

DOI 10.35264/1996-2274-2019-1-203-214

ДОЗИРОВАНИЕ ТРУДНОСЫПУЧИХ СЕМЯН ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ

Н.П. Крючин, зав. каф. ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, Кинель, Самарская обл., д-р техн. наук, проф., *miignik@mail.ru*

А.Н. Крючин, доц. каф. ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, Кинель, Самарская обл., канд. техн. наук, *kryuchin@inbox.ru*

Высевающий аппарат является одним из главных устройств любой сеялки, определяющих качество посева, особенно если речь идет о высевающем аппарате центрального дозирования. В статье описана предлагаемая технологическая схема высева трудносыпучих семян разработанным дозирующим устройством дисково-шифтового типа. Его особенностью является наличие активатора истечения семенного материала из бункера. Предлагаемый аппарат способен с высоким качеством дозировать трудносыпучие посевные материалы, к которым относятся большинство семян злаковых трав (и не только). Описаны оригинальная методика и специально разработанная лабораторная установка для оценки продольной равномерности высева.

Суть методики заключается в высеве семян на подвижную горизонтальную платформу с секторами одинакового размера. С ее использованием значительно снижаются время- и трудозатраты на проведение экспериментов. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивных и режимных параметров предлагаемого устройства. Дан анализ результатов проведенных исследований.

Ключевые слова: сеялка, посев, высевающий аппарат, активатор, сводообразование, истечение, трудносыпучие семена, дозирование, устойчивость высева, равномерность.

DOSING OF DIFFICULT-TO-SOW SEEDS BY SEEDING DEVICES

N.P. Kryuchin, Head of Department, Samara State Agricultural Academy, Kinel, Samara Region, Ph. D., professor, *miignik@mail.ru*

A.N. Kryuchin, Associate Professor, Samara State Agricultural Academy, Doctor of Engineering, *kryuchin@inbox.ru*

The sowing unit is one of the main devices of any planter, determining the quality of sowing, especially when it comes to the sowing unit of the central dosing. The article describes the proposed technological scheme of sowing of difficult seeds with a pin-disc type metering device. Its feature is the presence of an activator of seed outflow from the bunker. The proposed apparatus is capable of dispensing hard-to-sowing seeds with high quality, which include most of the seeds of cereal grasses (and not only). An original technique and a specially developed laboratory setup for assessing the longitudinal uniformity of seeding are described.

The essence of the technique consists in sowing seeds on a moving horizontal platform with sectors of the same size. With its use, time and labor costs for conducting experiments are significantly reduced. The results of theoretical and experimental studies to determine the optimal design and operational parameters of the proposed device are given. Analysis of the results of the research is presented herewith.

Keywords: seeder, sowing, sowing apparatus, activator, arching, outflow, difficult-flowing seeds, dosing, stability of sowing, uniformity.

Одним из наиболее важных технологических элементов современной сеялки, влияющих на качество выполнения посева, является высевающий аппарат. Он должен обеспечивать сохранение заданной нормы высева, высокую равномерность и производительность дозирования посевного материала. Обеспечение выполнения данных требований при дозировании семян злаковых трав и кормовых травосмесей, в состав которых они входят, крайне затруднительно [1]. Объяснением этому служит склонность вышеупомянутого посевного материала к сводообразованию в бункере сеялки. Физико-механические свойства этих семян, а именно угол естественного откоса и высокое сопротивление сдвигу, свидетельствуют о том, что данный материал является трудносыпучим, или связным [2].

На основании проведенного изучения особенностей дозирования трудносыпучих семян трав в лаборатории посевных машин Самарской ГСХА была предложена конструкция высевающего устройства дисково-штифтового типа, снабженного активатором истечения связного семенного материала из бункера (Патент РФ на полезную модель № 133677). Предполагается применение разработки в качестве центрального дозатора самоходной пневматической мини-сеялки (Патент РФ на полезную модель № 125430). Конструктивная схема высевающего устройства представлена рис. 1.

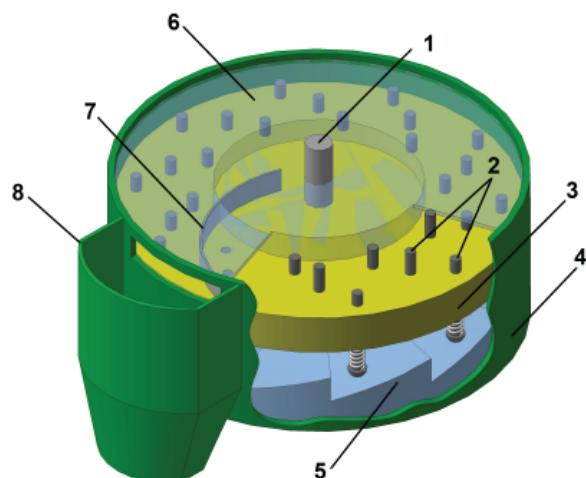


Рис. 1. Схема дисково-штифтового высевающего аппарата

1 – приводной вал; 2 – подвижные штифты; 3 – высевающий диск; 4 – корпус; 5 – ступенчатый активатор; 6 – прозрачный козырек; 7 – семясбрасывающий скребок; 8 – выпускная воронка

