



УДК 631.348

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОСЕВА ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР

Мельник В.И., д.т.н.,

Аль-Фтиххат Моусаб Абдулвахид Моххамед, аспирант*,

Никитенко С.А., студент

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенка

Тел (057) 732-98-21

Аннотация – Предлагается методика оценки двумерного распределения растений вдоль и поперек рядка пропашных культур. Для оценки этой методики используется авторская математическая модель посева, адекватность которой проверяется на физической модели.

Ключевые слова – посев, рядок, отклонение, распределение, лента посева, скользящее среднее, моделирование.

Постановка проблемы. Необходимость в оценке параметров распределения семян вдоль и поперек оси рядка, а также их глубины заделки, возникает всякий раз, когда совершенствуется техника и технология посева, или когда следующие за посевом операции могут внести изменения в расположение ранее высеянных семян.

Анализ последних исследований. Отраслевым стандартом на испытания посевных машин [1] предусмотрено определение ряда показателей качества рядков посевов: 1) равномерность распределения семян вдоль оси рядка; 2) глубина заделки семян; 3) ширина ленты посева семян.

Первые два показателя в стандарте [1] детально освещены и были приняты без изменений. Что касается ширины ленты посева, то стандартом [1] не предусмотрена проверка этого показателя для кукурузы, подсолнечника и некоторых пропашных культур. В отношении свеклы в нем оговорено следующее: «ширину ленты посева определяют по каждому сошнику измерением расстояния между крайними растениями по ширине полосы. Повторность по каждому следу сошника четырехкратная. Качество измерений по каждой повторности не менее десяти» [1].

* Научный руководитель – В.И. Мельник

© В.И. Мельник, Аль-Фтиххат Моусаб Абдулвахид Моххамед, С.А. Никитенко

Из приведенной цитаты видно, что стандарт [1] допускает значительный субъективизм в оценке данного показателя. Для измерения расстояния между крайними растениями необходимо сначала правильно выбрать направление рядка, что полностью зависит от исследователя, выполняющего измерения, и ничем не оговорено. Кроме этого стандарт не поясняет понятие «крайние растения». Крайними можно считать каждую пару соседних растений, или, например, каждое первое и третье, или четвертое растение. Можно выбрать крайние растения на какой-то длине рядка, например 0,5 м и т.д..

Предлагаемая методика оценки распределения растений вдоль и поперек оси рядка. Исходя из приведенного выше, потребовалось уточнение и доработка упомянутой методики [2 – 4]. Изложим ее основные положения.

1) Параметры распределения семян по ширине ленты посева определяют косвенно по взошедшим растениям, и невзошедшие семена в расчет не принимают.

2) Длина учетного участка должна быть равной 10 м.

3) Учетный участок располагают на середине двухсотметрового контрольного участка.

4) Измерения проводят на прямом и обратном проходах агрегата по всем шести сошникам сеялки.

5) Повторность измерений четырехкратная.

6) Количество измерений с учетом прямого и обратного прохода агрегата должна быть не менее 300.

7) В процессе измерений отклонений растений от оси рядка сначала вдоль каждого учетного участка рядка натягивают струну, располагая ее сбоку рядка так, чтобы она не пересекала последнего, а расстояние между струной и двумя крайними растениями учетного участка были равными.

8) Выборку, в которой размах значений отклонений растений от струны превышает 150 мм, в расчет не принимают и выбирают новый двухсотметровый контрольный участок

9) После закрепления струны, начиная с первого растения учетного участка, по порядку, масштабной линейкой измеряют не только удаление каждого растения от струны, а и интервалы между соседними растениями. В качестве последних следует понимать расстояние между нормальными, опущенными на струну с точек произрастания растений.

10) Интервалы между соседними растениями следует измерять даже в том случае, если в конечном итоге интересует только распределение отклонений растений от оси рядка.

11) Все измерения интервалов между растениями, относящиеся к прямому и обратному проходу каждого из сошников сеялки объединяют в одну выборку.

12) Математическую обработку совокупности отклонений растений относительно оси рядка следует проводить после определения оценок среднего арифметического интервала между растениями \bar{a} , и среднеквадратического отклонения σ_a этих интервалов [5].

