

УДК 631.3-1/-9:635-133

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА КАЧЕСТВА ПОСЕВА СЕМЯН ЛУКА РЕПЧАТОГО ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ**

Михайлов Владимир Сергеевич  
аспирант  
SPIN-код автора 2276-9717  
РИНЦ Author ID = 1115621  
e-mail: vadimbukreev@gmail.com  
*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия*

Козлов Вячеслав Геннадиевич  
д-р. техн. наук, профессор  
SPIN-код автора 8181-2771  
РИНЦ Author ID = 202094  
e-mail: vya-kozlov@yandex.ru  
*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия*

Димогло Анатолий Владимирович  
к-т. тех. наук, доцент  
SPIN-код автора 8185-2814  
РИНЦ Author ID = 1225213  
e-mail: tolikxd@gmail.com  
*Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, кафедра ТСиЭвАПК, Приднестровье, Тирасполь*

Козлова Елена Владимировна  
к-т. тех. наук, доцент  
SPIN-код автора 9356-2523  
РИНЦ Author ID = 836693  
e-mail: nasevl@mail.ru  
*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия*

Букреев Вадим Юрьевич  
к-т. тех. наук, доцент  
SPIN-код автора 6052-3708  
РИНЦ Author ID = 1042053  
e-mail: vadimbukreev@gmail.com  
*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия*

Чупахин Александр Викторович  
к-т. тех. наук, доцент  
SPIN-код автора 1755-5131  
РИНЦ Author ID = 475543

UDC 631.3-1/-9 :635-133

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**THE RESULTS OF A MULTIFACTORIAL EXPERIMENT ON THE QUALITY OF SOWING ONION SEEDS WITH A SEEDING MACHINE**

Mikhailov Vladimir Sergeevich  
postgraduate student  
The author's SPIN-code: 2276-9717  
RSCI Author ID =1115621  
e-mail: vadimbukreev@gmail.com  
*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*

Kozlov Vyacheslav Gennadievich  
Doctor of Technical Sciences, Professor  
RSCI SPIN-code: 8181-2771  
RSCI Author ID = 202094  
e-mail: vya-kozlov@yandex.ru  
*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*

Dimoglo Anatoly Vladimirovich  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
The author's SPIN-code: 8185-2814  
RSCI Author ID =1225213  
e-mail: tolikxd@gmail.com  
*T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Pridnestrovie, Tiraspol*

Kozlova Elena Vladimirovna  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
The author's SPIN-code: 9356-2523  
RSCI Author ID = 836693  
e-mail: nasevl@mail.ru  
*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*

Bukreev Vadim Yuryevich  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
The author's SPIN-code: 6052-3708  
RSCI Author ID = 1042053  
e-mail: vadimbukreev@gmail.com  
*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*

Chupakhin Alexander Viktorovich  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
The author's SPIN-code: 1755-5131  
RSCI Author ID =475543

e-mail: chup154@gmail.com

*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия*

Эффективное планирование эксперимента невозможно без адекватного выбора числа и условий проведения опытов (физических или расчетных), которые будут удовлетворять критериям необходимости и достаточности для решения поставленных задач с заданной точностью. На качество посева семян лука влияет широкий спектр факторов, влияние которых было исследовано в рамках многофакторного эксперимента по центральному композиционному плану. Результат многофакторного эксперимента позволил выделить два основных фактора влияющих на качество распределения семян в рядке: скорость движения высевашего аппарата и высота падения семян. Данная методика дает возможность для обобщения материалов исследований в виде математической модели и их статистической оценки

Ключевые слова: ВЫСЕВАЮЩИЙ АППАРАТ, КАЧЕСТВО ПОСЕВА, ЛУК РЕПЧАТЫЙ, РАВНОМЕРНОСТЬ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-199-024>

e-mail: chup154@gmail.com

*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*

Effective experiment planning is impossible without an adequate choice of the number and conditions of experiments (physical or calculated) that will meet the criteria of necessity and sufficiency to solve the tasks with a given accuracy. The quality of onion seed sowing is influenced by a wide range of factors, the influence of which was studied as part of a multifactorial experiment on the central compositional plan. The result of the multifactorial experiment allowed us to identify two main factors affecting the quality of seed distribution in a row: the speed of movement of the sowing apparatus and the height of the seed drop. This technique makes it possible to generalize research materials in the form of a mathematical model and their statistical evaluation

Keywords: SEEDING MACHINE, SEEDING QUALITY, ONION, UNIFORMITY

Эффективность планирования эксперимента во многом определяется адекватностью выбора числа и условий проведения опытов (физических или расчетных), которые будут удовлетворять критериям необходимости и достаточности для решения поставленных задач с заданной точностью [1, 2].

Поскольку на качество посева семян лука влияет широкий спектр факторов, опыты в лабораторных условиях проводились согласно общепринятой методике планирования многофакторного эксперимента и требованиям СТО АИСТ 5.6-2018 [2]. Эффективное планирование эксперимента невозможно без адекватного выбора числа и условий проведения опытов (физических или расчетных), которые будут удовлетворять критериям необходимости и достаточности для решения поставленных задач с заданной точностью [5].