Выполнение технологического процесса разработанным дисково-штифтовым высевающим аппаратом происходит следующим образом. При вращении приводного вала 1 установленный на нем высевающий диск 3 перемещает штифты 2, находящиеся в отверстиях диска, по кольцевой траектории. Причем штифты установлены в отверстиях с гарантированным зазором, а их опорные концы подпружинены относительно нижней поверхности высевающего диска. Сектор направляющей шайбы, ограниченный вертикальными проекциями передней и задней кромок козырька 6 (зона загрузки семян), представляет собой ступенчатую поверхность. Активатор 5 состоит из двух ступеней, высота которых превышает расстояние между прозрачным козырьком и диском аппарата. Это условие дает возможность верхним концам штифтов при прохождении зоны загрузки подниматься выше поверхности козырька и, повторяя форму ступеней, разрушать образующиеся своды над загрузочным отверстием.

В результате воздействия штифтов на материал, находящийся в бункере, происходит стабильное истечение семян на поверхность высевающего диска, при этом все свободное пространство на нем заполняется. Вращающийся диск с поднятыми штифтами транспортирует материал в направлении семясбрасывающего скребка 7, установленного напротив высевной щели, через которую семена попадают в воронку 8 эжекторного устройства. Не доходя до семясбрасывающего скребка, штифты подпружиненными опорными концами проходят нисходящую ступень, выполненную в направляющей шайбе, и опускаются ниже поверхности диска, исключая возможность столкновения со скребком. После того как ряд штифтов пройдет скребок, он, копируя форму направляющей шайбы, снова поднимается в рабочее положение, и вышеописанный технологический цикл повторяется.

Надежная и качественная работа высевающего устройства будет характеризоваться коэффициентами неустойчивости общего высева и вариаций количества семян в одинаковых интервалах (обычно принимаются интервалы 1 или 5 см). Для того чтобы достичь высоких значений показателей качества высева, необходимо обеспечить максимально возможное заполнение семенным материалом пространства на высевающем диске, устойчивое транспортирование семян диском со штифтами по кольцевой линии и стабильный сброс семян в воронку эжектора. В целях обеспечения заданных условий проведены теоретические исследования, установившие целесообразность расположения штифтов в рядах не радиально, что вызовет пульсацию потока на выходе из дозатора, а по линии логарифмической спирали. Ее основной характеристикой является равенство угла пересечения кривой с радиусом вектором [3].

Излишнее количество штифтов, поднятых над дозирующим диском, будет отрицательно влиять на равномерность высева связного семенного материала, поэтому необходимо обоснование количества рядов штифтов и количества штифтов в каждом ряду. С этой целью были проведены теоретические исследования, по результату которых определено выражение, задающее длину дуги L логарифмической спирали (рис. 2), которое в результате преобразования принимает вид:

$$L = \frac{(R - r)}{\cos \alpha} = \frac{(R - r)}{\cos(\operatorname{Actg}\left(\frac{2\pi}{n \times \ln R/r}\right))}, \quad (1)$$

где R – внешний радиус сектора отбора, м; r – внутренний радиус сектора отбора, м; α – угол между радиусом вектором точки на логарифмической спирали и касательной, проведенной в этой точке, рад; n – число рядов штифтов, $n = \frac{2\pi}{\varphi}$; φ – угол поворота радиуса вектора логарифмической спирали, рад.

В целях определения максимально допустимого расстояния l между соседними штифтами в каждом ряду, обеспечивающем устойчивое перемещение семян в направлении вращения штифтового диска, рассмотрим уравнение равновесия элементарного объема $abcd$ (см. рис. 2). Отметим, что для исключения проскальзывания семян между соседними штифтами в ряду требуется создать условия, при которых элементарный объем $abcd$ будет образовывать сков из материала.

В результате наличия силы трения и силы тяжести в выделенном элементарном объеме $abcd$ возникает боковое давление. Сила бокового P_6 давления создает по плоскостям ab и cd полные напряжения P , которые могут быть разложены на касательные напряжения τ_6 и нормальные напряжения σ_6 . Нормальные напряжения в данном случае равны нулю, а величина P_6 может быть определена выражением:

$$P_6 = 2\tau_6 \cdot h \cdot dx, \quad (2)$$

где h – рабочая высота штифтов, м; dx – ширина выделенного элемента, м.

