

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛЕСОПИТОМНИКОВОЙ СЕЯЛКИ ПРИ ВЫСЕВЕ КРУПНЫХ ЛЕСНЫХ СЕМЯН

Пошарников Ф. В., Посметьев В. В., Попов В. С.

ФГБОУ ВПО Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж  
Воронеж, Россия (394087 г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8) [tolp@vglta.vrn.ru](mailto:tolp@vglta.vrn.ru)

В данной статье описывается оптимизация режимов работы лесопитомниковой сеялки при высевах крупных лесных семян с использованием многофакторного эксперимента. Были выделены три основных фактора, которые существенно влияют на качество высева:  $B$  – ширина выбросного окна высевающего аппарата;  $q$  – норма высева семян;  $v$  – скорость движения сеялки и выходные «показатели качества высева», в которые входят коэффициенты вариации распределения крупных лесных семян. Проведены две серии экспериментов (с верхним и нижним высевом семян) и составлена таблица с результатами, на основе которой произведена аппроксимация методом наименьших квадратов с использованием математического пакета MathCAD 14 и получены функции зависимостей  $V_B(B, q, v)$  и  $V_H(B, q, v)$ . С помощью полученных функций можно прогнозировать качество высева семян лесопитомниковой сеялкой в зависимости от ее параметров  $B, q, v$ .

*Ключевые слова:* многофакторный эксперимент, коэффициент вариации, равномерность распределения семян.

## EXPERIMENTAL OPTIMIZATION OF SYLVULA SEEDING MACHINE WITH SOWING THE SEEDS OF LARGE FOREST

Posharnikov F. V., Posmetev V. V., Popov V. S.

FGBOU VPO Voronezh State Forestry Academy, Voronezh, Russia (394087 Voronezh, Timiryazev str., 8)  
[tolp@vglta.vrn.ru](mailto:tolp@vglta.vrn.ru)

This article describes the optimization of the operating modes silvula seeding machine with sowing the seeds of large forest using multivariate experiments. Identified three major factors that significantly affect the quality of the seed:  $B$ -width of the window throwing metering unit;  $q$  - seeding rate;  $v$  - speed drills and output "indicators of quality seed," which includes the coefficients of variation of the distribution of large forest seeds. Two series of experiments (with upper and lower sowing of seeds) and a table of the results, based on an approximation which is made by the method of least squares using the mathematical package MathCAD 14 and received by the dependency function  $V_B(B, q, v)$  and  $V_H(B, q, v)$ . Using these functions we can predict the quality of the seeding drill of silvula seeding machine depending on the parameters  $B, q, v$ .

*Keywords:* multivariate experiment, the coefficient of variation, the uniformity of distribution of seeds.

Продуктивность и качество выращиваемого лесопосадочного материала во многом зависят от работы лесопитомниковой сеялки. Высеваемые сеялкой семена должны равномерно истекать из высевающего аппарата и равномерно распределяться по дну посевных бороздок [5].

Исследовался высев крупных лесных семян типа желудей и каштанов универсальной лесопитомниковой сеялкой СПП-3Ш, и необходимо было обеспечить их равномерное поступление и распределение. Были выделены три основных фактора, которые существенно влияют на качество высева:  $B$  – ширина выбросного окна высевающего аппарата, см;  $q$  – норма высева семян, г/пог. м;  $v$  – скорость движения сеялки, м/с [4]. Экспериментальные исследования проводились на специально изготовленном стенде [3], который позволял в

требуемом диапазоне осуществлять регулировки указанных параметров

Взаимосвязь входных параметров (факторов) и выходных показателей эффективности (критериев) лабораторного эксперимента можно представить схематически следующим образом (рисунок 1). В группу факторов входят указанные параметры:  $B$ ,  $q$  и  $v$ .