<http://ej.kubagro.ru/2024/05/pdf/24.pdf>

В рамках написания диссертационной работы, методом планирования многофакторного эксперимента осуществляли исследование разработанного высевающего аппарата пневматической сеялки точного высева, снабженного устройством подачи семян с криволинейными направляющими, образующих связанные группы. Многофакторный эксперимент позволяет определить оптимальные значения параметров, влияющих на процесс высева аппаратом.

Исследования проводились согласно ГОСТ Р 50779.21-2004 и ГОСТ 34100.3.2-2017. При рассмотрении взаимосвязей, исследуемую величину выделяли как независимую, а другие как зависимые.

Корреляционный анализ является важным инструментом в научных исследованиях, особенно при изучении воздействия различных факторов на равномерность высева семян. Равномерность высева семян играет ключевую роль в сельском хозяйстве и представляет собой меру однородности распределения семян на посевных площадях. Для проведения корреляционного анализа влияния факторов на равномерность высева семян было использовано множество данных, полученных из опытного поля. В качестве факторов, в соответствии с рекомендациями [2, 3] были рассмотрены параметры, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Значения параметров для корреляционного анализа

Факторы	Уровни фактора			Интервал варьирования, ε
	0	-1	+1	
<i>X1</i> – высота падения семян, мм	100	50	150	50
<i>X2</i> – скорость воздушного потока в канале семяпровода, м/с	1,9	1,6	2,2	0,3
<i>X3</i> – скорость движения высевающего аппарата, м/с	1,67	1,11	2,22	0,56
<i>X4</i> – скорость витания протравленных семян, м/с	5,0	4,5	5,5	0,5
<i>X5</i> – коэффициента трения по полимерной поверхности	0,365	0,35	0,38	0,015
<i>X6</i> – влажность почвы, %	15,25	14,8	15,7	0,45
<i>X7</i> – влажность семян, %	10,4	10	10,8	0,4
<i>X8</i> – абсолютная масса семян, г	3,883	3,686	4,08	0,197

Предварительные эксперименты по выявлению степени влияния факторов на равномерность высева семян завершились следующими результатами (табл. 2.).

Таблица 2 – Опытные данные влияния исследуемых факторов на равномерность высева семян

Относит равномерн	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
0,120414	60	1,7	2,2	4,8	0,35	15	10,2	3,8
-0,02482	54	1,6	2,05	4,6	0,36	14,8	10,5	3,68
0,14636	62	1,8	2,21	4,9	0,38	14,9	10,4	3,74
0,222668	69	2	2,22	5	0,36	15,2	10,8	3,91
0,275658	84	2,2	2,05	5,3	0,36	15,6	10,6	3,83
0,34962	92	2,1	2,04	4,6	0,35	15,6	10,4	3,79
-0,0554	96	1,7	1,26	4,8	0,37	15,4	10,1	4
0,542098	101	1,9	2,22	5,2	0,36	15,3	10,3	3,98
0,746794	122	1,8	2,21	4,9	0,38	15,1	10,7	3,98
0,996214	147	2	2,21	5,4	0,35	14,9	10,2	3,79
0,434019	97	2,2	2,1	4,8	0,38	15,1	10,6	3,82
-0,19634	83	2,1	1,24	4,9	0,36	15,6	10,4	3,86
0,002018	76	2	1,71	5,5	0,36	15,2	10,8	3,91
0,219481	91	1,6	1,83	4,7	0,37	14,8	10,2	3,99

Предварительный эксперимент и последующий корреляционный анализ, результаты которого представлены на рисунке 1, выявили необходимость включения в модель влияния технологических параметров [61] на равномерность высева семян таких параметров высева, как X1, X3.

Переменная	Корреляции (Таблица корреляц) Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < .05000$ N=14 (Построчное удаление ПД)										
	Средние	Ст.откл.	У	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
У	0,26991	0,32659	1,000000	0,804771	0,200282	0,644780	0,317340	0,000569	-0,217925	-0,013650	0,083220
X1	88,14286	25,01955	0,804771	1,000000	0,243679	0,065183	0,343163	0,026390	0,050508	-0,202030	0,360787
X2	1,90714	0,20926	0,200282	0,243679	1,000000	0,021806	0,427457	-0,148051	0,639342	0,438556	-0,121019
X3	1,96786	0,34075	0,644780	0,065183	0,021806	1,000000	0,090870	-0,033239	-0,432124	0,235698	-0,324907
X4	4,95714	0,28747	0,317340	0,343163	0,427457	0,090870	1,000000	-0,219083	0,136380	0,272934	0,176571
X5	0,36357	0,01082	0,000569	0,026390	-0,148051	-0,033239	-0,219083	1,000000	-0,244530	0,210983	0,264236
X6	15,17857	0,28871	-0,217925	0,050508	0,639342	-0,432124	0,136380	-0,244530	1,000000	0,130116	0,215719
X7	10,44286	0,23110	-0,013650	-0,202030	0,438556	0,235698	0,272934	0,210983	0,130116	1,000000	-0,038566
X8	3,86286	0,10110	0,083220	0,360787	-0,121019	-0,324907	0,176571	0,264236	0,215719	-0,038566	1,000000

Рисунок 1 – Данные корреляционного анализа

Результаты анализа подтвердили мультиколлинеарную связь между параметрами X2 и X6.

Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком представлена на рисунках 2-9.

Поскольку теория эксперимента предполагает исключение из модели менее значимого параметра [3], параметр  $X_2$  необходимо исключить из модели. Также в модели можно пренебречь параметрами  $X_4$ ,  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_7$ ,  $X_8$  вследствие низкого коэффициента корреляции. Таким образом, установлено, что только факторы  $X_1$ ,  $X_3$ : высота падения семян, мм, и скорость движения высевающего аппарата, м/с соответственно важны в математической модели при исследовании равномерности высева семян.

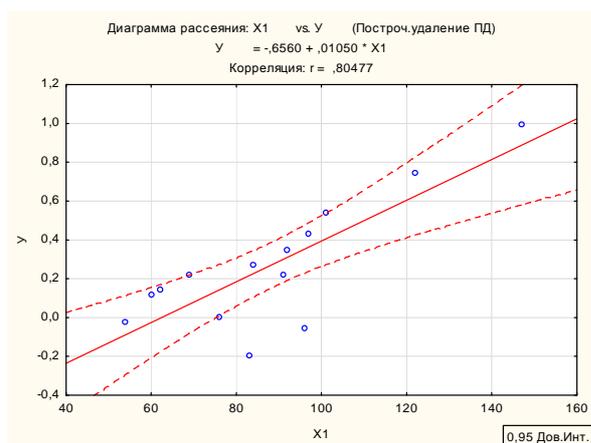


Рисунок 2 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

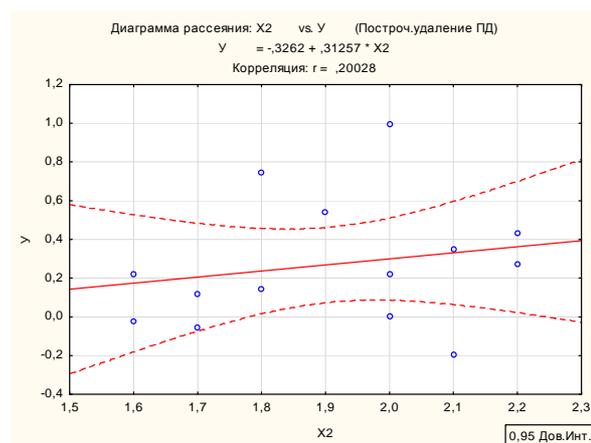


Рисунок 3 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

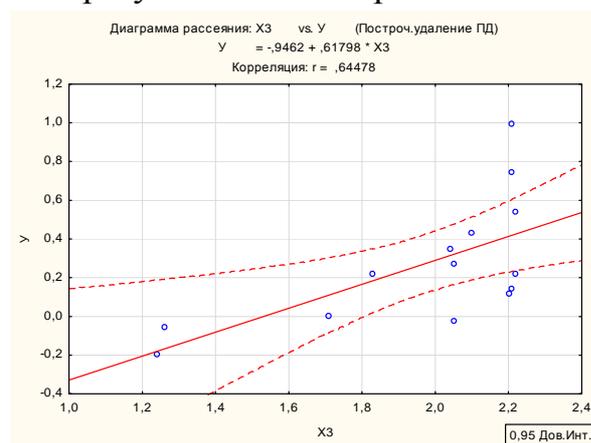


Рисунок 4 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

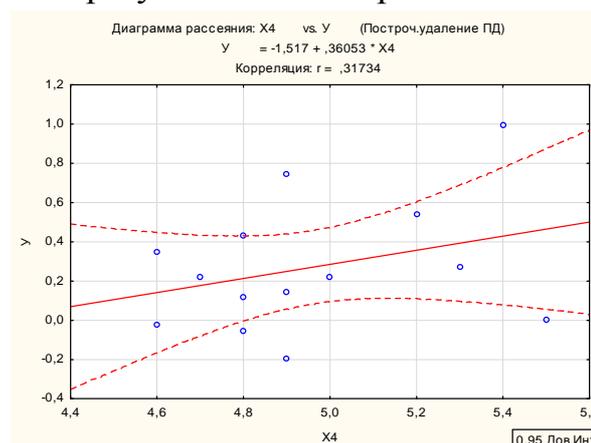


Рисунок 5 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

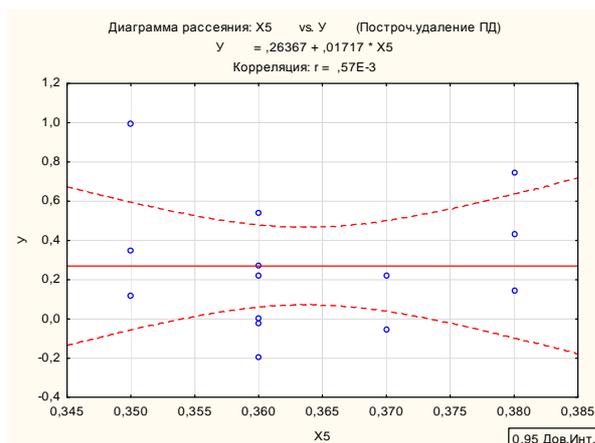


Рисунок 6 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

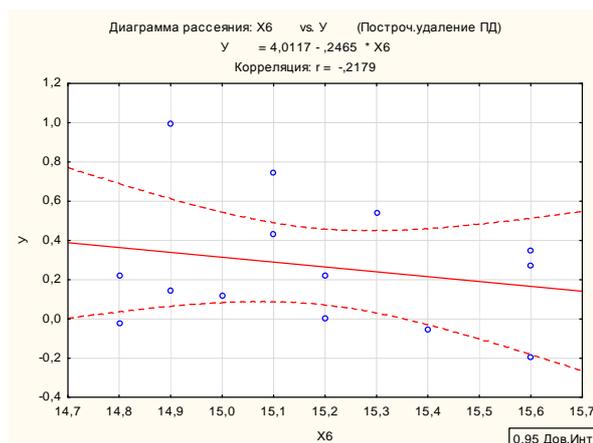


Рисунок 7 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

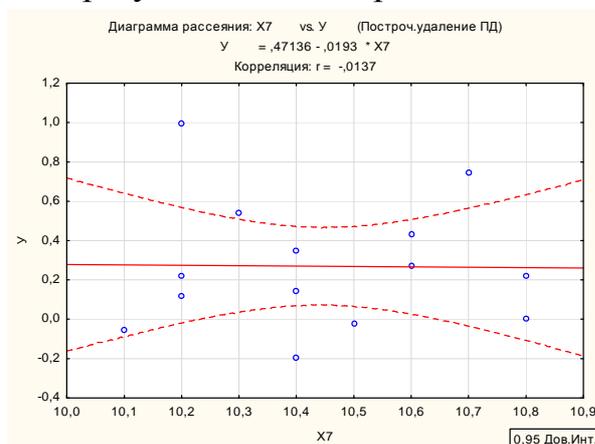


Рисунок 8 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

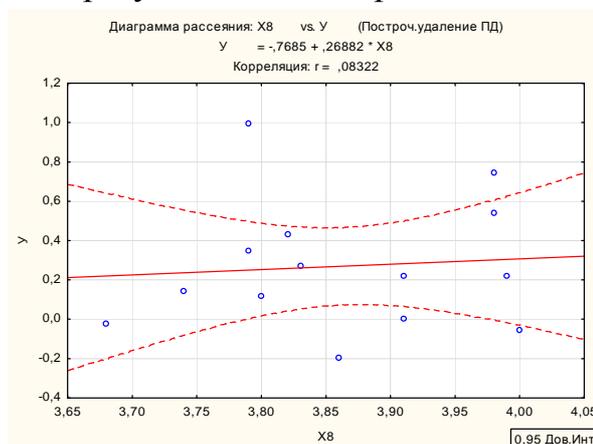


Рисунок 9 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

Согласно ГОСТ для семян лука, равномерным считается высев семян 1026500 шт/га или расстояние между семенами на расстоянии 48,7 мм. отклонение от данной величины в большую или меньшую сторону считается неравномерным высевом.

Для оценки равномерности посева используем относительную шкалу, где максимальная равномерность посева, соответствующая 48,7 мм, будет равна 1. Отклонения от данного параметра будем фиксировать с шагом 5%. Таким образом, таблица 3 определяет соответствия между

значениями относительной равномерности и расстоянием между семенами при высеве.

Таблица 3 – Соответствие между значениями относительной равномерности и расстоянием между семенами при высеве

Значение желательности	Расстояние между семенами	
	Отклонение «-»	Отклонение «+»
1	48,7	48,7
0,95	46,265	51,135
0,8	43,83	53,57
0,75	41,395	56,005
0,7	38,96	58,44
0,65	36,525	60,875
0,6	34,09	63,31
0,55	31,655	65,745
0,5	29,22	68,18
0,45	26,785	70,615
0,4	24,35	73,05

Исследование влияния скорости движения высевающего органа и высоты падения семян на равномерность высева проводилось в рамках многофакторного эксперимента по центральному композиционному плану [3].

В качестве функции отклика приняли относительную равномерность высева семян, а основными факторами высоту падения семян  $X1$  и скорость движения высевающего органа  $X3$ .

В таблице 4 представлены план центрального композиционного плана и результаты многофакторного эксперимента.

