

УДК 633.63:613.3

UDC 633.63:613.3

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

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

ИНВЕРСИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕМЯН В РЯДКЕ

INVERSION AND ITS EFFECT ON THE UNIFORMITY OF SEED DISTRIBUTION IN A ROW

Михайлов Владимир Сергеевич

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 2276-9717

РИНЦ Author ID = 1115621

e-mail: voh_a@mail.ru

Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, кафедра ТСиЭвАПК, Приднестровье, Тирасполь

Mikhailov Vladimir Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 2276-9717

RSCI Author ID = 1115621

e-mail: voh_a@mail.ru

T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Pridnestrovie, Tiraspol

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

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

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

Dimoglo Anatoly Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 8185-2814

RSCI Author ID = 1225213

e-mail: tolikxd@gmail.com

T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Pridnestrovie, Tiraspol

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

Kozlova Elena Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI 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

Ставинский Анатолий Сергеевич

ст. преподаватель

SPIN-код автора 8594-6971

РИНЦ Author ID = 1225076

e-mail: 28_03_91@list.ru

Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, кафедра ТСиЭвАПК, Приднестровье, Тирасполь

Stravinsky Anatoly Sergeevich

senior lecturer

RSCI SPIN-code: 8594-6971

RSCI Author ID = 1225076

e-mail: 28_03_91@list.ru

T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Transnistria, Tiraspol

Равномерность (дискретность) распределения семян в рядке при работе высевающего аппарата сеялки точного высева является одним из основных качественных показателей, который в свою очередь зависит от такого фактора, как

The uniformity (discreteness) of the distribution of seeds in a row during the operation of the seeding machine of the precision seeding drill is one of the main qualitative indicators, which in turn depends on such a factor as the discrepancy in the order of

несоответствие порядка чередования семян. В статье раскрывается сущность и математическое описание данного явления, что даёт возможность влиять на конечную равномерность распределения семян по дну борозды. Определено количество и установлено влияние инверсий на равномерность распределения интервалов между семенами, что обеспечивает необходимую точность полученных результатов и значительно сокращает время на проведение эксперимента

Ключевые слова: ВЫСЕВАЮЩИЙ АППАРАТ, СЕМЕНА, ИНВЕРСИЯ, РАВНОМЕРНОСТЬ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, БОРОЗДА

alternation of seeds. The article reveals the essence and mathematical description of this phenomenon, which makes it possible to influence the final uniformity of seed distribution along the bottom of the furrow. The number of inversions was determined and the effect of inversions on the uniformity of the distribution of intervals between seeds was established, which ensures the necessary accuracy of the results obtained and significantly reduces the time for conducting the experiment

Keywords: SEEDING UNIT, SEEDS, INVERSION, UNIFORMITY, DISTRIBUTION, FURROW

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-205-012>

Равномерность распределения семян в рядке, как основное требование к посеву, зависит от ряда факторов, к числу которых относятся инверсия, т.е. нарушение порядка чередования семян на семенном ложе в рядке борозды, в который они выбрасываются высевальным аппаратом. Изучению этого вопроса посвящено несколько работ [1, 2]. Однако в них приводятся данные, относящиеся к качественной стороне этого явления без раскрытия сущности и строгого математического описания, либо инверсии рассматриваются в совокупности с другими факторами, что лишает возможности судить о степени влияния их на конечную равномерность распределения [3].

Следует также отметить, что существующая методика определения инверсий в распределении семян не обеспечивает необходимую точность полученных результатов. Поэтому ставится задача в составлении математического описания процесса возникновения инверсий, разработке более совершенного метода определения количества их и установлении влияния инверсий на равномерность распределения интервалов между семенами.

Предположим, что семена (рис.1) высеваются по одному через некоторый промежуток времени t_0 . Вследствие неодинаковой скорости витания (парусности) семена достигают дна борозды за различные отрезки

<http://ej.kubagro.ru/2025/01/pdf/12.pdf>

времени. Отсюда становится очевидным, что предыдущее по порядку выброса семя займет положение в рядке впереди последующего, т.е. возникнет инверсия только тогда, когда время падения семени до дна борозды будет больше, чем сумма времени падения последующего семени и времени между выбрасыванием семян (при условии, что не происходит отскакивание семян после удара о дно борозды).