Рисунок 1. Оптимизационная постановка задачи на эксперимент

Во вторую группу «Показатели качества высева» входят коэффициенты вариации распределения крупных лесных семян в поперечном направлении при двух исследуемых способах высева высевающим аппаратом:  $V_B$  – в случае верхнего высева и  $V_H$  – в случае нижнего высева. Так как верхний и нижний высев – это режимы работы одной и той же сеялки, параметры сеялки  $B$ ,  $q$ ,  $v$  должны обеспечивать как можно меньшие значения коэффициентов вариации  $V_B$  и  $V_H$  одновременно. Лабораторные экспериментальные исследования направлены на определение оптимальной области (или областей) факторного пространства  $(B, q, v)$ , в которой сеялка будет наиболее равномерно распределять семена по поверхности. Таким образом, необходимо решить следующую экспериментальную задачу оптимизации [7]:

$$\begin{cases} V_B(B, q, v) \rightarrow \min; \\ V_H(B, q, v) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (1)$$

В соответствии с матрицей планирования трехфакторного оптимизационного эксперимента были проведены две серии экспериментов (с верхним и с нижним высевом). Результаты серий экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты оптимизационного экспериментального исследования

Номер эксперимента	Параметры сеялки (факторы)			Коэф. вариации (критерии)	
	$B$ , см	$q$ , г/пог.м	$v$ , м/с	Верхний высев, $V_B$ , %	Нижний высев, $V_H$ , %
1	6	100	1,0	34,2561	26,47823
2	6	150	1,0	35,7871	28,02388

Номер экспери- мента	Параметры сеялки (факторы)			Коэф. вариации (критерии)	
	<i>B</i> , см	<i>q</i> , г/пог.м	<i>v</i> , м/с	Верхний высев, <i>V<sub>B</sub></i> , %	Нижний высев, <i>V<sub>H</sub></i> , %
3	6	200	1,0	37,52027	31,69475
4	6	100	1,5	27,40334	23,78287
5	6	150	1,5	30,30707	25,28283
6	6	200	1,5	32,94248	27,33259
7	6	100	2,0	25,47419	20,24475
8	6	150	2,0	27,54471	22,44436
9	8	200	2,0	29,44007	24,39098
10	8	100	1,0	15,5494	22,0794
11	8	150	1,0	19,00292	26,24319
12	8	200	1,0	27,89015	29,05342
13	8	100	1,5	12,53192	14,24505
14	8	150	1,5	17,30135	18,04763
15	8	200	1,5	25,52773	21,81846
16	8	100	2,0	11,58868	10,29661
17	8	150	2,0	15,59264	11,00402
18	8	200	2,0	22,86199	12,34725
19	10	100	1,0	11,60511	10,02807
20	10	150	1,0	11,31423	12,92674
21	10	200	1,0	12,32621	14,51382
22	10	100	1,5	10,34224	9,018485
23	10	150	1,5	10,39349	10,70389
24	10	200	1,5	11,0714	12,39795
25	10	100	2,0	9,258201	8,252222
26	10	150	2,0	10,18014	9,404793
27	10	200	2,0	10,68011	10,2818

По результатам экспериментального исследования могут быть получены четкие аналитические зависимости в виде полиномов второго порядка:

$$\begin{aligned}
 V(B, q, v) = & a_1 \cdot B^2 + a_2 \cdot q^2 + a_3 \cdot v^2 + a_4 \cdot B \cdot q + a_5 \cdot B \cdot v + \\
 & + a_6 \cdot q \cdot v + a_7 \cdot B + a_8 \cdot q + a_9 \cdot v + a_{10},
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где *V* – коэффициент вариации (*V<sub>B</sub>* или *V<sub>H</sub>*);

*a<sub>1</sub>...a<sub>10</sub>* – коэффициенты многочлена [6].

Полученные аналитические зависимости позволили рассчитать показатели качества высева семян лесопитомниковой сеялкой при различных режимах работы. С помощью формул такого типа можно также выполнить сглаживание и формализацию экспериментальных данных, что облегчает их анализ.

Для определения коэффициентов зависимости  $V(B, q, v)$  будем использовать аппроксимацию методом наименьших квадратов [2]. Метод заключается в решении обратной задачи для определения таких коэффициентов –  $a_1...a_{10}$ , при которых суммарное квадратичное отклонение аналитической зависимости от экспериментальных данных будет минимальным:

$$\sum_{i=1}^{N_{\text{э}}} \left( V_{\text{аналит.}}(B_i, q_i, v_i) - V_{\text{эсп.}}^i(B_i, q_i, v_i) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $i$  – номер эксперимента;

$N_{\text{П}}$  – общее число экспериментов;

$V_{\text{аналит.}}$  – аналитическая зависимость показателя  $V$  от входных показателей;

$V_{\text{эсп.}}^i$  – экспериментальные значения показателя  $V$  в  $i$ -м эксперименте.

