektivnaya monografiya*. Moscow: MGU im. M.V. Lomonosova. 2001. 401-414 (In Russian).

5. Bednova O.V. Ispol'zovanie funktsii zhelatel'nosti Kharingtona dlya optimizatsii mnogokriterial'noy otsenki sostoyaniya lesnykh ekosistem v usloviyakh urbanizirovannoy territorii [The use of the Harington desirability function to optimize a multi-criteria assessment of the forest ecosystem state in urbanized areas]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*. 2011. N7. 35-40 (In Russian).

6. Shchirov V.N., Parkhomenko G.G. Opredeleniye obobshchennogo kriteriya otsenki tekhnologicheskogo protsessa melkoy obrabotki pochvy [Definition of a generalized criterion for assessing the technological process of surface tillage]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2015. N2(12). 169-174 (In Russian).

7. Koshurnikov A.F. Punktirnyy posev propashnykh kul'tur i formirovaniye gustomy nasazhdeniy [Dotted sowing of row crops and planting formation: monograph]. Perm': IPTS "Prokrost". 2015. 218 (In Russian).

8. Markvo I.A., Zubrilina E.M., Novikov V.I. Analiz tendentsiy razvitiya i neobkhodimyykh napravleniy modernizatsii v sfere proizvodstva seyalok tochnogo vyseva s pnevmosemyaprovodami [Analysis of development trends and the necessary modernization areas in the field of production of precision seeding drills with pneumatic diaphragms]. *Vestnik APK Stavropol'ya*. 2018. N4(34). 18-25 (In Russian).

9. Loshchakov P.A. Planirovaniye i realizatsiya mnogofaktor-nogo eksperimenta – put' k povysheniyu effektivnosti issledovaniy [Planning and implementation of a multifactor experiment - a way of improving research efficiency]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2015. N10. 32-35 (In Russian).

10. Palamarchuk I.P., Polevoda Yu.A. Doslidzhennya osnovnykh faktoriv, shcho viznachayut protses vibrovidsentrovogo rozdileniya sirogo glitserinu [Planning of multivariable experiment for studying the vibrocentrifugal separation of crude glycerin]. *Pratsi Tavriys'kogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu*. 2012. Vol. 12. N4. 26-33 (In Ukrainian).

11. Nesmiyan A.Yu., Tsench Yu.S. Tendentsii i perspektivy razvitiya otechestvennoy tekhniki dlya poseva zernovykh kul'tur [Trends and prospects of development of domestic equipment for sowing grain crops]. *Sel'skohozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Т. 12. N3. 45-52 (In Russian).

12. Ahalaya B.H., Tsench Yu.S., Kvas S.A. Tekhnologiya kombinirovannogo sposoba poseva i vysewayushchie apparaty dlya ego osushchestvleniya [Technology of the combined method of sowing and sowing machines for its implementation]. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 61-65 (In Russian).

13. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019 Vol. 190. 70-77 (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 10.04.2019**  
**The paper was submitted**  
**to the Editorial Office on 10.04.2019**

**Статья принята к публикации 02.06.2019**  
**The paper was accepted**  
**for publication on 02.06.2019**