

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

*A.A. Brichagina, S.N. Ilyin, V.V. Palvinsky*

### DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESS SEED-SOWING DEVICE OF GRAIN DRILL

**Бричагина А.А.** – канд. техн. наук, доц., зав. каф. технического обеспечения АПК Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный. E-mail: abruchagina@yandex.ru

**Ильин С.Н.** – канд. техн. наук, декан инженерного факультета, доц. каф. технического обеспечения АПК Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный. E-mail: mech@igsha.ru

**Пальвинский В.В.** – канд. техн. наук, зам. декана инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный. E-mail: mech@igsha.ru

**Brichagina A.A.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Technical Providing of Agrarian and Industrial Complex, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District., Settlement Molodyozhny. E-mail: abruchagina@yandex.ru

**Ilyin S.N.** – Cand. Techn. Sci., Dean, Engineering Faculty, Assoc. Prof., Chair of Technical Providing of Agrarian and Industrial Complex, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, Settlement Youth. E-mail: mech@igsha.ru

**Palvinsky V.V.** – Cand. Techn. Sci., Deputy Dean, Engineering Faculty, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, Settlement Molodyozhny. E-mail: mech@igsha.ru

Основной задачей при посеве сельскохозяйственных культур является создание для каждого растения оптимальной по величине площади питания. Характер размещения семян по полю определяется следующими показателями работы посевной машины: неустойчивостью общего высева, неравномерностью высева между рядами и неравномерностью размещения семян по длине засеваемой бороздки. Обычно предполагается, что показатели работы высевающих аппаратов не коррелируют друг с другом. Данное предположение не верно, так как практически всегда изменение величины одного качественного показателя ведет к изменению величины другого. Для описания их взаимного влияния предложено использовать структурную форму модели. Структурная форма модели – система, в которой зависимые переменные могут находиться как в левой, так и в правой части уравнений, т. е. одновременно являются эндогенными в одних уравнениях и экзогенными в других. Показана возможность применения структурной формы

модели для определения качественных показателей работы высевающего аппарата на примере зерновой сеялки «Клен-6» на основании экспериментальных данных. Использование структурной формы модели позволит построить модель функционирования конкретного типа высевающего аппарата зерновой сеялки.

**Ключевые слова:** зерновая сеялка, высевающий аппарат, качественные показатели работы высевающего аппарата, модель функционирования, технологический процесс.

The main task in annual sowing of agricultural crops is to create optimal largest supply area for each plant. The nature of the seed placement on the field is determined by the following indicators work of sowing machines. This indicators are general sowing instability, irregularity of sowing seeds along the entire series. Usually we assume that the performance indicators of sowing machines do not correlate with each other. But this assumption is

quite rough, because in practice most of the change in the index entails a change in the value of another parameter. In order to describe the influence of one index to another parameter proposed to use the structural form of the model. The structural form of the model is the system in which the dependent variables can be located in the left and on the right side of equation. Therefore these figures are in some endogenous and exogenous equations in other. There is a possibility of using the structural shape of the model. This is done in order to identify qualitative indicators of sowing machine on the example of a grain drill "Klen-6" on the basis of experimental data. Using this structural form of the model will allow building a model of the functioning of a particular type of seed grain sowing machine.

**Keywords:** grain seeder, seed-sowing device, quality indicators of sowing machines work, model of functioning, technological process.

**Введение.** Основной задачей, стоящей перед посевом сельскохозяйственных культур, является создание для каждого растения оптимальной по величине площади питания. Характер размещения семян определяется следующими показателями работы посевной машины: неустойчивостью общего высева, неравномерностью высева между рядами, неравномерностью размещения семян по длине засеваемой бороздки. Для зерновых рядовых сеялок неустойчивость общего высева должна быть меньше 2,8 %, неравномерность высева между рядами – не более 6 % [1]. Показатель неравномерности размещения семян по длине бороздки не регламентирован, при высева стремятся получить его минимальную величину. Анализ технологического процесса зерновых рядовых сеялок позволяет сделать вывод, что геометрические размеры площади питания каждого растения в посевах в основном определяются режимами работы высевающих аппаратов.

**Цель исследования:** определение математической модели, описывающей зависимость между оценочными показателями работы высевающего аппарата и режимами его работы.

**Задачи исследования:** по результатам системного анализа установить факторы, влияющие на процесс высева семян высевающим аппаратом сеялки; определить влияние факторов

на оценочные показатели высевающего аппарата; определить структурную форму модели технологического процесса высева семян.