Аппроксимация методом наименьших квадратов произведена с использованием математического пакета MathCAD 14. В результате аппроксимации получены следующие формулы для прогноза:

$$V_{\text{В}}(B, q, v) = 0,586 B^2 + 2,978 \cdot 10^{-4} q^2 + 2,778 v^2 - 8,083 \cdot 10^{-4} B \cdot q + 1,683 B \cdot v + 1,000 \cdot 10^{-3} \cdot q \cdot v - 15,785 B + 0,032 q - 26,672 v + 118,01; \quad (4)$$

$$V_{\text{Н}}(B, q, v) = -0,04 B^2 + 8,889 \cdot 10^{-6} q^2 + 1,022 v^2 - 2,50 \cdot 10^{-3} B \cdot q + 0,817 B \cdot v - 0,028 \cdot 10^{-3} \cdot q \cdot v - 3,875 B + 0,104 q - 13,394 v + 53,351, \quad (5)$$

Для проверки адекватности описания данными формулами исследуемых зависимостей использовали критерий Фишера [1]. С помощью полученных функций  $V_{\text{В}}(B, q, v)$  и  $V_{\text{Н}}(B, q, v)$  можно прогнозировать качество высева семян лесопитомниковой сеялкой в зависимости от ее параметров  $B, q, v$ .

Полученные зависимости можно изобразить графически и провести их анализ. Функцию трех переменных можно графически представить своеобразными «срезами», то есть графиками функций двух переменных при условии, что третья переменная имеет постоянное (наиболее характерное) значение (рисунки 2 и 3) [7].