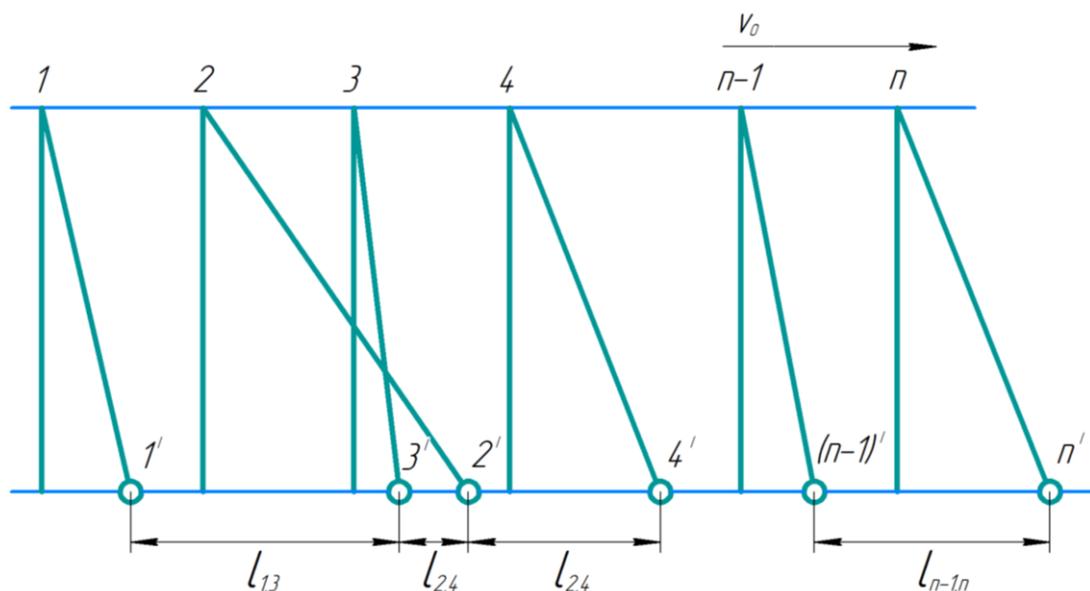


Рис. 1. К определению условий возникновения и количества инверсий в распределении семян

Математически условия возникновения инверсий могут быть представлены неравенством:

$$t_2 > t_3 - t_0 \text{ или } t_2 - t_3 > t_0, \quad (1)$$

где t_2 – время падения предыдущего семени; t_3 – время падения последующего семени.

Учитывая, что изменчивость скорости витания и коэффициента динамического трения семян подчиняется нормальному закону, можно предположить, что время падения их как функция этих показателей будет также подчиняться закону нормального распределения. Исходя из этого, вероятность выполнения условия (1), т.е. возникновения инверсии, можно определить по закону распределения разности независимых случайных

величин $\Delta = t_i - t_{i+1}$ [1]. В соответствии с теоремами о математическом ожидании и дисперсии суммы независимых случайных величин, математическое ожидание величины Δ равно нулю, а дисперсия и квадратическое отклонение соответственно равны

$$D[\Delta] = 2 D[t], \quad \sigma_{\Delta} = \sigma_t \sqrt{2},$$

где $D[t]$ и σ_t - дисперсия и квадратическое отклонение времени падения семян.