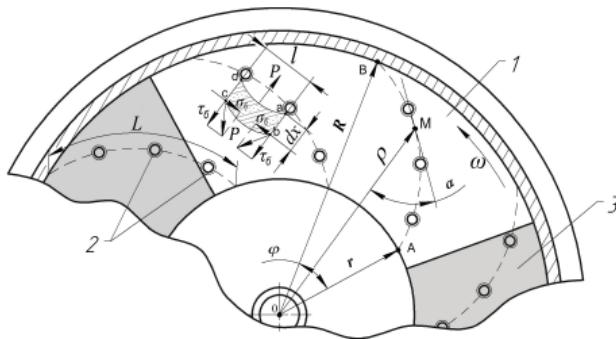


Рис. 2. Схема расположения штифтов на дозирующем диске:

1 – дозирующий диск; 2 – штифты; 3 – козырек

Запишем выражение для касательных напряжений на боковых поверхностях штифтов:

$$\tau_6 = \tau_0 (1 + \sin \Psi), \quad (3)$$

где τ_0 – начальное сопротивление сдвига, Н/м²; $\Psi = \arctg f_{\text{вн}}$ – угол внутреннего трения семенного материала, град; $f_{\text{вн}}$ – коэффициент внутреннего трения.

Для силы бокового давления P_6 можем также записать следующее выражение:

$$P_6 = \xi \cdot G, \quad (4)$$

где $\xi = \tan^2(45 - \Psi/2)$ – коэффициент бокового давления; $G = \gamma \cdot g \cdot l \cdot h \cdot dx$ – вес выделенного элемента, Н.

Преобразовав предыдущую формулу, получим выражение для определения расстояния между соседними штифтами в ряду l :

$$l = \frac{2\tau_0(1 + \sin \Psi)}{\xi \cdot \gamma \cdot g}. \quad (5)$$

Теперь, имея выражения для длины дуги L логарифмической спирали и расстояния между штифтами в ряду l , можем определить число штифтов в ряду m , при котором будет происходить устойчивое транспортирование семян рядами штифтов в направлении вращения диска:

$$m = \frac{L}{l} = \frac{\xi \cdot \gamma \cdot g (R - r)}{\cos \alpha (2\tau_0(1 + \sin \Psi) + \xi \gamma g)}. \quad (6)$$

Зная максимально допустимое расстояние между соседними штифтами в ряду и между рядами штифтов, имеем возможность определить параметр логарифмической спирали по следующей формуле:

$$k = \frac{n}{2\pi} \ln \frac{R}{r}. \quad (7)$$

На основании выполненных теоретических исследований получены аналитические зависимости для определения параметров размещения штифтов на дозирующем диске, учиты-

вающие геометрические параметры высевающего устройства, объемно-массовые и фрикционные свойства семенного материала. При данных параметрах будет исключена возможность проскальзывания семян между соседними штифтами в ряду и, соответственно, будет происходить стабильное устойчивое перемещение посевного материала в направлении семясбрасывающего скребка и высевной щели.

При подстановке геометрических параметров разработанного высевающего устройства дисково-штифтового типа и значений объемно-массовых и фрикционных свойств семян мяты лугового в полученное выражение (6) необходимое количество штифтов, при котором будет происходить устойчивое транспортирование семян, составляет не менее 3 шт. в ряду. Рассчитанный по выражению (7) параметр k логарифмической спирали, по отрезку дуги которой размещаются ряды штифтов, составляет 0,93.

Конструктивно-технологическая схема предлагаемого высевающего аппарата дисково-штифтового типа создает определенные предпосылки для повышения качественных показателей дозирования трудносыпучего семенного материала. Однако ввиду того, что данная схема имеет ряд существенных особенностей, были разработаны методика и лабораторная установка для проведения экспериментальных исследований качества работы высевающего устройства.

Лабораторная установка (рис. 3) состоит из дозирующего устройства дисково-штифтового типа 5 с бункером 8, передвижной планки 4 с зафиксированной на ней для сбора семенного материала емкостью 10, необходимой при настройке и разгоне высевающего аппарата. Также на передвижной планке установлена площадка с электронными весами 12. При включении лабораторного стенда семена, высеваемые устройством при разгоне и настройке, направляются в емкость 10. Когда установка достигает требуемой для опыта частоты вращения, меняем положение передвижной планки 4, располагая под выпускной воронкой дозирующего устройства 5 площадку с электронными весами 12 и контрольной тарой 11. После каждого опыта использованный семенной материал возвращаем в бункер 8, чтобы уровень в нем был неизменным. Фиксируем полученный результат. По достижении необходимой частоты вращения передвижная планка 4 сдвигается, располагая платформу с весами 12 и контрольной емкостью 11 под выпускной воронкой 9 высевающего аппарата 5. По завершении опыта фиксируется цифровое значение, отображаемое на экране весов, а собранный семенной материал возвращается в бункер 8, сохраняя тем самым заданный уровень его заполнения.