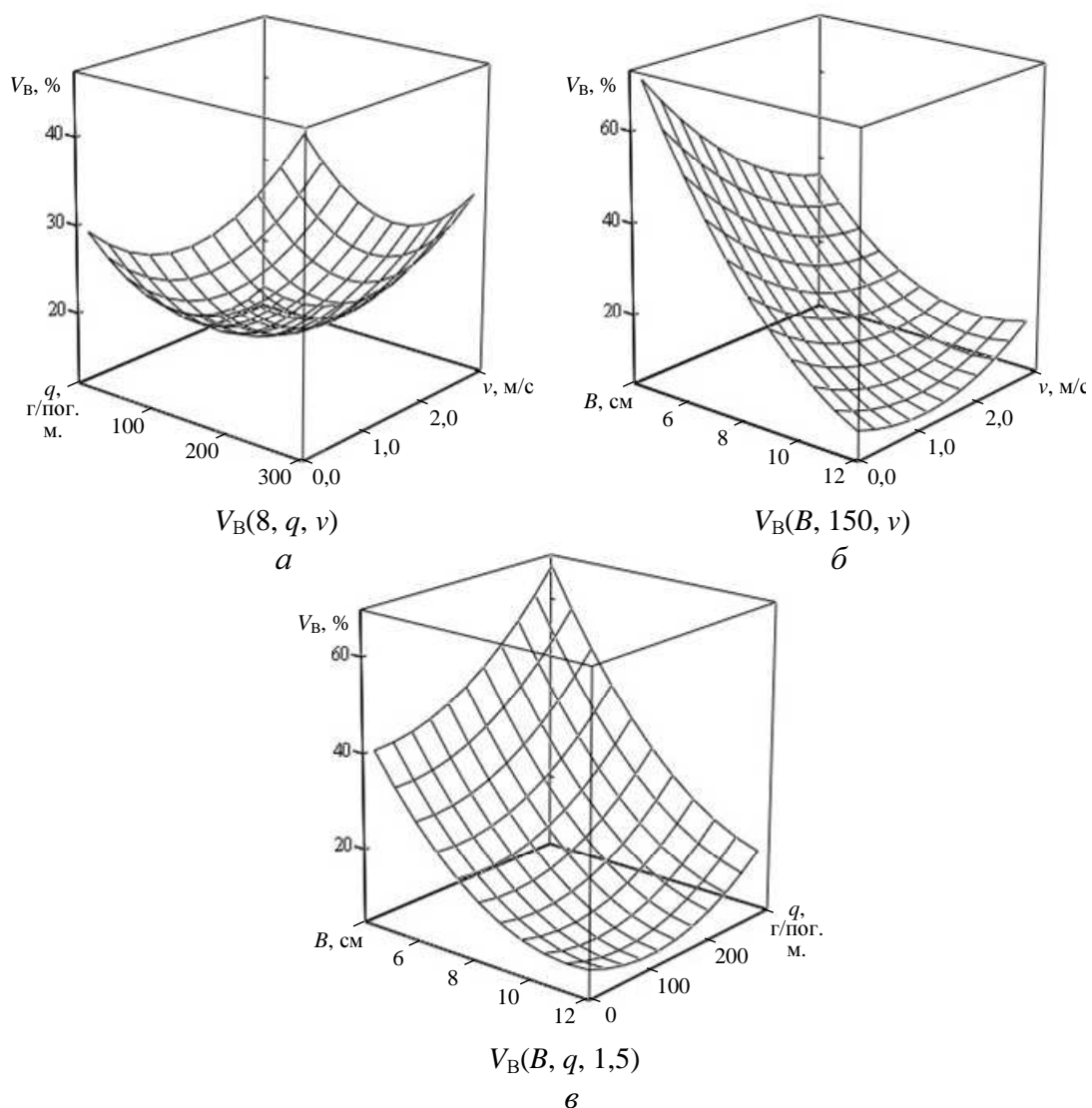


Рисунок 2. Поверхности отклика экспериментальной зависимости коэффициента вариации при верхнем высеве  $V_B(B, q, v)$

В качестве таких, наиболее характерных, значений выбраны параметры, соответствующие «центральной точке» эксперимента:  $B = 8$  см,  $q = 150$  г/пог.м,  $v = 1,5$  м/с. На рисунке 2 и 3 изображены поверхности отклика.