Тогда искомая плотность распределения величины Δ будет:

$$f_{\Delta}(x) = \frac{C_1}{G_{\Delta}\sqrt{2\pi}} l^{-\frac{x^2}{2G_{\Delta}^2}} = \frac{C_1}{2G_t\sqrt{\pi}} l^{-\frac{x^2}{4G_t^2}} \quad (2)$$

где

$$C_1 = \frac{1}{\frac{1}{G_{\Delta}\sqrt{2\pi}} \int_{\Delta_{min}}^{\Delta_{max}} l^{-\frac{x^2}{2G_{\Delta}^2}} dx}$$

$$\Delta_{min} = t_{min} - t_{max}; \quad \Delta_{max} = t_{max} - t_{min}. \quad (3)$$

Коэффициент C_1 учитывает изменение плотности распределения величины Δ , вызванное усечением.

Для решения интеграла, стоящего в знаменателе выражения (2), воспользуемся функцией Лапласа и учитывая свойство нечётности данной функции, окончательное выражение для C_1 примет вид:

$$C_1 = \frac{1}{\Phi\left(\frac{t_{max}-t_{min}}{2\sqrt{D[t]}}\right)} \quad (4)$$

Вероятность выполнения условия (1) есть вероятность попадания случайной величины Δ в интервал от t_0 до Δ_{max} и численно равна площади под кривой $f_{\Delta}(x)$ в указанных пределах. Обозначая эту вероятность через P_u и пользуясь снова функцией Лапласа, производя соответствующую замену переменной, и с учетом значения C_1 согласно формуле (4), будем иметь вид:

$$P_u = \frac{\Phi\left(\frac{t_{\max}-t_{\min}}{2\sqrt{D[t]_{yc}}}\right) - \Phi\left(\frac{t_0}{2\sqrt{D[t]_{yc}}}\right)}{2\Phi\left(\frac{t_{\max}-t_{\min}}{2\sqrt{D[t]}}\right)} \quad (5)$$

Эта вероятность может быть использована для количественной оценки инверсий в распределении семян.

Если обозначить через n число высеванных семян, то количество инверсий (K) можно найти по следующему соотношению:

$$K = P_u \cdot n ,$$

или, подставляя значения P_u :

$$K = \frac{n}{2} \frac{\Phi\left(\frac{t_{\max}-t_{\min}}{2\sqrt{D[t]_{yc}}}\right) - \Phi\left(\frac{t_0}{2\sqrt{D[t]_{yc}}}\right)}{\Phi\left(\frac{t_{\max}-t_{\min}}{2\sqrt{D[t]}}\right)} \quad (6)$$

Учитывая имеющееся влияние перемещения семян высеваемой культуры по дну борозды на количество инверсий, введем коэффициент μ , который можно определить как численно равный отношению количества инверсий, полученных в опытных исследованиях при высева семян в борозду и при высева на липкую ленту:

$$\mu = K_b / K_l ,$$

где K_b – количество инверсий при высева семян культуры в борозду; K_l – количество инверсий при высева семян культуры на липкую ленту. Тогда выражение для определения количества инверсий в реальных условиях примет следующий вид:

$$K = \frac{nu}{2} \frac{\Phi\left(\frac{t_{\max}-t_{\min}}{2\sqrt{D[t]_{yc}}}\right) - \left(\frac{t_0}{2\sqrt{D[t]_{yc}}}\right)}{\Phi\left(\frac{t_{\max}-t_{\min}}{2\sqrt{D[t]}}\right)} \quad (7)$$

Коэффициент μ определяется для конкретных условий посева (свойства семян, форма борозды, состояние почвы в борозде и др.) и зависит главным образом от скорости движения посевного агрегата и от высоты падения семян.

Из выражения (7) видно, что количество возможных инверсий, кроме факторов, определяющих коэффициент μ , зависит от промежутка времени между выбрасыванием семян и от степени варьирования времени их падения, обусловленной изменчивостью показателей физико-механических свойств. При этом увеличение промежутка времени t_0 и применение семян, выравненных (разделенных на фракции) по скорости витания и по углу трения движения (при транспортировании семян по наклонному семяпроводу), значительно снижают вероятность появления инверсий, а следовательно, и их количество.