13) Отклонение текущего растения относительно оси рядка следует выполнять методом скользящего среднего [3, 4, 6] по пяти растениям, используя формулу

$$r_i = y_i - \frac{y_{i-2} + y_{i-1} + y_i + y_{i+1} + y_{i+2}}{5}, \quad (1)$$

где: r_i — отклонение текущего (i -того) растения от оси рядка; $i = 1, 2, 3, \dots, n-2$ — диапазон изменения индекса; n — количество растений в выборке, относящейся к одному рядку 10-метрового прямого или обратного прохода; y_i — измеренное значение отклонения i -того растения относительно струны.

14) Полученные в процессе выполнения предыдущего пункта отклонения растений относительно оси рядка r_i , относящиеся ко всем сошникам прямого и обратного прохода сеялки, объединяют в одну выборку, которую подвергают статистической обработке согласно стандарту [5].

15) После выполнения математических расчетов по определению оценки σ_r среднего квадратического отклонения растений относительно оси рядка, следует определить σ_r^* — несмещенную оценку искомого параметра. Для этого необходимо использовать предварительно найденное значение среднего арифметического интервала \bar{a} , и среднеквадратического отклонения σ_a интервалов между растениями, а также формулы:

$$\sigma_r^* = A_\sigma (\sigma_r)^{B_\sigma} + C_\sigma \exp\left(\frac{D_\sigma}{\sigma_r}\right) \quad (2)$$

$$A_\sigma = A_{1\sigma} (\sigma_a)^{\left(B_{1\sigma} + \frac{C_{1\sigma}}{\ln \bar{a}}\right)} + \frac{D_{1\sigma}}{\bar{a}} \quad (3)$$

$$B_\sigma = A_{2\sigma} (\sigma_a)^{\left(B_{2\sigma} + \frac{C_{2\sigma}}{\bar{a}}\right)} + \frac{D_{2\sigma}}{\bar{a}} \quad (4)$$

$$C_\sigma = \frac{\sigma_a}{A_{3\sigma} + B_{3\sigma} \bar{a} + C_{3\sigma} \sqrt{\bar{a}}} \quad (5)$$

$$D_\sigma = \frac{A_{4\sigma}}{\bar{a}} + B_{4\sigma} \exp(C_{4\sigma} \sigma_a) + \frac{D_{4\sigma}}{\bar{a}^2} \quad (6)$$

где коэффициенты $A_{i\sigma}$, $B_{i\sigma}$, $C_{i\sigma}$, $D_{i\sigma}$ ($i = 1, 2, 3, 4$) приведены в таблице 1.

16) В процессе математической обработки выборок разных повторностей производят проверку выборок на принадлежность одной генеральной совокупности, используя ранговый критерий Вилькоксона [7].

Подробное обоснование каждого из пунктов изложенной выше методики приведено в работах [3, 4]. Тут скажем только, что для получения значений коэффициентов из таблицы 1, использовали метод имитационного моделирования реальных процессов на ЭВМ (метод Монте-Карло [8]). Для чего были разработаны математические модели как посева пропашных культур, так и процесса применения предлагаемой методики оценки распределения отклонений растений вдоль и поперек оси рядка.

Таблица 1 –
Значения коэффициентов из выражений (3) – (6)

| Обозначения | Значение i — первого индекса в обозначениях коэффициентов | | | |
|---------------|---|---------------|-----------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $A_{i\sigma}$ | 2,24564854 | 0,74538452 | - 5305,88623270 | - 4461,20112720 |
| $B_{i\sigma}$ | - 0,49916749 | 0,07369380 | - 25,68941305 | 13,58605064 |
| $C_{i\sigma}$ | 2,63114642 | - 14,78296193 | 669,79817216 | 0,00087707 |
| $D_{i\sigma}$ | - 206,48421061 | 50,53228544 | — | 392263,96006000 |

Целью настоящих исследований является проверка адекватности предлагаемой методики оценки распределения растений вдоль и поперек оси рядка пропашных культур.

Основная часть. Результаты исследований. Трудности проверки адекватности предлагаемой методики состоят в том, что фактические параметры распределения растений вдоль и поперек оси рядка реального посева неизвестны, и всегда останутся таковыми, даже если прибегнуть к высокоточным дорогостоящим и небезопасным для здоровья изотопным методам исследований [3, 4]. Применяв предлагаемую методику можно получить только оценки этих параметров, а значит, нет возможности оценить, насколько полученные оценки отличаются от фактических.