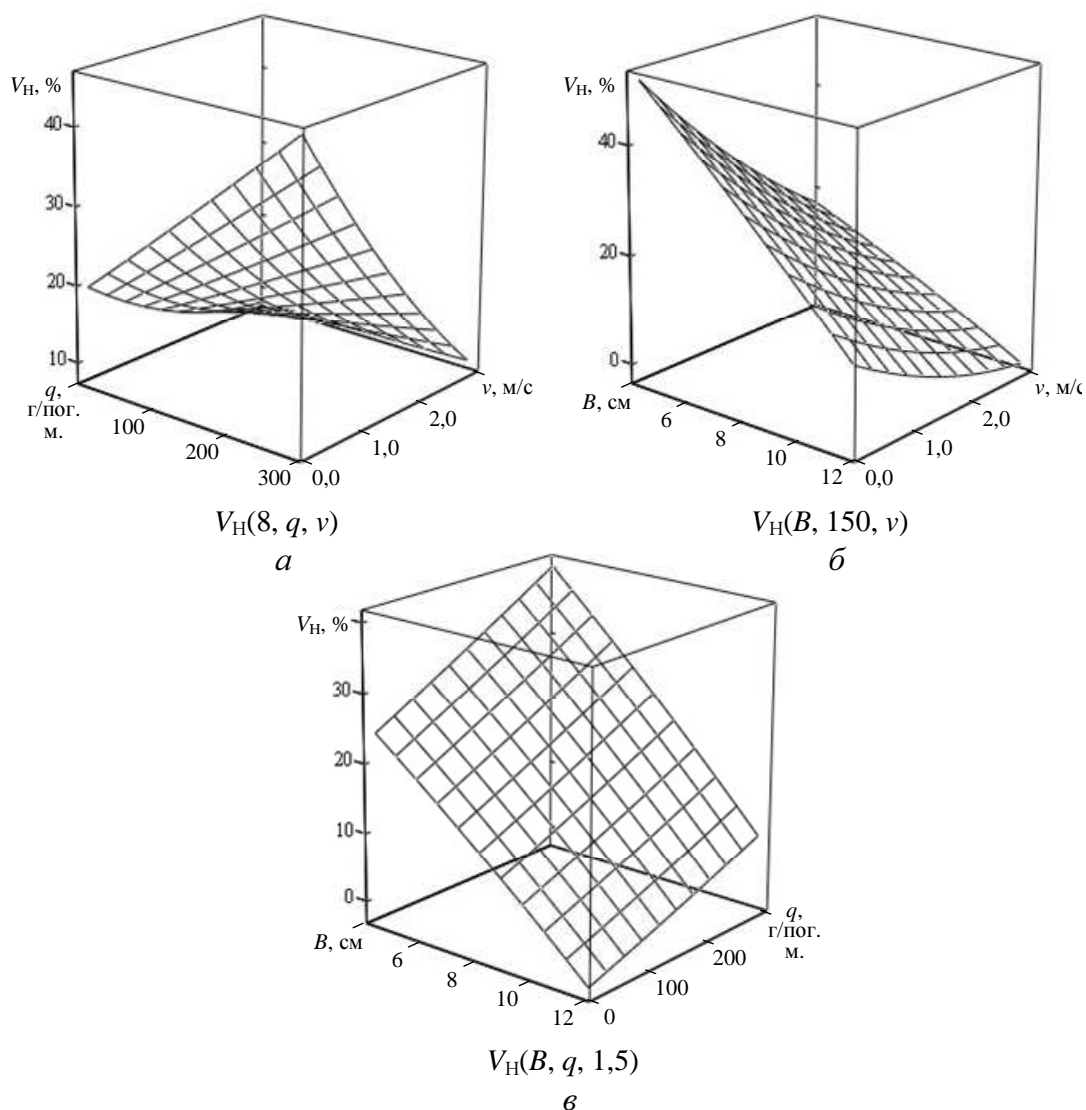


Рисунок 3. Поверхности отклика экспериментальной зависимости коэффициента вариации при нижнем высеве  $V_H(B, q, v)$

На рисунке 4 изображены соответствующие линии уровня функций с затемнением благоприятных областей факторного пространства. В качестве границ благоприятных областей выбраны изолинии, соответствующие приемлемому уровню коэффициента вариации 10 % (только в одном случае уровень был повышен до 15 % (рисунок 4, *a*), так как соответствующая функция не достигала уровня 10 %).

Проанализируем расположение оптимальных областей в факторном пространстве. Совокупный анализ графиков-срезов функции  $V_B(B, q, v)$  для случая верхнего высева семян (рисунок 4, *a–в*) позволяет рекомендовать следующие оптимальные диапазоны параметров работы сеялки:  $B = 10 \dots 12$  см;  $q = 0 \dots 120$  г/пог.м;  $v = 1,8 \dots 2,2$  м/с.