Выше рассматривались условия и вероятность возникновения одинарных инверсий, т.е. когда последующее семя располагалось впереди одного предыдущего. В случае, когда семя будет располагаться впереди двух и более предыдущих семян, условия (1) могут быть выражены следующим неравенством.

Для опережения двух семян: $t_i - t_{i+2} > 2t_0$, для опережения одним семенем K последующих семян: $t_i - t_{i+K} > Kt_0$, где $i = (1, 2, 3, \dots, n)$.

Вероятность выполнения этих условий, так же как и при $K=1$, можно подсчитать по закону распределения разности Δ , при этом с увеличением числа инверсий вероятность появления их резко уменьшается. Поэтому для практических целей будет вполне достаточно определить только одинарные инверсии в предположении, что между двумя инверсированными интервалами имеется, по крайней мере, один неинверсированный.

Количество инверсий в распределении семян обычно принято определять методом окрашивания семян в различный цвет. Однако у этого метода есть существенные недостатки, и прежде всего это большая трудоемкость проведения эксперимента и сравнительно низкая точность полученных результатов. Последний недостаток обусловлен тем, что краска, нанесенная на семена, изменяет их свойства, а следовательно, и

характер движения.

Для устранения этих недостатков был разработан специальный метод, не требующий окрашивания семян. По этому методу семена высеваются с интервалом, заведомо не приводящим к возникновению инверсий. Расстояния (интервалы) между семенами замеряются и сводятся в вариационный ряд с принятым классным промежутком. По данным этого ряда определяется количество инверсий для всех подлежащих изучению потоков семян (исходных интервалов и других факторов). Предположим, что семена высевались с начальным интервалом 50 мм, не приводящим к возникновению инверсий. После замера расстояний (проекций их на продольную ось рядка) и сведения их в классы с промежутком 10 мм был получен вариационный ряд (табл.).

Таблица. Вариационный ряд

Показатель	№ класса						
	1	2	3	4	5	6	7
Граничные значения класса, мм	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Количество интервалов в классе, шт.	3	12	17	41	59	15	3

Допустим, что нас интересует количество инверсий при высева семян с исходным интервалом, меньшим первоначального (50 мм) на величину классного промежутка, т.е. с интервалом 40 мм. Используя то очевидное положение, что уменьшение интервала между выбросом семян сокращает расстояние между ними в рядке, можно предположить, что уменьшение начального интервала на величину классного промежутка вызовет уменьшение всех расстояний между семенами примерно на ту же величину. Это приведет к появлению отрицательных значений интервалов, т.е. к появлению инверсий в распределении тех семян, расстояние между которыми по своему значению меньше величины классного промежутка (при группировании интервалов в ряд расстояния, равные граничным

значениям классов, относятся к последующим классам). В рассматриваемом примере это будут интервалы, принадлежащие первому классу, так как его верхняя граница по величине равна значению классного промежутка. Следовательно, количество инверсий при высеве семян с интервалом, меньшим начального на величину классного промежутка, будет равно числу членов ряда, входящих в первый класс, т.е. 3. Нетрудно видеть, что при высеве семян с интервалом, меньшим начального на величину двойного значения классного промежутка (30 мм), отрицательными будут расстояния, принадлежащие первому и второму классам, а количество инверсий равно сумме членов ряда первого и второго классов – 15. При высеве семян с интервалом, учащенным на три значения классного промежутка, количество инверсий будет равно сумме членов ряда первого, второго и третьего классов – 32 и т.д.