Таблица 4 – План центрального композиционного плана и результаты многофакторного эксперимента

относительная равномерность высева семян, с	высота падения семян мм, $X1$	скорость движения высевающего аппарата м/с, $X3$
0,905	50	1,11
0,915	150	1,11
1	2	3
0,905	50	2,22
0,915	150	2,22
0,9486	100	0,833
0,9486	100	2,45

относительная равномерность высева семян, с	высота падения семян мм, $X1$	скорость движения высевающего аппарата м/с, $X3$
0,9245	29,50	1,67
0,9345	170,50	1,67
0,995	100	1,67
0,995	100	1,67

Характеристики плана эксперимента выбирались из условия получения равномерного высева семян. В результате были выбраны следующие области варьирования независимых переменных  $X1$  и  $X3$ :

1,111 – 2,222 м/с для скорости движения высевающего аппарата,  $X1$ ;  
50 – 150 мм для высоты падения семян,  $X3$ .

Таким образом анализ теоретических исследований точности высева разработанным высевающим аппаратом и результатов соответствующих экспериментальных исследований позволил выделить два основных фактора: скорость движения высевающего аппарата  $X1$ , высота падения семян  $X3$ .

Исследование области оптимума проводилось на основе методики насыщенного плана второго порядка (плана Рехтшафнера) для многофакторного эксперимента, параметры которого приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Факторы, их уровни и интервалы варьирования

Факторы	Уровни фактора			Интервал варьирования, ε
	0	-1	+1	
$X1$ – высота падения семян, мм	100	50	150	50
$X3$ – скорость движения высевающего аппарата, м/с	1,66	1,11	2,22	0,55

Поскольку многофакторный план Рехтшафнера позволяет значительно сократить количество опытов, по сравнению с однофакторным экспериментом, где последовательно изучается действие каждого фактора, именно он был выбран и принят за основу в нашем исследовании. Немаловажным преимуществом плана Рехтшафнера является возможность увеличения объема информации за счёт анализа

взаимодействия и корреляции факторов между собой. Кроме того, данная методика дает возможности для обобщения материалов исследований в виде математической модели и их статистической оценки.

На основании проведенного корреляционного анализа в модель описывающую зависимость качества посева семян лука были включены следующие факторы: высота падения семян  $X1$  и скорость движения высевашего органа  $X2$ . Для оценки равномерности посева используем относительную шкалу, где максимальная равномерность посева, соответствующая 48,7 мм, будет равна 1. Отклонения от данного параметра будем фиксировать с шагом 5%. Таким образом, таблица 6 определяет соответствия между значениями относительной равномерности и расстоянием между семенами при посеве.

Таблица 6 – Соответствие между значениями относительной равномерности и расстоянием между семенами при посеве

Значение функции желательности	Расстояние между семенами	
	Отклонение «-»	Отклонение «+»
1	48,7	48,7
0,95	46,265	51,135
0,8	43,83	53,57
0,75	41,395	56,005
0,7	38,96	58,44
0,65	36,525	60,875
0,6	34,09	63,31
0,55	31,655	65,745
0,5	29,22	68,18
0,45	26,785	70,615
0,4	24,35	73,05

Влияние скорости движения высевашего органа и высоты падения семян на равномерность посева было исследовано в рамках многофакторного эксперимента по центральному композиционному плану [3].

В качестве функции отклика приняли относительную равномерность посева семян, а основными факторами высоту падения семян  $X1$  и скорость движения высевашего органа  $X2$ .

Планирование эксперимента проводилось по стандартному плану, представленному в таблице 7 [3].

Таблица 7 – Матрица планирования проведения центрального композиционного плана при двухфакторном эксперименте.

№ п/п	$X1$	$X2$
1	-1,00000	-1,00000
2	-1,00000	1,00000
3	1,00000	-1,00000
4	1,00000	1,00000
5	-1,41421	0,00000
6	1,41421	0,00000
7	0,00000	-1,41421
8	0,00000	1,41421
9 (H)	0,00000	0,00000
10 (H)	0,00000	0,00000

Таблица 8 – Центральный композиционный план и результаты многофакторного эксперимента

Относительная равномерность высева семян	Высота падения семян, $X1$ , мм	Скорость движения высевающего органа, $X3$ , м/с
0,905	50	1,11
0,915	150	1,11
0,905	50	2,22
1	2	3
0,915	150	2,22
0,9486	100	0,833
0,9486	100	2,45
0,9245	29,50	1,67
0,9345	170,50	1,67
0,995	100	1,67
0,995	100	1,67

В таблице 8 представлены центральный композиционный план и результаты многофакторного эксперимента.

Отбор характеристик плана эксперимента проводился по результатам равномерности высева семян. В итоге были определены области варьирования таких переменных, как высота падения семян ( $X1$ ) и скорость движения высевающего органа ( $X2$ ):

- $X1$ , см (мм), 5 – 15 (50 – 150)
- $X2$ , км/ч (м/с), 4 – 8 (1,111 – 2,222)

В результате обработки статистических данных (рис. 10) с помощью пакета научных подпрограмм «Statistika» нами было получено уравнение, которое описывает зависимость равномерности высева семян от исследуемых факторов:

$$c = 0,549 + 0,092x_1 + 0,033x_2 - 0,008x_1^2 - 0,002x_2^2 - 0,001x_1x_2 \quad (1)$$

Эффект	Оценки параметров (Таблица данных6)									
	Сигма-ограниченная параметризация									
	С Парам.	С Ст.Ош.	С t	С p	-95,00% Дов.Пр.	+95,00% Дов.Пр.	С Beta (B)	С Ст.Ош.В	-95,00% Дов.Пр.	+95,00% Дов.Пр.
Св. член	0,549792	0,116007	4,73930	0,009042	0,227705	0,871875				
"X1"	0,091935	0,030507	3,01370	0,039407	0,007235	0,176635	5,15475	1,710435	0,40580	9,90365
"X1" <sup>2</sup>	-0,007662	0,002375	-3,22031	0,032271	-0,014267	-0,001055	-5,20424	1,616065	-9,69117	-0,71732
"X2"	0,033055	0,009845	3,35652	0,028395	0,005715	0,060402	4,63365	1,380484	0,80075	8,46645
"X2" <sup>2</sup>	-0,001610	0,000381	-4,22984	0,013372	-0,002667	-0,000555	-4,61075	1,090057	-7,63725	-1,58425
"X1"*"X2"	0,001000	0,001015	-0,00000	1,000000	-0,002814	0,002814	-0,00000	1,043962	-2,89850	2,89850

Рисунок 10 – Результаты статистической обработки данных эксперимента

Адекватность выбранной модели проверялась критерием Фишера при условии  $F_p < F_m$ . Полученную нами модель можно считать адекватной, поскольку расчетный критерий Фишера  $F_p=2,1405$  меньше табличного  $F_{табл} = 3,23$  [3]. Результаты расчетов представлены на рисунке 11. Таким образом, влияние основных факторов процесса на адгезию получаемых покрытий адекватно описывается уравнением регрессии.

Зависим. Перемен.	SS модели и SS остатков (Таблица данных6)										
	Множеств R	Множеств R2	Скоррект R2	SS Модель	сс Модель	MS Модель	SS Остаток	сс Остаток	MS Остаток	F	p
С	0,915465	0,838075	0,635671	0,008505	5	0,001701	0,001645	4	0,000411	2,140585	0,046715

Рисунок 11 – Расчет параметров модели

Анализ доказал высокую корреляцию равномерности высева семян и исследуемых факторов: множественный коэффициент корреляции составил 0,915.

Корреляционная матрица подтверждает, что наибольшее значение на равномерность высева семян оказывает скорость движения высевающего органа (коэффициент корреляции – 0,86). Менее значительно влияет на равномерность высева высота падения семян (коэффициент корреляции составил 0,83).

Эффект	Статистики коллинеарности для членов в уравнении (Таблица регрес) Сигма-ограниченная параметризация							
	Допуск	Дисперс. Infl fac	R квадр.	С Бета	С Частн.	С Получас.	С t	С р
"X1"	0,013837	72,27040	0,986163	5,15473	0,833214	0,606353	3,01370	0,039407
"X1"^2	0,015500	64,51605	0,984500	-5,20424	-0,849500	-0,647923	-3,22031	0,032271
"X2"	0,021242	47,07721	0,978758	4,63363	0,859060	0,675329	3,35652	0,028396
"X2"^2	0,034069	29,35261	0,965931	-4,61076	-0,904036	-0,851039	-4,22984	0,013372
"X1"*"X2"	0,037143	26,92265	0,962857	-0,00000	-0,000000	-0,000000	-0,00000	1,000000

Рисунок 12 – Корреляционная матрица

Значимость всех коэффициентов регрессии (кроме эффектов взаимодействия) была подтверждена превышающими критическое значение критериями Стьюдента [4]. Представим регрессионное уравнение в окончательном виде:

$$c = 0,549 + 0,092x_1 + 0,033x_2 - 0,008x_1^2 - 0,002x_2^2 \quad (2)$$

Для определения центра оптимума полученной функции необходимо решить следующую систему уравнений:

$$\frac{d}{dx_1} f(x_1, x_2) = -0.016 * x_1 + 0.092$$

$$\frac{d}{dx_2} f(x_1, x_2) = -0.004 * x_2 + 0.033$$

Запишем полученные выражения в матричной форме

$$M = \begin{pmatrix} 0,016 & 0 \\ 0 & 0,004 \end{pmatrix}$$

$$v = \begin{pmatrix} 0.092 \\ 0.033 \end{pmatrix}$$

Решая, получим

$$z = \text{isolve}(M,v), \quad z = \begin{pmatrix} 6 \\ 10.266 \end{pmatrix}$$

Таким образом координаты оптимума имеют следующие значения:

$$X1 = 6 \text{ км/ч (1,666 м/с); } X2 = 10 \text{ см (100 мм).}$$

Значение функции отклика в центре оптимума составляет 0,995 относительной равномерности высева, что соответствует расстоянию между семенами от 4,85 до 4,89 см (48,5 до 48,9 мм).

Двумерное сечение поверхности отклика отражено на рисунке 13.

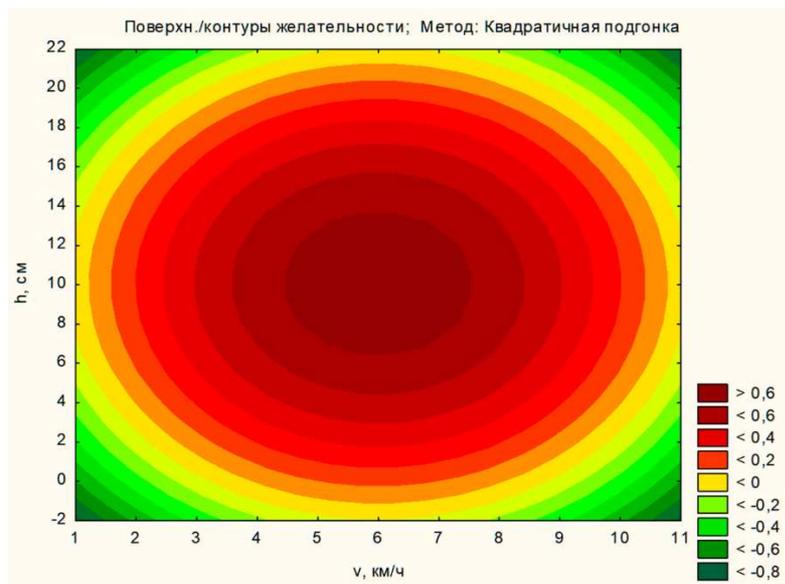


Рисунок 13 – Двумерное сечение поверхности отклика

Поверхность отклика регрессионного уравнения изображена на рисунке 14.

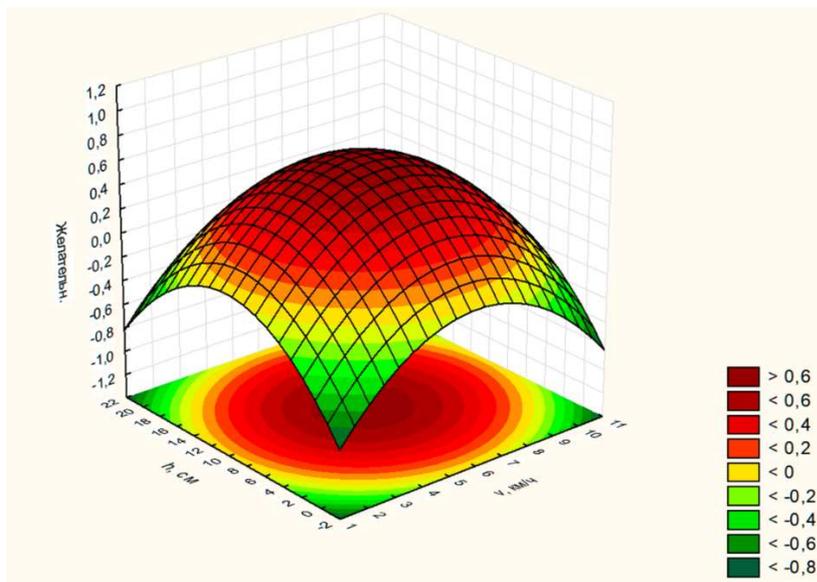


Рисунок 14 – Поверхности отклика регрессионного уравнения

Достоверность полученных значений подтверждается расчетом предсказанных значений функции желательности, результат которых представлен на рисунке 15.