Но ситуация все же не тупиковая. Если предлагаемую методику применить к физической модели посева, для которой все требуемые параметры изначально известны, то полученные в результате оценки будут с чем сравнивать.

Для реализации обозначенной идеи была разработана физическая модель посева, или, точнее 10-ти метрового участка рядка одной из пропашных культур, например, кукурузы (рис. 1). Эта модель включает в себя уложенный на пол 10-ти метровый отрезок миллиметровой бумаги 1, на которой нанесена линия оси рядка

параметры кривизны которого известны и находятся в пределах реальных значений [3, 4]. Вдоль этой линии на бумагу 1 на ребро уложено металлическое полотно 2 рулетки. Фиксируется оно с помощью множества расположенных по обе стороны воткнутых в пол булавок. Длина полотна рулетки заведомо больше чем 10 м бумаги. Вдоль полотна рулетки в точках расположения растений закреплены m -образные металлические планки 3, на каждой из которых точкой показано положение растения с учетом заданного отклонения его положения относительно оси рядка. Планки 3 пронумерованы, на них обозначена положительная и отрицательная сторона и кроме того их можно перемещать вдоль полотна рулетки, добиваясь точного положения в соответствии с заданными значениями. Нанесенные на планки 3 точки растений, относящиеся к разным опытам, отличаются цветом. Кроме того, предполагается использование нескольких комплектов планок, которых для имитации 10 м рядка посева кукурузы необходимо не меньше 70 шт. Струна 4 располагается в соответствии с пунктом № 7 методики.

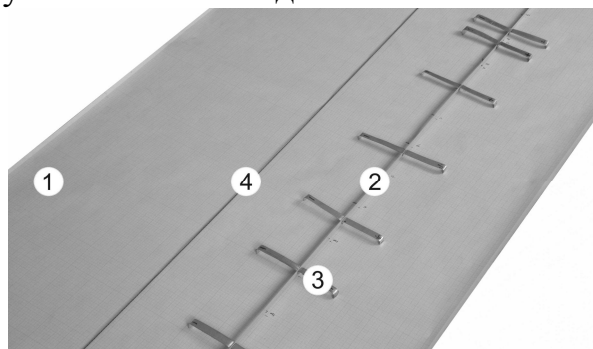


Рис. 1. Физическое моделирование посева и применение предлагаемой методики по оценке распределения растений вдоль и поперек оси рядка: 1 – миллиметровая бумага; 2 – полотно рулетки; 3 – металлические планки; 4 – струна.

На рис. 2 показана схема крепления m -образных планок 1 к полотну рулетки 2. Позиция 3 указывает на метку одного из растений с отклонением его положения от оси рядка (полотна рулетки) на величину r_i^0 . После установки планки на полотно ее обжимали плоскогубцами так, чтобы она могла перемещаться вдоль полотна рулетки с некоторым усилием.

Цифровые данные, необходимые для сборки физической модели 10-ти метрового участка рядка посева кукурузы, получали путем использования математической модели посева, изложенной в работах [3, 4]. Таким образом, фактические значения среднего арифметического интервала \bar{a}^0 , и среднеквадратического отклонения σ_a^0 интервалов

между растениями (планками), а также фактическое значение σ_r^0 среднего квадратического отклонения растений относительно оси рядка (точек на планках относительно полотна рулетки) было известно изначально.

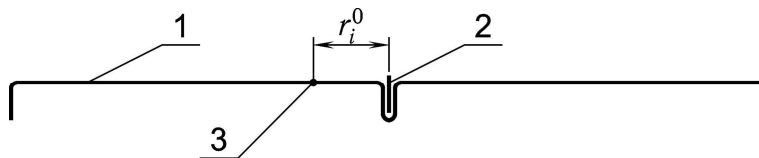


Рис. 2. Схема крепления m-образной планки к полотну рулетки: 1 – m-образная планка; 2 – полотно рулетки; 3 – метка, обозначающая растение; r_i^0 – отклонение текущей метки от полотна рулетки

Далее, без всяких исключений, реализовывали все 16 пунктов предлагаемой методики и сначала получали необходимые для использования формул (3) – (6) экспериментальные значения среднего арифметического интервала \bar{a} , и среднеквадратического отклонения σ_a интервалов между растениями (планками), а затем смещенную σ_r и несмещенную σ_r^* оценки среднего квадратического отклонения растений (точек на планках) относительно оси рядка (рулетки). Результаты занесли в таблице 2.