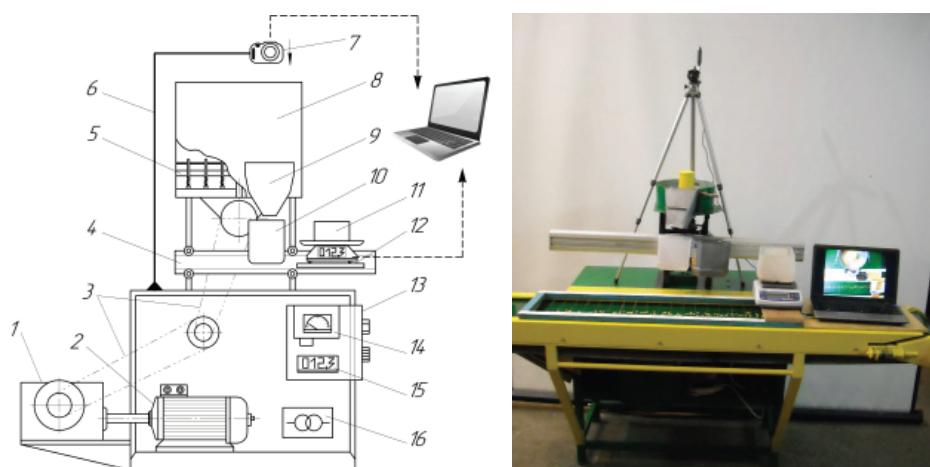


Рис. 3. Схема и общий вид лабораторной установки:

1 – редуктор; 2 – электродвигатель; 3 – цепная передача; 4 – передвижная планка; 5 – высевающий аппарат; 6 – стойка; 7 – камера; 8 – бункер; 9 – воронка; 10 – разгонная емкость; 11 – контрольная емкость; 12 – платформа с весами; 13 – блок управления; 14 – тахометр; 15 – счетчик оборотов; 16 – частотный преобразователь

Электродвигатель 2, частотный преобразователь 16 и блок управления 13 позволяют изменять частоту вращения вала дисково-штифтового высевающего аппарата, привод которого осуществлен через цепную передачу и редуктор. Также лабораторная установка снабжена тахометром 14 и счетчиком оборотов 15 дозирующего диска.

Специально для контроля процесса высева и наблюдения за перемещением посевного материала штифтовым диском к семясбрасывающему скребку козырек высевающего аппарата, являющийся дном бункера, изготовлен из прозрачного оргстекла. Также при открытой крышке бункера мы имеем возможность проводить наблюдения за передвижением слоев семенной массы в нем. На раме лабораторной установки была смонтирована специальная стойка 6 с цифровой камерой 7 для видеофиксации процесса работы дозатора. Отметим, что электронные весы и тара для семян также расположены в области захвата камеры, что позволяет фиксировать результаты каждого опыта. Это может снизить вероятность ошибок при фиксации и обработке результатов.

Данное исполнение лабораторной установки способствует повышению скорости и эффективности проведения лабораторных исследований по оценке устойчивости и производительности разрабатываемых высевающих аппаратов.

Коэффициент неустойчивости высева характеризует надежность работы и качество работы любого дозирующего устройства [4]. Поэтому в лаборатории посевных машин Самарской ГСХА были выполнены исследования по определению режимных и конструктивных параметров высевающего аппарата, при которых будут обеспечиваться высокие подача и устойчивость дозирования.

В основу методики для определения оптимальной частоты вращения высевающего диска положены однофакторные эксперименты, при которых варьируемым является один из исследуемых параметров, а остальные были зафиксированы. Показателями качества работы устройства были приняты удельная подача семян и коэффициент неустойчивости общего высева [5, 6]. Коэффициент неустойчивости общего высева определялся по формуле:

$$\delta = \frac{\sum (Q_{cp} - Q_i)}{Q_{cp} \cdot n} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где Q_i – удельная подача за каждый опыт, г/об; Q_{cp} – среднее значение удельной подачи, г/об; n – число опытов, шт.

Высота подкозырькового пространства, а также внутренний и внешний диаметры рабочей поверхности диска были приняты постоянными на основании расчета требуемой нормы высева – до 20 кг/га. Диапазон регулировки частоты вращения был задан следующий: 5; 10; 15; 20 и 25 мин⁻¹. Принимались различные комплекты штифтов, обеспечивающие следующий вылет над дозирующим диском: $l_{шт} = (2; 4; 6; 8)$ мм. Также был проведен опыт по определению подачи и устойчивости с «гладким» диском, т. е. штифтами, при которых вылет над диском отсутствовал ($l_{шт} = 0$ мм). Результаты представлены графически (рис. 4).

На основании проведенного эксперимента установлено, что высевающий аппарат стабильно дозирует семена мяты лугового при частоте вращения приводного вала, не превышающей 20 мин⁻¹. Отмечено, что максимальная удельная подача достигалась при штифтах с параметром $l_{шт} = (6; 8)$ мм. Ее значение при 8 мм составило 51,5 г/об. Коэффициент неустойчивости высева при $l_{шт} = 8$ мм и частоте вращения дозирующего диска 15 мин⁻¹ составил 7,7%, что удовлетворяет агротехническим требованиям для посева семян злаковых трав.

Дальнейшие исследования, направленные на определение влияния активного воздействия штифтов в зоне загрузки семян, проводились на частоте вращения приводного вала 15 мин⁻¹, штифтах с параметром $l_{шт} = 8$ мм, высоте подкозырькового пространства 10 мм. В качестве

варируемых факторов были приняты количество и высота ступеней активатора. Параметр h – высота ступени активатора принимался: $h = (2; 4; 6; 8)$ мм. С учетом геометрических размеров зоны загрузки семенного материала расчетным путем было установлено, что при высотах ступеней активатора 8 и 6 мм имеется возможность размещения не более трех ступеней в области загрузочного окна. Это ограничение объясняется максимальным расчетным углом, при котором будет происходить свободное скольжение опорных концов штифтов по восходящим ступеням активатора, т.е. исключаться возможность их заклинивания.

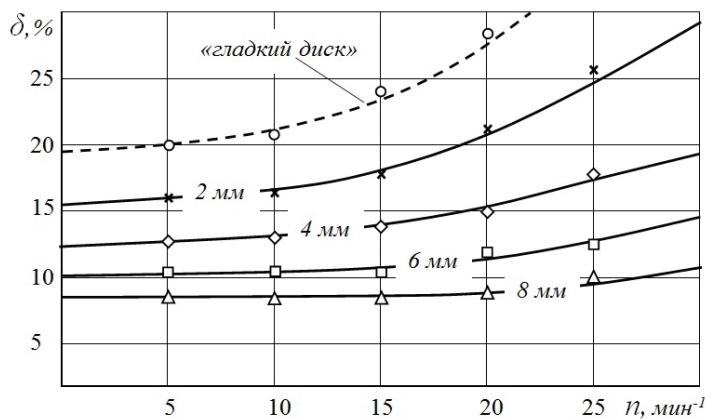


Рис. 4. Зависимость коэффициента неустойчивости высеива от частоты вращения диска при $l_{шт} = (0; 2; 4; 6; 8)$ мм

Эксперимент по оценке влияния высоты активатора на производительность дозирования семян мятлика лугового показал, что достигается повышение удельной подачи по сравнению с дозатором, не снабженным ступенчатым активатором, на 15–37% при $h = 4–8$ мм.

Был проведен опыт с изменением места положения активатора (в начале, середине и конце зоны загрузки), состоящего из одной ступени. В результате выяснено, что прибавка производительности дозирования за счет установки активатора в середине окна составляет около 19%, что гораздо меньше, чем при установке активатора в начале (42,5%) и в конце (38%) зоны загрузки.

Был проведен опыт, в котором поочередно устанавливали активатор с одной, двумя и тремя ступенями в зоне загрузки. В результате данного эксперимента выяснено, что наибольшее значение удельной подачи (77,5 г/об) достигается применением двух ступеней, прибавка составила 50,5%. Наименьшее увеличение подачи было при использовании активатора, состоящего из трех ступеней.

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований по изучению воздействия активатора истечения семян на удельную подачу подтверждает эффективность применения активного воздействия штифтов в области зоны загрузки семян, однако отмечено, что при установке активатора, состоящего из трех ступеней, абсолютное значение подачи было меньше по сравнению с двумя другими исполнениями активатора. Это свидетельствует о том, что нахождение большого количества поднятых штифтов может отрицательно влиять на производительность аппарата.

В результате проведенных однофакторных экспериментов установлены конструктивные параметры дисково-штифтового дозатора, оказывающие наибольшее воздействие на качество высеива и удельную подачу семян мятлика лугового. Также определены пределы, в которых их целесообразно варьировать при проведении многофакторного эксперимента. Данный эксперимент направлен на оптимизацию конструкции разработанного устройства.