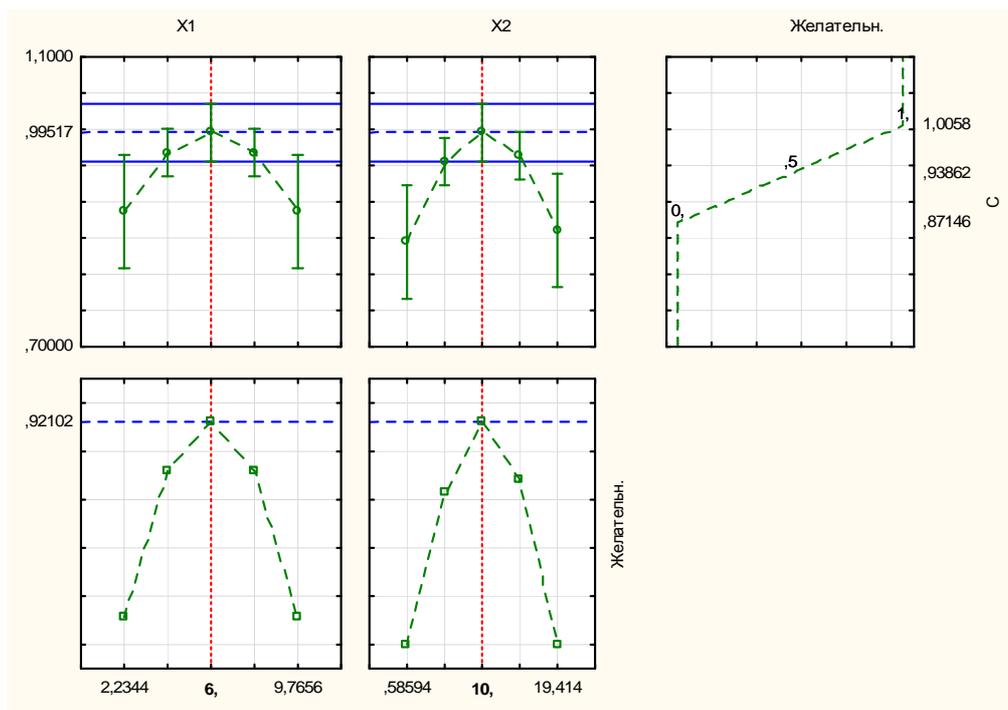


Рисунок 15 – Достоверность полученных значений подтверждается расчетом предсказанных значений функции желательности

Область оптимума критерия по равномерности высева семян определена на основе анализа двумерного сечения. По тем же критериям были выбраны рациональные технологические параметры высевающего агрегата: скорость перемещения  $6 \pm 5\%$  км/ч ( $1,666 \pm 5\%$  м/с); высота расположения высевающего аппарата над семенным ложе  $10 \pm 5\%$  см ( $100 \pm 5\%$  мм) для качественного дискретного распределения семян в борозде. Равномерность распределения семян лука в рядке при этом составит 92 % [5].

Таким образом., на основании результатов проведенного эксперимента выявлена область оптимума критерия равномерности высева семян и обоснованы рациональные режимы работы высевающего агрегата (скорость перемещения 6 км/ч (1,67 м/с); высота падения семян от точки отрыва до семенного ложа 100 мм) для качественного дискретного распределения семян в борозде. Равномерность распределения семян лука в рядке при этом составит 92 %.

## Литература

1. Кухмазов, К.З. Совершенствование технологии и технических средств для производства лука-севка в условиях Среднего Поволжья: дис. ... докт. техн. наук / К.З. Кухмазов. – Пенза, 2000. – 402 с.
2. СТО АИСТ 5.6-2018 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования» – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 26 с.
3. Зубрилина, Е.М. Метод обобщенной оценки при выборе факторов и уровней их варьирования в многофакторном исследовании высевяющих аппаратов [Текст] / Е.М. Зубрилина, И.А. Маркво, А.С. Журавлев, В.И. Новиков, Е.В. Нерода // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13. – № 4. – С. 65–70.
4. Должиков, В.В. Обоснование конструкции и параметров универсального высевяющего аппарата пропашной сеялки путем проведения многофакторного эксперимента [Текст] / В.В. Должиков, А.Ю. Несмиян // Совершенствование технических средств производства продукции растениеводства: межвузовский сборник научных трудов. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, – 2013. – С. 3–6.
5. Совершенствование способа возделывания овощных культур / В. С. Михайлов, Е. В. Козлова, А. А. Заболотная, Е. А. Кондобарова // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 25 ноября 2021 года. – Воронеж: Воронежский ГАУ 2021. – С. 231-238.

## References

1. Kuhmazov, K.Z. Sovershenstvovanie tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv dlya proizvodstva luka-sevka v usloviyah Srednego Povolzh'ya: dis. ... dokt. tekhn. nauk / K.Z. Kuhmazov. – Penza, 2000. – 402 s.
2. STO AIST 5.6-2018 «Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Mashiny posevnye i posadochnye. Pokazateli naznacheniya i nadezhnosti. Obshchie trebovaniya» – M.: Izd-vo standartov, 2018. – 26 s.
3. Zubrilina, E.M. Metod obobshchennoj ocenki pri vybore faktorov i urovnej ih var'irovaniya v mnogofaktornom issledovanii vysevayushchih apparatov [Tekst] / E.M. Zubrilina, I.A. Markvo, A.S. Zhuravlev, V.I. Novikov, E.V. Neroda // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. – 2019. – T. 13. – № 4. – S. 65–70.
4. Dolzhikov, V.V. Obosnovanie konstrukcii i parametrov universal'nogo vysevayushchego apparata propashnoj seyalki putem provedeniya mnogofaktornogo eksperimenta [Tekst] / V.V. Dolzhikov, A.Yu. Nesmiyan // Sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv proizvodstva produkii rastenievodstva: mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov. – Zernograd: FGBOU VPO AChGAA, – 2013. – S. 3–6.
5. Sovershenstvovanie sposoba vozdelevaniya ovoshchnyh kul'tur / V. S. Mihajlov, E. V. Kozlova, A. A. Zabolotnaya, E. A. Kondobarova // Nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ih resheniya: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Voronezh, 25 noyabrya 2021 goda. – Voronezh: Voronezhskij GAU 2021. – S. 231-238.