Первые три строки таблицы 2 содержат параметры фактических распределений, полученных путем применения разработанных математических моделей посева [3, 4] и примененных для реализации 7-ми опытов физического моделирования по проверке точности предлагаемой методики. Первая строка, это \bar{a}^0 — средние арифметические значения совокупности интервалов между растениями. Вторая: σ_a^0 — среднеквадратические отклонения интервалов между растениями. Третья: σ_r^0 — фактические значения среднеквадратических отклонений растений относительно кривой рядка, которые измерялись путем математического моделирования по нормали к оси рядка. Для последующего сравнения, все эти три параметра приняты за 100%.

Четвертая строка таблицы содержит σ_r^m смещенные оценки среднеквадратических отклонений растений относительно оси рядка, полученные на математической модели путем имитации измерений в поле и последующего сглаживания по 5-ти растениям.

Следующая пятая строка содержит $\sigma_r^0 - \sigma_r^m$ отклонение смещенной оценки σ_r^m от фактического значения σ_r^0 выраженное в процентах. Как видим, для 7-ми опытов погрешность укладывается в интервал от 8,19 до 17,75% и в среднем составила 12,02%.

Таблица 2 –

Сравнение показателей распределений растений
вдоль и поперек оси рядка полученных с применением
математической и физической моделей

| Параметры | Единицы измерения | Номер опыта | | | | | | | |
|--|---------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Фактические распределения, полученные на математической модели: | | | | | | | | | |
| А) интервалов между растениями | | | | | | | | | |
| 1 | \bar{a}^0 | мм, (100%) | 227,04 | 171,09 | 293,17 | 229,40 | 228,25 | 225,42 | 234,30 |
| 2 | σ_a^0 | мм, (100%) | 154,48 | 118,87 | 191,15 | 164,43 | 161,74 | 157,71 | 169,14 |
| б) отклонений растений относительно оси рядка | | | | | | | | | |
| 3 | σ_r^0 | мм, (100%) | 4,94 | 5,01 | 5,11 | 4,93 | 5,13 | 3,94 | 6,17 |
| Распределения отклонений растений относительно оси рядка полученные на математической модели путем имитации измерений в поле и последующего сглаживания по 5-ти растениям: | | | | | | | | | |
| 4 | σ_r^m | мм | 4,54 | 4,51 | 4,56 | 4,35 | 4,59 | 3,34 | 5,08 |
| 5 | $\sigma_r^0 - \sigma_r^m$ | % | 8,19 | 9,85 | 10,87 | 11,66 | 10,48 | 15,33 | 17,75 |
| Распределения, полученные на физической модели: | | | | | | | | | |
| А) интервалов между растениями | | | | | | | | | |
| 6 | \bar{a} | мм | 217,03 | 172,93 | 297,20 | 223,12 | 228,26 | 230,97 | 237,50 |
| 7 | $\bar{a}^0 - \bar{a}$ | % | 4,41 | -1,07 | -1,38 | 2,74 | -0,00 | -2,47 | -1,37 |
| 8 | σ_a | мм | 151,33 | 118,30 | 190,38 | 166,80 | 166,88 | 157,87 | 167,77 |
| 9 | $\sigma_a^0 - \sigma_a$ | % | 2,04 | 0,48 | 0,40 | -1,44 | -3,18 | -0,10 | 0,81 |
| б) отклонений растений относительно оси рядка | | | | | | | | | |
| 10 | σ_r | мм | 4,52 | 4,51 | 4,64 | 4,25 | 4,36 | 3,45 | 5,12 |
| 11 | $\sigma_r^0 - \sigma_r$ | % | 8,54 | 10,03 | 9,26 | 13,68 | 14,95 | 12,55 | 16,98 |
| 12 | σ_r^* | мм | 5,03 | 5,07 | 5,03 | 4,65 | 4,78 | 3,65 | 5,73 |
| 13 | $\sigma_r^0 - \sigma_r^*$ | % | -1,86 | -1,19 | 1,57 | 5,70 | 6,76 | 7,45 | 7,18 |