В качестве критерия оптимизации принята удельная подача семенного материала Q (г/об). Варьируемыми факторами выбраны: величина вылета над диском штифтов $l = 4\dots8$ мм, число ступеней активатора $k = (1; 2; 3)$, а также высота h ступеней активатора: $h = 4\dots8$ мм. Для всех опытов устанавливалась частота вращения приводного вала, равная 15 об/мин. На основании теоретического анализа принято 10 рядов штифтов на диске, по 3 штифта в ряду. Исходя из требуемой производительности высота под козырьком аппарата составила 10 мм. Каждый эксперимент выполнялся с трехкратной повторностью. Порядок выполнения экспериментов выбирали по таблице равномерно распределенных случайных чисел. Была составлена матрица планирования эксперимента, записано уравнение регрессии в закодированном виде, подсчитана выборочная дисперсия воспроизводимости параллельных наблюдений для каждой точки плана экспериментов, рассчитано значение критерия Кохрена и произведено его сравнение с критическим. Также были определены коэффициенты регрессии b_i и их значимость по критерию Стьюдента. Гипотеза адекватности модели проверялась по критерию Фишера. Составлено уравнение регрессии при ортогональном композиционном планировании и исключены незначимые коэффициенты b_i , после чего были раскодированы факторы процесса. В результате по полученной модели была построена поверхность равного отклика зависимости подачи семян от высоты вылета штифтов и высоты ступеней активатора (рис. 5) и выполнено ее двухмерное сечение (рис. 6).

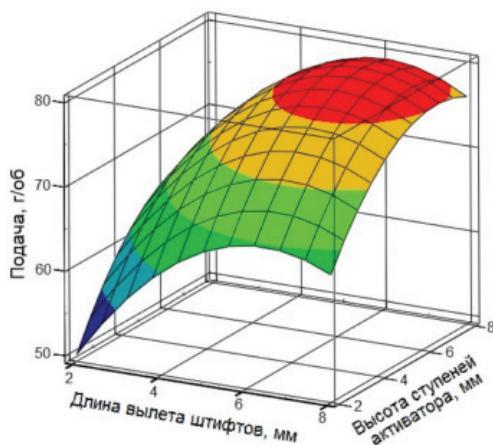


Рис. 5. Зависимость удельной подачи семян от высоты вылета штифтов и высоты ступеней активатора

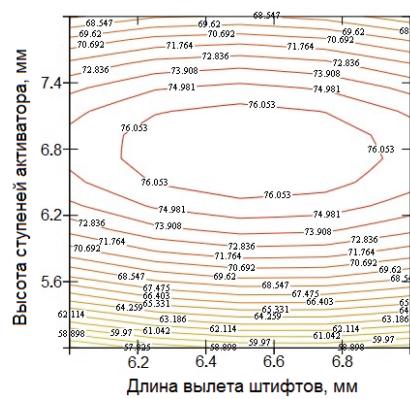


Рис. 6. Двухмерное сечение поверхности отклика удельной подачи семян

Анализ результатов проведенного эксперимента позволил определить, что наилучший показатель удельной подачи семенного материала достигается с использованием активатора из двух ступеней, высота h которых составляет 6,7...6,8 мм. При этом вылет l подвижных штифтов над дозирующим диском равен 6,4...6,6 мм.

Наряду с устойчивостью и производительностью высева важнейшей характеристикой любого дозирующего устройства является продольная равномерность распределения семян, которая характеризуется коэффициентом вариации количества семян в одинаковых интервалах. Обычно принимаются интервалы 1 или 5 см. Однако оценка данного параметра при исследовании высевающих устройств центрального дозирования является весьма затруднительной, особенно если приходится иметь дело с мелкосеменными культурами [7]. Это объясняется применяемой технологией проведения лабораторных исследований, при которой традиционно семена высеваются на «бесконечную» липкую ленту, а после остановки дозатора и транспортера на ленту накладывается линейка и ведется подсчет количества семян в равных интервалах. При этом в 1-см интервале может оказаться несколько сотен мелких семян, а количество таких интервалов обычно более 200, так как учетная длина липкой ленты должна составлять не менее 2 м.

