



УДК 631.331

А.И. Клишин

ОПТИМИЗАЦИЯ ВИБРАЦИОННОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Ключевые слова: эксперимент, оптимизация, вибрационный высевающий аппарат, метод, неравномерность планирования, уравнение.

Введение

От качества работы высевающего аппарата сеялки или посевного комплекса зависит равномерность распределения семян по поверхности поля и, следовательно, урожайность. Для посева зерновых, зернобобовых и других культур используются разные по конструкции высевающие аппараты. Однако анализ работы и научных исследований показывает, что практически все они требуют усовершенствования. Так, у наиболее распространенного катушечного высевающего аппарата неравномерность дозирования, оцениваемая коэффициентом неравномерности общего посева (всеми секциями), в среднем превышает 10% при допустимом уровне 2,8% (ГОСТ 26711-89), то есть больше его как минимум в 2,5 раза [6-8]. По мнению многих исследователей, перспективным является использование вибрации, при которой масса семян «приобретает» свойства жидкости и поэтому свободно и равномерно истекает через выходное окно из семенного ящика в семяпровод [1, 2]. Такие высевающие аппараты обеспечивают большую равномерность дозирования, устойчивость к внешним воздействиям и забиванию.

Целью работы является выявление повышения качества дозирования семян высевающими аппаратами сеялок и посевных комплексов за счет использования вибрации.

Объект и методы исследования

Объект исследования – процесс истечения семян из вибрационного высевающего аппарата.

При проведении экспериментальных исследований использованы методы теории планирования эксперимента [3].

Основные результаты исследований

Испытывался макет одного из вариантов вибрационного высевающего аппарата, разработанного на кафедре «Тракторы и автомобили» Алтайского госагроуниверситета д.т.н. профессором В.С. Красовских при участии автора статьи. Схема макета представлена на рисунке 1. Высевающий аппарат состоит из цилиндрического корпуса 1, торцевые крышки которого прикреплены к трубчатому валу 2, опирающемуся на подшипники. Оси корпуса и вала совпадают. Внутри корпуса в радиальном направлении жестко закреплены два лотка 5. Для прохождения зерна в корпусе выполнены входное окно 3 и два выходных окна 4 с регулируемым заслонками 6 проходным сечением для схода зерна с лотков в воронку семяпровода 7 и далее в семяпровод. Возмущающее усилие от эксцентрика 8 передается на шатун 6 (рис. 2), который жестко закреплен на валу 2 (рис. 1). Корпус 1 с лотками 5 и заслонками 6 совершает вращательные колебательные движения как одно целое. Таким образом, поток семян из входного окна 4 в корпусе 1 разделяется на два псевдооживленных лотками 5 потока. После выхода из корпуса через окна 4 потоки снова объединяются в один. В результате равномерность дозирования повышается за счет того, что лотки работают в противофазе, а также потому, что при наклоне аппарата в плоскости качания корпуса угол установки одного лотка увеличивается, а другого – уменьшается на одну и ту же величину.

Для оценки равномерности дозирования использовалась лабораторная установка, состоящая из размещенных в од-

ном корпусе 3 шести одинаковых секций высевающего аппарата (рис. 2). Семена из каждой секции по семяпроводам 12 направляются в пробоотборник 13, который может работать в режиме настройки и в режиме отбора проб в индивидуальные для каждой секции ёмкости. Включение и выключение режима отбора проб производится одновременно для всех секций перемещением заслонки. Опыты проводились по следующей методике. После непродолжительной работы установки (1-2 мин.) для выхода на стационарный режим на одну минуту включается режим отбора проб. Время отбора проб измерялось секундомером. Одна проба – это масса семян, прошедших через секцию высевающего аппарата 2. Пробы взвешивались с погрешностью, не превышающей 1%.

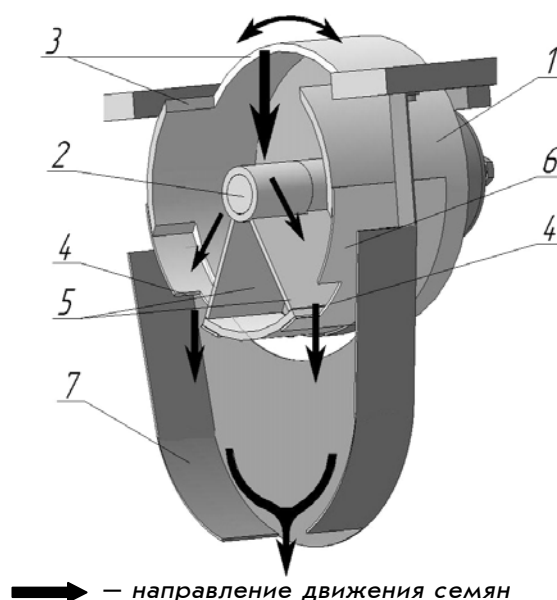


Рис. 1. Схема макетного образца вибрационного высевающего аппарата:
1 – корпус; 2 – вал; 3 – входное окно;
4 – выходное окно; 5 – лоток;
6 – заслонка; 7 – воронка семяпровода



Рис. 2. Лабораторная установка для исследования вибрационного высевающего аппарата:
а) главный вид; б) вид слева; в) вид справа:
1 – рама, 2 – семенной ящик, 3 – вибрационный высевающий аппарат,
4 – направляющая плотформа, 5 – подвижная плотформа, 6 – шатун, 7 – электродвигатель,
8 – корпус подшипников эксцентрикового вала, 9 – корпус подшипников технического вала,
10 – корпус подшипников основного вала, 11 – воронка семяпровода, 12 – семяпровод,
13 – пробоотборник, 14 – блок питания

Для количественной оценки равномерности дозирования использована относительная величина среднеквадратического отклонения расхода семян, то есть коэффициент вариации расхода – «неравномерности дозирования». Под расходом здесь понимается количество (масса, вес, число) семян, проходящих через высевочный аппарат в единицу времени. Для каждого из режимов работы высевочного аппарата определяли коэффициент неравномерности высева отдельной секцией v , %, и коэффициент неустойчивости высева всеми секциями высевочного аппарата $v_{пр}$, %. В.П. Горячкин рекомендовал называть v -коэффициентом поперечной неравномерности высева и $v_{пр}$ – коэффициентом продольной неравномерности высева, то есть v и $v_{пр}$ являются характеристиками качества работы высевочного аппарата [4].

Исследовалось влияние на равномерность дозирования конструктивных параметров – угла установки лотка к горизонту, площади выходного окна, а также режимов – частоты и амплитуды колебаний лотка, высоты столба семян в ящике и условий работы – наклона высевочного аппарата в плоскости качания его корпуса. Экспериментальные данные обработаны с использованием программ «Excel» и «Statistica v6.0» персонального компьютера.

Значимость факторов установлена в ходе отсеивающего эксперимента с использованием линейного плана. Факторы, их уровни и значения коэффициентов уравнения регрессии приведены в таблице 1.

При 5%-ном уровне значимости доверительный интервал Δb_i для коэффициен-

тов линейной модели отсеивающего эксперимента равен 2,86 и 1,82. Беря во внимание неравенство $|b_i| \geq \Delta b_i$, выявляем значимые факторы [3]. Отсеивающий эксперимент позволил выявить три наиболее значимых фактора частота (X_1) и амплитуда (X_2) колебаний корпуса, площадь (X_4) выходного окна.

Значимость этих факторов объясняется следующим. От частоты и амплитуды вибрации зависит динамическое состояние семян как сыпучего материала. Для равномерного истечения материала из ёмкости целесообразно использовать ламинарный режим, что подтверждается и другими исследователями [5].

Площадь выходного окна влияет на производительность аппарата (расход зерна) и связана обратной зависимостью с неравномерностью дозирования.

Для выявления экстремума целевой функции – неравномерности дозирования – использовано её описание уравнением регрессии второго порядка, полученным с помощью центрального композиционного плана. Уровни факторов приведены в таблице 2 [3].

Проверка однородности дисперсий в параллельных опытах по критерию Кохрена $G_{он} < G_{табл} = 0,0832$ получили

$G_{он(v)} = 0,0791$ и $G_{он(v_{пр})} = 0,0799$, адекватность модели с 95%-ной доверительной вероятностью определена по критерию Фишера, $F^{расч} < F^{табл} = 6,0$ получили

$F_v^{расч} = 1,6$ и $F_{v_{пр}}^{расч} = 1,8$ [3].

Таблица 1

Факторы, их уровни и значения коэффициентов уравнения регрессии

Факторы		Значения		Ед. измерения	Коэффициенты уравнения	
Обозначение	Наименование	кодированные				
		1	-1			
		физические			v	v _{пр}
X ₁	Частота колебаний	104,7	62,8	рад/с	-6,01	-6,53
X ₂	Амплитуда колебаний	4	1,5	мм	-4,82	-5,99
X ₃	Наклон лотка	60	35	град.	0,57	0,33
X ₄	Площадь выходного окна	225	100	мм ²	-4,82	-5,96
X ₅	Наклон агрегата	10	0	град.	0,54	0,34
X ₆	Высота столба семян	0,6	0,2	м	0,60	0,44
X ₇	Фиктивный фактор				0,67	0,29

Уровни факторов

Обозначение	Наименование фактора	Значения					Ед. изм.
		-1,682	-1	0	1	1,682	
X ₁	Частота колебаний	94,2	98,4	104,7	111,0	115,2	рад/с
X ₂	Амплитуда колебаний	1,3	1,8	2,5	3,2	3,7	мм
X ₃	Площадь выходного окна	64	77	100	125	144	мм ²

Все коэффициенты уравнения регрессии значимы. Уравнение выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 v = & 40,864 - 0,538\omega - 7,174A - 0,049S + \\
 & + 0,038\omega A - 0,166 \cdot 10^{-4} \omega S - 0,375 \cdot 10^{-2} AS + \\
 & + 0,214 \cdot 10^{-2} \omega^2 + 0,723A^2 + 0,248 \cdot 10^{-3} S^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 v_{np} = & 56,284 - 0,864\omega - 5,348A - 0,052S + \\
 & + 0,022\omega A + 0,304 \cdot 10^{-3} \omega S + 0,419 \cdot 10^{-2} AS + \\
 & + 0,371 \cdot 10^{-2} \omega^2 + 0,520A^2 + 0,251 \cdot 10^{-4} S^2
 \end{aligned} \tag{2}$$

Для поиска экстремума функции (1) и (2) использовался общепринятый метод поиска решения, вложенный в надстройку программы *Microsoft Excel*, в которой реализован алгоритм нелинейной оптимизации симплексного метода и метода «branch-and-bound», аналогичный «диссо-

циативно-шаговому» методу, заключающемуся в расчете коэффициентов любого уравнения с *k*-факторами путем приведения к модели с одним-двумя факторами при стабилизации остальных на оптимальных уровнях зоны эксперимента.

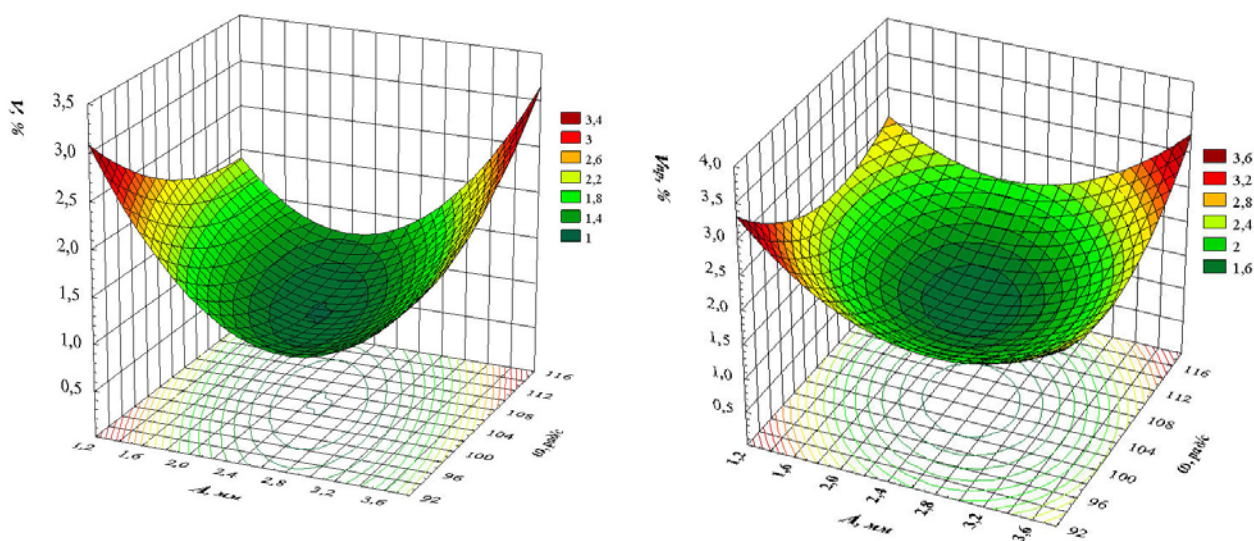


Рис. 3. Зависимость коэффициентов поперечной и продольной неравномерности высева от частоты и амплитуды колебаний корпуса

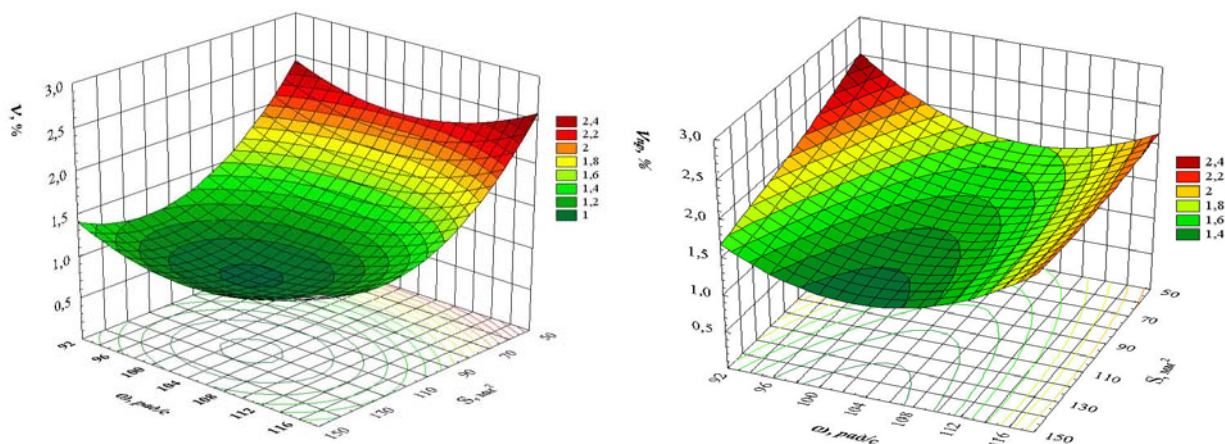


Рис. 4. Зависимость коэффициентов поперечной и продольной неравномерности высева от частоты колебаний корпуса и площадь выходного окна

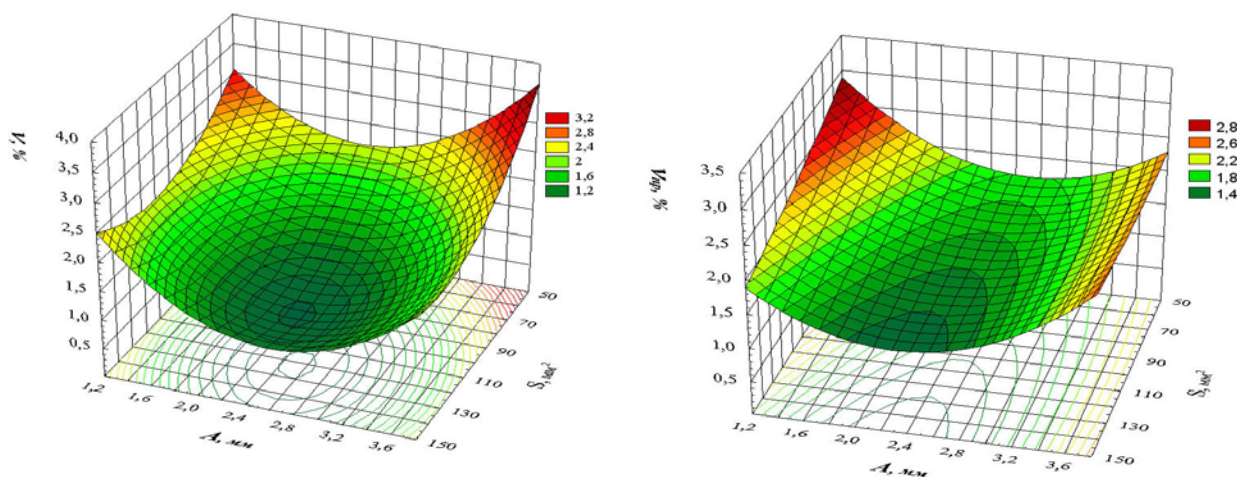


Рис. 5. Зависимость коэффициентов поперечной и продольной неравномерности высева от амплитуды колебаний корпуса и площадь выходного окна

В результате получено следующее: частота колебаний $\omega = 104,7 \text{ с}^{-1}$, амплитуда колебаний $A = 2,5 \text{ мм}$, площадь выходного окна $S = 100-123 \text{ мм}^2$, минимальное значение неравномерности дозирования $v = 1,0 \%$ и $v_{пр} = 1,3 \%$. Для более полного анализа экспериментальных данных на рисунках 3, 4 и 5 представлены трехмерные поверхности отклика. Представленные графики дают наглядную картину многообразия параметров, входящих в регулирование неравномерности высева. Существенное влияние на процесс высева в равной степени оказывают все три фактора, о чем свидетельствуют модули коэффициентов при каждом из них. Наибольшее влияние на неравномерность высева как продольную $v_{пр}$, так и попереч-

ную v оказывает фактор $X_2 (A)$, а наименьшее – $X_3 (S)$, на что указывают коэффициенты при этих факторах.

Важно отметить наличие слабой зависимости $v, v_{пр}$ от площади выходного окна, на что указывают малый коэффициент при этом факторе в выражениях (1), (2) и рисунки представленных трехмерных поверхностей отклика (рис. 3-5). В этом случае целесообразно использовать изменения площади выходного окна для установки на различные нормы высева.

Выводы

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность применения вибрационного высевающего аппарата при высева семян пшеницы с неравномерностью дозирования, находящейся в допус-

тимых агротехнических пределах $\leq 3\%$. Это решающее преимущество данного аппарата перед катушечным высевальным аппаратом, не обеспечивающим требуемую равномерность дозирования.

Библиографический список

1. Бузенков Г.М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г.М. Бузенков, С.А. Ма. М.: Машиностроение, 1976. 286 с.

2. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. М.: Наука, 1964. 412 с.

3. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. Л.: Колос, 1980. 166 с.

4. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. М.: ГИСЛ, 1955. 760 с.

5. Федоренко И.Я. Вибрационная техника сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий: учебное пособие. Ч. 1. / И.Я. Федоренко, П.И. Леонтьев, В.И. Лобанов. Барнаул: Изд-во АГАУ, 1995. 97 с.

6. Сысолин П.В. Повышение качества посева и универсальности катушечного аппарата сеялок / П.В. Сысолин, А.В. Ликкей, К.Г. Иваница, А.Ф. Шило // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1973. № 12. С. 21-22.

7. Устамец В.Л. Разработка и исследование методов и средств контроля расхода семян с целью повышения эффективности рабочего процесса зерновой сеялки: автореф. дис. канд. техн. наук / В.Л. Устамец. Л.; Пушкин, 1979. 19 с.

8. Гусинцев Ф.Г. Агротехническое исследование внутренне-реберчатого высевального аппарата в сравнении с катушечным: автореф. дис. канд. с.-х. наук / Ф.Г. Гусинцев. Л., 1950. 12 с.