**Методика и результаты исследования.** Оценочными показателями функционирования высевающих аппаратов посевных машин для рядового посева являются [2, 7]: расход семенного материала через высевное окно, кг/с; дробление зерна, %; неустойчивость общего высева, %; неравномерность высева между рядами, %; неравномерность размещения семян по длине засеваемой бороздки, %.

Процесс функционирования высевающего аппарата представим в виде «черного ящика». Это позволит перечисленные выше показатели считать выходными переменными:  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5$  соответственно [5]. Входные переменные  $X_1, X_2, \dots, X_n$  устанавливаются в результате проведения теоретических исследований и экспериментальных экспериментов для конкретного типа высевающего аппарата. Вид зависимости математических моделей, связывающих входные и выходные переменные, заранее неизвестен, в общем виде

$$Y_i = f(X_1, X_2, \dots, X_n), i = 1, 2, 3, 4, 5. \quad (1)$$

Если предположить, что модель носит линейный характер, то для определения показателей работы аппарата можно составить систему независимых уравнений:

$$\begin{cases} Y_1 = b_{10} + b_{11}X_1 + b_{12}X_2 + \dots + b_{1n}X_n + \varepsilon_1 \\ Y_2 = b_{20} + b_{21}X_1 + b_{22}X_2 + \dots + b_{2n}X_n + \varepsilon_2 \\ Y_3 = b_{30} + b_{31}X_1 + b_{32}X_2 + \dots + b_{3n}X_n + \varepsilon_3 \\ Y_4 = b_{40} + b_{41}X_1 + b_{42}X_2 + \dots + b_{4n}X_n + \varepsilon_4 \\ Y_5 = b_{50} + b_{51}X_1 + b_{52}X_2 + \dots + b_{5n}X_n + \varepsilon_5 \end{cases} \quad (2)$$

В системе уравнений (2) предполагается, что показатели работы высевающих аппаратов  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5$  не коррелируют друг с другом. Данное предположение некорректно, так как практически всегда изменение величины одного качественного показателя ведет к изменению величины другого. Значения показателей, характеризующих дробление зерна  $Y_2$ , неустойчивость общего высева  $Y_3$  и неравномерность высева  $Y_4$  семян между рядами, можно определить, только обладая сведениями об изменении значения расхода семенного материала через

высевные окна  $Y_1$  за принятое количество измерений. Дробление зерна  $Y_2$ , неустойчивость общего высева  $Y_3$  и неравномерность высева семян  $Y_4$  влияют на характер струи, сформированной высевающим окном, которая в свою очередь определяет характер размещения семян по длине засеваемой бороздки  $Y_5$  и т. д. [2, 4].

Если анализируется модель неустойчивости общего высева семян, то необходимы модели расхода семенного материала через высевное окно и дробления семян. Если рассматривается модель неравномерности высева семян между рядами, необходимы модели расхода семенного материала через высевное окно, дробления и неустойчивости общего высева семян. Таким образом, можно сказать, что в рассматриваемом случае отдельно взятое уравнение системы не характеризует в полной мере техпроцесс высевающего аппарата.

Выражение (2) с учетом сказанного можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} Y_1 = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \\ Y_2 = f(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_3, Y_4) \\ Y_3 = f(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, Y_4) \\ Y_4 = f(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, Y_3) \\ Y_5 = f(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4) \end{cases} \quad (3)$$

Для описания взаимосвязанных уравнений при изучении сложных технологических процессов наряду с другими применяются структурные формы моделей [6, 9]. Структурная форма модели (система совместных уравнений) – система, в которой зависимые переменные могут находиться как в левой, так и в правой части уравнений, т. е. одновременно являются эндогенными в одних уравнениях и экзогенными в других. Для описания техпроцесса высевающего аппарата в общем виде система совместных уравнений выглядит так:

$$\begin{cases} Y_1 = b_{10} + b_{11}X_1 + b_{12}X_2 + \dots + b_{1n}X_n + \varepsilon_1 \\ Y_2 = b_{20} + b_{21}X_1 + b_{22}X_2 + \dots + b_{2n}X_n + a_{21}Y_1 + a_{23}Y_3 + a_{24}Y_4 + \varepsilon_2 \\ Y_3 = b_{30} + b_{31}X_1 + b_{32}X_2 + \dots + b_{3n}X_n + a_{31}Y_1 + a_{32}Y_2 + a_{34}Y_4 + \varepsilon_3 \\ Y_4 = b_{40} + b_{41}X_1 + b_{42}X_2 + \dots + b_{4n}X_n + a_{41}Y_1 + a_{42}Y_2 + a_{43}Y_3 + \varepsilon_4 \\ Y_5 = b_{50} + a_{51}Y_1 + a_{52}Y_2 + a_{53}Y_3 + a_{54}Y_4 + \varepsilon_5 \end{cases} \quad (4)$$

Так, в первом уравнении системы средний расход семян  $Y_1$  является эндогенной переменной, а в остальных рассматривается уже как экзогенная переменная.

На размещение семян по длине засеваемой бороздки оказывает влияние большое количество факторов: физико-механические свойства

семян, работа сошников, качество подготовки почвы к посеву и т. д., – поэтому определить зависимость  $Y_5 = f(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$  в виде математической функции не всегда возможно. Получаем следующее:

$$\begin{cases} Y_1 = b_{10} + b_{11}X_1 + b_{12}X_2 + \dots + b_{1n}X_n + \varepsilon_1 \\ Y_2 = b_{20} + b_{21}X_1 + b_{22}X_2 + \dots + b_{2n}X_n + a_{21}Y_1 + a_{23}Y_3 + a_{24}Y_4 + \varepsilon_2 \\ Y_3 = b_{30} + b_{31}X_1 + b_{32}X_2 + \dots + b_{3n}X_n + a_{31}Y_1 + a_{32}Y_2 + a_{34}Y_4 + \varepsilon_3 \\ Y_4 = b_{40} + b_{41}X_1 + b_{42}X_2 + \dots + b_{4n}X_n + a_{41}Y_1 + a_{42}Y_2 + a_{43}Y_3 + \varepsilon_4 \end{cases} \quad (5)$$

Рассмотрим целесообразность применения структурной формы модели для установления качественных показателей функционирования электромеханического высевающего аппарата зерновой сеялки «Клен-6» на основании опыт-

ных данных, полученных в работе А.А. Бричагиной, В.К. Евтеева [3].

Варьируемыми факторами в исследовании являлись:

1.  $X_1 = H$  – высота заполнения семенного ящика зерном, м;

2.  $X_2 = A$  – амплитуда колебаний затвора дозатора, м;

3.  $X_3 = B$  – время открытия затвора дозатора, ед.

В качестве выходных переменных рассматривались:

1.  $Y_1 = Q$  – средний расход семенного материала через высевное окно, кг/с;

2.  $Y_2 = N_2$  – неустойчивость общего высева семян, %.

В результате обработки данных, полученных при экспериментальных исследованиях процесса дозирования семян пшеницы, были составлены регрессионные уравнения:

$$Y_1 = -0,158 + 0,040X_1 + 0,652X_2 + 0,32X_3 + 0,069X_2X_3 + 0,078X_2^2, \quad (6)$$

$$Y_2 = -0,469 - 0,134X_1 - 0,291X_2 - 0,505X_3 + 0,319X_2^2. \quad (7)$$

Исходя из сделанного ранее предположения о том, что входные и выходные переменные свя-

заны друг с другом линейной зависимостью, можем записать систему совместных уравнений:

$$\begin{cases} Y_1 = b_{10} + b_{11}X_1 + b_{12}X_2 + b_{13}X_3 + a_{12}Y_2 \\ Y_2 = b_{20} + b_{21}X_1 + b_{22}X_2 + b_{23}X_3 + a_{21}Y_1 \end{cases} \quad (8)$$

Для решения данной системы преобразуем ее в приведенную форму [9]:

$$\begin{cases} Y_1 = \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 \\ Y_2 = \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 \end{cases} \quad (9)$$

где  $\delta_i$  – коэффициенты приведенной формы модели.

Структурная форма модели включает в себя восемь структурных коэффициентов, приведенная – шесть, следовательно, модель является неидентифицируемой [6, 9]. Чтобы получить единственно правильное решение системы, предполагаем, что некоторая часть структурных коэффициентов системы равна нулю из-за малого влияния входных переменных на выходные. В результате анализа регрессионной модели (6) можно сделать вывод, что влияние высоты заполнения семенного ящика зерном  $X_1$  на зависимую переменную  $Y_1$  незначительно, поэтому допускаем, что в системе уравнений (8)  $b_{11} = 0$ . Значение неустойчивости общего высева можно определить, только зная, как изменяется расход семян за принятое количество измерений, следовательно, коэффициент при  $Y_2$  равен нулю ( $a_{12} = 0$ ). В регрессионной модели (7) максимальное влияние на величину зависимой переменной оказывает время открытия дозатора высевающего аппарата, поэтому предположим, что коэффициенты  $b_{21} = 0$  и  $b_{22} = 0$ .

Тогда система совместных уравнений примет следующий вид:

$$\begin{cases} Y_1 = b_{10} + b_{12}X_2 + b_{13}X_3 \\ Y_2 = b_{20} + b_{23}X_3 + a_{21}Y_1 \end{cases} \quad (10)$$

Так как модель становится точно идентифицируемой, для определения величины структурных коэффициентов воспользуемся косвенным методом наименьших квадратов [9]. После выявления структурных коэффициентов и свободных членов уравнений получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} Y_1 = -0,105 + 0,652X_2 + 0,320X_3 \\ Y_2 = -0,209 - 0,367X_3 - 0,431Y_1 \end{cases} \quad (11)$$

Коэффициенты детерминации  $R^2$  составляют 0,984 и 0,720 для первого и второго уравнений соответственно. В результате проверки адекватности моделей с использованием критерия Фишера модели признаны адекватными. Значимость каждого коэффициента оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента. Уровень значимости всех критериев – 0,95. Аналогичным образом были получены системы совместных уравнений при исследованиях техпроцесса высева овса и ячменя.

### Выводы

1. По результатам системного анализа установлены факторы, влияющие на процесс высева семян высевающим аппаратом сеялки.

2. Установлено влияние основных факторов на оценочные показатели работы высевающего аппарата.

3. Определена структурная форма модели технологического процесса высева семян.

### Литература

1. ГОСТ 2671–89. Сеялки тракторные. Общие технические требования. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 7 с.
2. ГОСТ 31345–2007. Сеялки тракторные. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2008. – 57 с.
3. Брчагина А.А., Евтеев В.К. Распределение семян зерновых культур высевающим аппаратом с микропроцессорным управлением // Вестн. КрасГАУ. – 2008. – № 4. – С. 241–244.
4. Вишняков А.С., Козлов В.А., Вишняков А.А. Моделирование рациональных режимов работы комбинированного вибрационного высевающего аппарата сеялки // Вестн. КрасГАУ. – 2011. – № 6. – С. 148–151.
5. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1981. – 520 с.
6. Дугерти К. Введение в эконометрику. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 402 с.
7. Оценка качества работы высевающего аппарата / П.В. Сысолин, В.М. Хроликов [и др.] // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. – 1991. – № 21. – С. 70–73.
8. Раднаев Д.Н. Система моделей для оценки посевных машин // Аграрная наука. – 2009. – № 10. – С. 31–32.
9. Эконометрика / И.И. Елизеева [и др.]. – М.: Юрайт, 2012. – 453 с.

### Literatura

10. GOST 2671–89. Sejaliki traktornye. Obshhie tehicheskie trebovanija. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1990. – 7 s.
11. GOST 31345–2007. Sejaliki traktornye. Metody ispytaniy. – M.: Standartinform, 2008. – 57 s.
12. Brichagina A.A., Evteev V.K. Raspredelenie semjan zernovykh kul'tur vysevajushhim apparatom s mikroprocessornym upravleniem // Vestn. KrasGAU. – 2008. – № 4. – S. 241–244.
13. Vishnjakov A.S., Kozlov V.A., Vishnjakov A.A. Modelirovanie racional'nykh rezhimov raboty kombinirovannogo vibracionnogo vysevajushhego apparata sejaliki // Vestn. KrasGAU. – 2011. – № 6. – S. 148–151.
14. Dzhonson N., Lion F. Statistika i planirovanie jeksperimenta v tehnike i nauke: metody planirovanija jeksperimenta. – M.: Mir, 1981. – 520 s.
15. Dougerti K. Vvedenie v jekonometniku. – M.: INFRA-M, 1999. – 402 s.
16. Ocenka kachestva raboty vysevajushhego apparata / P.V. Sysolin, V.M. Hrolikov [i dr.] // Konstruirovanie i tehnologija proizvodstva sel'skhozajstvennykh mashin. – 1991. – № 21. – S. 70–73.
17. Radnaev D.N. Sistema modelej dlja ocenki posevnykh mashin // Agramaja nauka. – 2009. – № 10. – S. 31–32.
18. Jekonometrika / I.I. Eliseeva [i dr.]. – M.: Jurajt, 2012. – 453 s.