Для проведения исследований по оценке продольной равномерности распределения семян нами разработана лабораторная установка и методика высева на подвижную горизонтальную платформу с ячейками равного размера [3]. Горизонтальная платформа с одинаковыми ячейками, приводимая в движение электродвигателем, располагается под выпускной воронкой исследуемого высевающего устройства. При включении установки происходит высев семян на движущуюся платформу, ячейки заполняются семенами. При этом ширина всех ячеек равна 1 см, а высота стенок, разделяющих их, препятствует пересыпанию семенного материала. После остановки транспортера производим выгрузку семян из каждого сектора платформы через специальное отверстие и направляющую воронку в тару, установленную на электронных весах. Взвешивание порций семян происходит с точностью не менее 0,01 г. Результат фиксируется либо в журнале наблюдений, либо с помощью диктофона, что гораздо быстрее. Предложенная методика изучения равномерности распределения семян вдоль ряда исключает при проведении опытов порчу семян, которая имеет место при их контакте с поверхностью липкой ленты. Значительно сокращаются время- и трудозатраты на подсчет результатов.

Многофакторный эксперимент по определению конструктивных параметров высевающего устройства, при которых достигается максимальная продольная равномерность распределения семян, был проведен согласно вышеописанной методике. В качестве критерия оптимизации принят коэффициент вариации v (%) количества семян в 1-см интервалах (9). Варьируемыми факторами выбраны те же, что и при определении максимальной удельной подачи аппаратом: вылет штифтов над диском $l = 4...8$ мм; число ступеней активатора $k = (1; 2; 3)$; высота ступеней активатора $h = 4...8$ мм.

$$v = \frac{S}{m_{cp}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где S – среднее квадратичное отклонение (корень из дисперсии); m_{cp} – среднее арифметическое значение по выборке.

По итогу проведения эксперимента и обработки результатов была построена поверхность равного отклика коэффициента неравномерности продольного распределения семян мятыка лугового (рис. 7) и выполнено ее двухмерное сечение (рис. 8).

Проанализировав полученные результаты исследования качества продольного распределения семян дисково-штифтовым дозирующим устройством, установлено, что наименьший коэффициент неравномерности составляет 10,6 %. Он достигается при установке следующих

параметров: высота ступеней активатора $h = 6,9 \dots 7,1$ мм, количество ступеней $k = 2$, длина вылета подвижных штифтов над диском $l = 6,3 \dots 6,4$ мм.

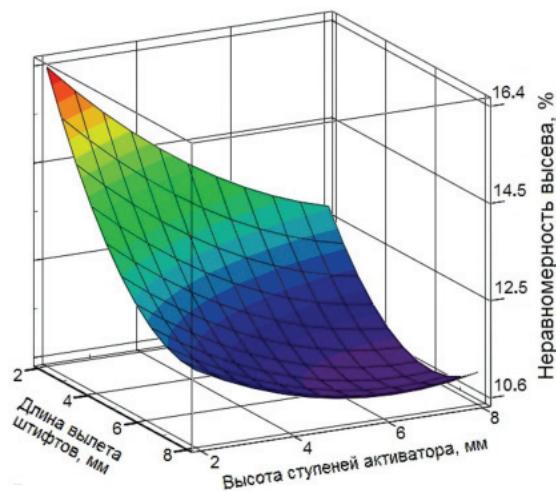


Рис. 7. Зависимость неравномерности высеива от длины штифтов и высоты ступеней активатора

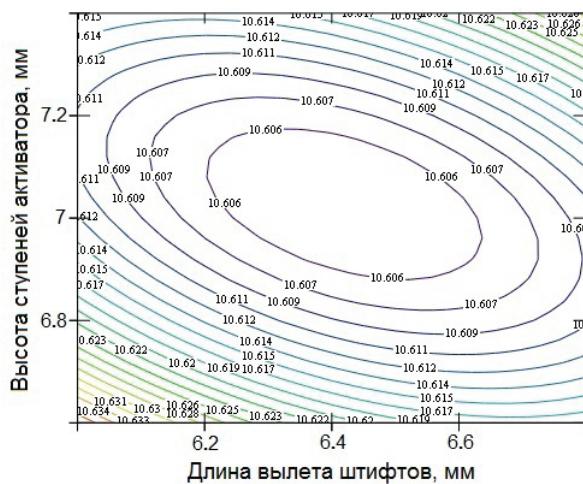


Рис. 8. Двухмерное сечение поверхности отклика неравномерности высеива

Выводы

По итогам проведенной научно-исследовательской работы по разработке и обоснованию конструкции дисково-штифтового высеивающего устройства достигнуты следующие результаты.

– Обоснована технологическая схема высеива трудносыпучих семян дозирующим устройством с применением активного воздействия штифтов в зоне истечения семенного материала из бункера.