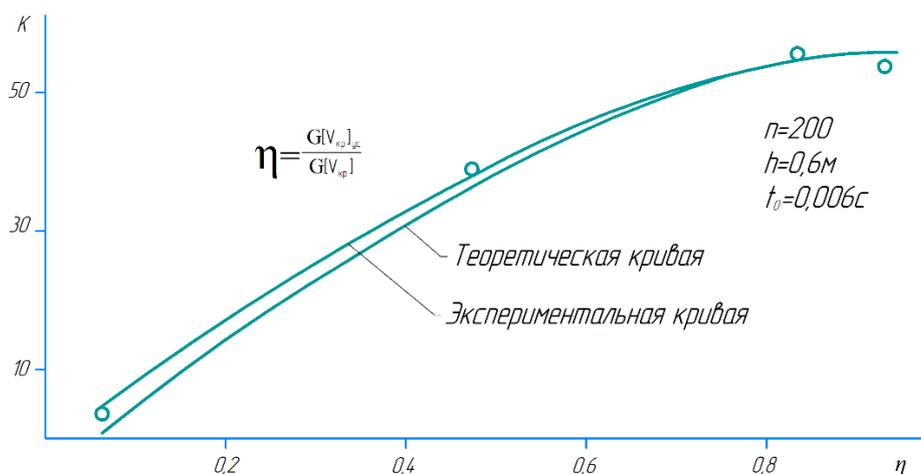


Рис. 2. Зависимость числа инверсий от скорости витания семян (лук репчатый)

Таким образом, предложенный метод с достаточной точностью позволяет по одному эксперименту проводить количественную оценку инверсий при высеве семян без окрашивания с любым исходным интервалом, что дает возможность значительно сократить время на проведение эксперимента.

Для подтверждения приведенных выше аналитических зависимостей

и для определения влияния инверсий и других факторов на равномерность распределения интервалов между семенами были проведены экспериментальные исследования (рис.2).

Из рисунка 2 видно, что экспериментальные данные достаточно хорошо согласуются с расчетами по формуле (7). Некоторое несовпадение теоретической и экспериментальной кривых объясняется неточностями в определении скорости витания семян.

В результате исследований условий возникновения инверсий и влияния их на равномерность распределения семян в рядке можно сделать следующие основные выводы:

- количество инверсий в распределении семян может быть определено аналитически по формуле (7);

- инверсии в распределении семян оказывают отрицательное влияние на качество посева и с увеличением нормы высева это влияние возрастает;

- для уменьшения количества инверсий и улучшения качества распределения семян кроме обычных приемов (снижение высоты падения семян, подготовка дна борозды и др.) посевной материал необходимо разделять на 3-4 фракции по скорости витания (при транспортировании семян до дна борозды свободным падением) и по углу трения движения (при использовании наклонного семяпровода);

- метод определения количества инверсий в распределении семян по вариационному ряду расстояний между семенами, высеянными с интервалом, не приводящим к их возникновению, обеспечивает достаточно высокую точность полученных данных и значительно сокращает время на проведение эксперимента.

Литература

1. Василенко, В. В. Инверсия семян и ее влияние на качество пунктирного посева / В. В. Василенко, С. В. Василенко // Вестник Воронежского государственного

аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 2(61). – С. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102.

2. Василенко, С. В. Распределение семян при двустрочном высеве вертикально-дискowym аппаратом / С. В. Василенко, В. В. Василенко, Ю. И. Солдатов // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 06–07 июня 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 105-114.

3. Влияние инверсии семян на точность распределения их в борозде / К. Р. Казаров, В. А. Черников, И. К. Лукина, О. Н. Щербаков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2, № 3-4(8-4). – С. 426-430. – DOI 10.12737/4426.

References

1. Vasilenko, V. V. Inversiya semyan i ee vliyanie na kachestvo punktirnogo poseva / V. V. Vasilenko, S. V. Vasilenko // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – Т. 12, № 2(61). – S. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102.

2. Vasilenko, S. V. Raspredelenie semyan pri dvustrochnom vyseve vertikal'no-diskovym apparatom / S. V. Vasilenko, V. V. Vasilenko, YU. I. Soldatov // Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Voronezh, 06–07 iyunya 2023 goda. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2023. – S. 105-114.

3. Vliyanie inversii semyan na tochnost' raspredeleniya ih v borozde / K. R. Kazarov, V. A. Chernikov, I. K. Lukina, O. N. Shcherbakov // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. – 2014. – Т. 2, № 3-4(8-4). – S. 426-430. – DOI 10.12737/4426.