Все последующие строки 6 – 13 таблицы 2 относятся к физическом эксперименту. Строки 6 – 9 содержат данные по оценке интервалов между растениями: \bar{a} и σ_a — среднее арифметическое и среднеквадратическое значение совокупности интервалов между растениями в рядке. Как видно из строк 7, и 9, эти параметры определены с высокой точностью. Так, абсолютная величина погрешности $\bar{a}^0 - \bar{a}$ оценки среднего арифметического значения совокупности интервалов между растениями укладывается в интервал от 0 до 4,41% при средней погрешности в 1,92%, а абсолютная величина погрешности $\sigma_a^0 - \sigma_a$ оценки среднеквадратического значения составила интервал от 0,10 до 2,04% при средней погрешности в 1,21%. Как видим, физический экс-

перимент показал высокую точность оценки параметров распределения интервалов между растениями в рядке.

Строки 10 и 12 таблицы содержат смещенные σ_r и несмещенные σ_r^* оценки среднеквадратического отклонения растений в сторону от оси рядка, а строки 11 и 13 — погрешности $\sigma_r^0 - \sigma_r$ и $\sigma_r^0 - \sigma_r^*$ этих оценок. Из цифрового материала строки 11 видно, что смещенная оценка σ_r содержит погрешность от 8,54 до 16,98% при средней величине 12,28%, а несмещенная оценка σ_r^* определена существенно точнее (строка 13), т.е. с погрешностью от 1,19 до 7,45% и средним значением 4,53% (по абсолютной величине).

Выводы. Предлагаемая методика оценки параметров распределения растений в рядке пропашных культур позволяет получить высокую точность оценок параметров распределения интервалов между растениями и несколько меньшую точность при оценке отклонения растений от оси рядка. Во втором случае основную долю погрешности составляет смещение, которое можно компенсировать, применив приведенные в работе математические выражения и коэффициенты к ним. Если эксперимент предполагает контрольный опыт, а так бывает в подавляющем большинстве случаев, то компенсацию смещения оценок среднеквадратического отклонения растений относительно оси рядка можно не выполнять. Это несколько упростит математическую обработку экспериментальных данных.

Литература

1. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методы испытаний: ОСТ 70.5.1-82. — М.: Госстандарт СССР, 1983. — 148 с. — (Государственный комитет СССР по стандартам).
2. Разработка и исследование технических средств для внутривспашного ленточного предпосевного внесения гербицидов под посев пропашных культур: Отчет о НИР (заключительный) / Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. № ГР 01.86.0032083. Инв. № 6320247. Харьков, 1986. — 22 с.
3. Мельник В. И. Внутривспашное внесение жидкостей в растениеводстве: [монография] / В. И. Мельник. — Харьков: «Міськдрук», 2010. — 439 с.
4. Мельник В. И. Распределение жидкостей под слоем почвы: [монография] / В. И. Мельник. — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. — 441 с.
5. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения (СТ СЭВ 867-78): ГОСТ 11.004-74. — М.: Издательство

- стандартов, 1981. — 20 с. — (Государственный комитет СССР по стандартам).
6. *Поллард Дж.* Справочник по вычислительным методам статистики / *Дж. Поллард*; пер. с англ. В. С. Занадворова; под ред. Е. М. Четыркина. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 344 с.
 7. *Кардашевский С. В.* Испытания сельскохозяйственной техники / [*С. В. Кардашевский, Л. В. Погорельый, Г. М. Фудиман* и др.]. — М.: Машиностроение, 1979. — 288 с.
 8. *Соболь И. М.* Метод Монте-Карло / *И. М. Соболь*. — [4-е изд.] — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. — 80 с. — (Популярные лекции по математике).

ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОСІВУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

*Мельник В.І., Аль-Фтіххат Моусаб Абдулвахід Моххамед,
Нікітенко С.О.*

Анотація – пропонується методика оцінки двовимірного розподілу рослин вздовж і поперек рядка просапних культур. Для оцінки цієї методики використовується авторська математична модель посіву, адекватність якої перевіряється на фізичній моделі.

THE VERIFICATION OF ADEQUACY TO THE WORKED OUT MATHEMATICAL MODEL SOWING OF THE CULTIVATED CULTURES

V. Melnik, Al-Ftihhat Mousab Abdulwahid Mohamed, S. Nikitenko

Summary

The method of evaluation of two-dimensional distribution of plants along and across the row crops. To evaluate this technique the author used the mathematical model of seeding, the adequacy of which is checked on a physical model.