– На основании теоретического анализа получены аналитические зависимости для определения условий размещения штифтов на дозирующем диске, учитывающие геометрические параметры устройства и характеристики семенного материала. При выполнении расче-

тов по ним установлено, что для устойчивого транспортирования семян мятыка лугового количество штифтов в ряду составляет не менее 3 шт. Рассчитанный параметр k логарифмической спирали, по отрезку дуги которой размещаются ряды штифтов, составляет 0,93.

— В целях повышения эффективности проведения экспериментальных исследований качества работы высевающих аппаратов разработаны методика высева семян на подвижную горизонтально-ячеистую платформу и лабораторная установка, позволяющая ее реализовать.

— Проведены лабораторные исследования по определению оптимальных режимных и конструктивных параметров дисково-штифтового высевающего аппарата с применением теории многофакторного планирования. По их результатам установлено, что наилучшая равномерность высева происходит при использовании активатора из двух ступеней высотой 6,9...7,1 мм, а длина вылета штифтов над диском составляет 6,3...6,4 мм. Анализ многофакторного эксперимента по оценке удельной подачи свидетельствует о том, что при установке данных параметров достигается производительность, близкая к максимальной. На основании этого принимаем их в качестве оптимальных.

Список литературы

1. Крючин Н.П., Вдовкин С.В. Повышение качества высева трудносыпучих материалов применением формирователей с упругими элементами // Научное обозрение. 2013. № 10. С. 59–65.
2. Терновой Д.А. Совершенствование процесса истечения семян и туков из емкостей зернотуковых сеялок: дис. ... канд. тех. наук. Зерноград, 2000. 154 с.
3. Крючин А.Н. Повышение качества посева семян трав самоходной пневматической мини-сеялкой применением дисково-штифтового высевающего аппарата: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2016. 151 с.
4. Исаев Ю.М., Семашкин Н.М. Исследования влияния параметров высевающего аппарата на процесс высева // Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 8. С. 79–80.
5. ГОСТ 31345–2007. Сеялки тракторные. Методы испытаний.
6. СТО АИСТ 5.6–2010. Испытания сельскохозяйственной техники Машины посевные и посадочные. Показатели назначения. Общие требования. М.: Росинформагротех, 2011.
7. Красильщиков Е.В. Обоснование параметров пневмомеханической высевающей системы, обеспечивающей равномерное распределение семян зерновых культур: дис. ... канд. тех. наук. Омск, 2009. 156 с.

References

1. Kryuchin N.P., Vdovkin S.V. (2013) *Povyshenie kachestva vyseva trudnosypuchikh materialov prime-niem formirovateley s uprugimi elementami* [Improving the quality of sowing difficult-to-flow materials by using formers with elastic elements] *Nauchnoe obozrenie* [Nauchnoe obozrenie] (Scientific Review). No. 10. P. 59–65.
2. Ternovoy D.A. (2000) *Sovershenstvovanie protsessa istecheniya semyan i tukov iz emkostey zernotukovykh seyalok: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improving the process of the expiration of seeds and fertilizers from the tanks grain-seed drills: Thesis for Degree of Doctor of Engineering] Zernograd [Zernograd]. P. 154.
3. Kryuchin A.N. (2016) *Povyshenie kachestva poseva semyan trav samokhodnoy pnevmaticheskoy mini-seyalkoy primeneniem diskovo-shtiftovogo vysevayushchego apparata: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improving the quality of sowing grass seed with a self-propelled pneumatic mini-seeder using a disk-pin sowing apparatus: Thesis for Degree of Doctor of Engineering]. Penza. P. 151.
4. Isaev Yu.M., Semashkin N.M. (2014) *Issledovaniya vliyaniya parametrov vysevayushchego apparata na protsess vyseva* [Studies of the influence of the parameters of the sowing apparatus on the seeding process] *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International Journal of Experimental Education]. No. 8. P. 79–80.
5. GOST 31345–2007. *Seyalki traktornye* [Tractor seeders] *Metody ispytaniy* [Test methods].

6. *Ispytaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki Mashiny posevnye i posadochnye. Pokazateli naznacheniya. Obshchie trebovaniya* [Tests of agricultural machinery. Machines sowing and planting. Indicators of destination. General requirements. Standards of the Association of agricultural machinery and technology testers (STO AIST) 5.6–2010] *Rosinformagrotekh* [Rosinformagrotech]. Moscow. 2011.

7. Krasil'yshkov E.V. (2009) *Obosnovanie parametrov pnevmomekhanicheskoy vysevayushchey sistemy, obe-spechivayushchey ravnomernoe raspredelenie semyan zernovykh kul'tur. Dis. ... kand. tekh. nauk* [Justification of parameters of the pneumo-mechanical sowing system, ensuring uniform distribution of seeds of grain crops. Thesis for Degree of Doctor of Engineering] *Omsk* [Omsk]. P. 156.