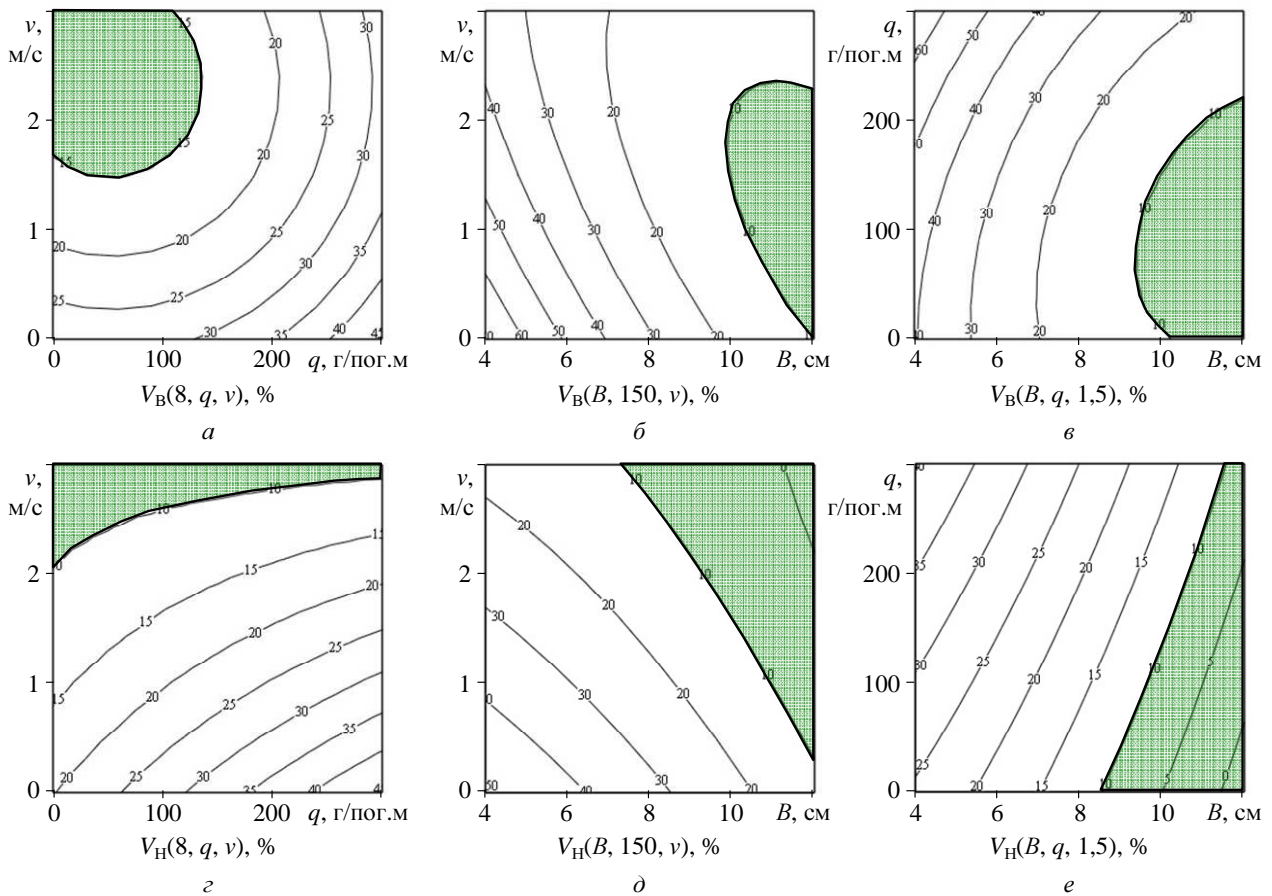


Рисунок 4. Благоприятные области факторного пространства на экспериментальных функциях  $V_B(B, q, v)$  и  $V_H(B, q, v)$ , представленных графически в виде линий уровня

При анализе графиков-срезов функции  $V_H(B, q, v)$  для случая нижнего высева семян (рисунок 4, г-е) обнаружено, что оптимальными диапазонами параметров работы сеялки являются следующие:  $B = 10 \dots 12$  см;  $q = 0 \dots 150$  г/пог.м;  $v = 2,5 \dots 3,0$  м/с. Кроме того, интерпретируя наклонный вид границы благоприятных областей (рисунок 4, д-е), можно сформулировать следующую закономерность для режима нижнего высева: чем шире выбросное окно высевающего аппарата  $B$ , тем выше может быть норма высева семян  $q$ , однако тем с меньшей скоростью  $v$  должна двигаться сеялка для обеспечения качественного посева крупных лесных семян.

Сравнивая оптимальные области для режимов верхнего и нижнего высева крупных лесных семян, можно заключить, что лесопитомниковая сеялка с разрабатываемым высевающим аппаратом обеспечивает достаточную равномерность распределения семян в обоих режимах. Однако для получения высоких показателей для режима верхнего высева семян скорость движения сеялки должна быть  $1,8 \dots 2,2$  м/с, а для нижнего высева –  $2,5 \dots 3,0$  м/с.

В целом, для лесопитомниковой сеялки можно рекомендовать следующие оптимальные параметры, которые позволяют достигнуть достаточно высокой равномерности распределения крупных лесных семян в режимах как верхнего, так и нижнего высева:  $B = 10 \dots 12$  см;  $q = 50 \dots 130$  г/пог.м;  $v = 2,1 \dots 2,3$  м/с.

Проведенная оптимизация процесса высева крупных лесных семян лесопитомниковой сеялкой позволяет учесть рекомендуемые режимы её работы при конструировании новых и модернизации имеющихся лесопитомниковых сеялок, применение которых позволит обеспечить высокое качество высева крупных лесных семян.

#### Список литературы

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

2. Королев Ю. Г. Метод наименьших квадратов в социально-экономических исследованиях. – М.: Статистика, 1980. – 112 с., ил.

3. Попов В. С. Оборудование и методика проведения экспериментальных исследований высевающих аппаратов лесных сеялок // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1; URL: [www.science-education.ru/101-5355](http://www.science-education.ru/101-5355) (дата обращения: 30.01.2012).

4. Пошарников Ф. В., Попов В. С. Результаты исследований нового высевающего аппарата лесной сеялки // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1;

URL: [www.science-education.ru/101-5354](http://www.science-education.ru/101-5354) (дата обращения: 30.01.2012).

5. Пошарников Ф. В. Новые способы и технологические средства для высокоэффективного посева лесных семян в питомнике // Вестник Московского государственного университета леса. – Лесной вестник. – 2000. – № 3. – С. 105-112.

6. Румшиский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

7. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов: пер. с англ. – М.: ГРФМЛ изд-ва «Наука», 1970. – 287 с.

#### Рецензенты:

Бартенев И. М., д.т.н., профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж.

Мануковский А. Ю., д.т.н., профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж.