
4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 633.63:613.3

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_3_159

EDN: JUJIAV

Особенности присасывания семян сахарной свеклы к ячейке диска высевающего аппарата пневматической сеялки

Алексей Михайлович Гиевский¹, Юрий Игоревич Солдатов²✉

^{1,2}Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия

²general-soldatov@mail.ru✉

Аннотация. При посеве технических культур особое внимание уделяется точности заделки семян в борозду. Как известно, одним из путей увеличения перспективной урожайности культур является оптимизация площади питания, что реализуется на стадии посева. Для сахарной свеклы сотрудниками ВНИИССиС обосновано использование схемы посева 45×15 см. Однако основной проблемой внедрения представленной схемы является отсутствие полного комплекса машин для возделывания культуры, поэтому авторами были проведены исследования по разработке делителя потока для посева семян сахарной свеклы по схеме 45×15 см для уже существующих сеялок. Экспериментальные исследования высевающего аппарата были проведены на установке в лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ВГАУ. Приведен уточненный математический аппарат для расчета реакций, действующих на дражированное семя в момент присасывания, присасывающей силы, действующей не на площадь отверстия ячейки диска, а на площадь шарового сегмента. Механико-математический аппарат расчета реакций сопротивления семени был дополнен с учетом лобового сопротивления, возникающего при движении захваченного семени в сыпучей среде. Уточненные формулы расчета коэффициента запаса присасывающей силы позволяют спрогнозировать коэффициент заполняемости, т. к. коэффициент запаса присасывающей силы напрямую влияет на вероятность заполнения ячеек диска, что подтверждено эмпирически. Чтобы коэффициент заполняемости был на уровне 97% и выше, необходимо закладывать коэффициент запаса присасывающей силы от 1,5 до 2,5, что соответствует значению разрежения 400–600 Па. В итоге получены графики зависимости коэффициента запаса присасывающей силы от скорости вращения высевающего диска и создаваемого разрежения.

Ключевые слова: сеялка точного высева, сахарная свекла, процесс присасывания, силы сопротивления присасыванию, коэффициент запаса присасывающей силы, коэффициент заполняемости ячеек диска

Для цитирования: Гиевский А.М., Солдатов Ю.И. Особенности присасывания семян сахарной свеклы к ячейке диска высевающего аппарата пневматической сеялки // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 3(78). С. 159–168. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_3_159–168.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Features of sugar beet seed suckling to the disc cell of the sowing apparatus of a pneumatic seed drill

Aleksey M. Gievskiy¹, Yuri I. Soldatov²✉

^{1,2}Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

²general-soldatov@mail.ru✉

Abstract. When sowing industrial crops, special attention is paid to the accuracy of embedding seeds in the furrow. As is commonly known, one of the ways to increase the predicted yield of crops is to optimize the feeding area, which is implemented at the sowing stage. For sugar beet, employees of All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar (VNISSiS) justified the use of a 45×15 cm sowing scheme. However, the main problem of implementing the presented scheme is the lack of a complete complex of machines for cultivating crops, therefore, the authors conducted research aimed at developing a flow divider for sowing sugar beet seeds according to the 45×15 cm scheme for existing seeders. Experimental studies of the seeding apparatus were carried out at the installation in the laboratory of the Department of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University. A

revised mathematical apparatus is considered for calculating the reactions acting on the dress seed at the moment of suction, the suction force acting not on the area of the opening of the disc cell, but on the area of the ball segment. The mechanical and mathematical apparatus for calculating seed resistance reactions was supplemented by taking into account the front drag that occurs when the captured seed moves in a loose medium. The revised formulas for calculating the reserve coefficient of the suction force make it possible to predict the fill rate, since the coefficient of the reserve of the suction force directly affects the probability of filling the disk cells, which is confirmed empirically. In order for the fill rate to be at the level of 97% or higher, it is necessary to lay the coefficient of the reserve of the suction force from 1.5 to 2.5, which corresponds to the reduced pressure value of 400-600 Pa. As a result, graphs of the dependence of the reserve coefficient of the suction force on the rotation speed of the sowing disc and the created reduced pressure are obtained.

Keywords: precision seeddrill, sugar beet, suction process, suction resistance forces, reserve coefficient of suction force, filling coefficient of disk cells

For citation: Gievskiy A.M., Soldatov Yu.I. Features of sugar beet seed suckling to the disc cell of the sowing apparatus of a pneumatic seed drill. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(3):159-168. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_3_159-168.

Посев технических культур требует особого внимания к точности заделки семян в борозду. В Центрально-Черноземном регионе для этой цели широко применяются пневматические сеялки точного высева таких производителей, как Kverneland, Väderstad, Gaspardo, Lemken, Техника Сервис Агро, Ритм и др. По сравнению с механическими аналогами, пневматические высевающие аппараты обладают рядом преимуществ – меньше травмируют семена и обеспечивают более точную заделку семян в борозду, особенно конструкции, основанные на принципе избыточного давления.

В сеялках с вакуумным высевающим аппаратом процесс высева семян подразделяется на следующие этапы: захват (присасывание), удаление лишних семян, транспортирование, сброс. Существенное влияние на точность посева оказывает процесс захвата семени из предварительной камеры, так как этот процесс больше всего подвержен воздействию случайных факторов.

На стадии посева одним из путей увеличения перспективной урожайности технических культур является оптимизация площади питания. В 2019 г. зарубежные специалисты компании Lemken презентовали сеялку Azurit 9/8.75 KD [14], которая отличается не только использованием центрального семенного 600-литрового бункера на все высевающие секции, но и реализацией технологии DeltaRow, основа которой – высева семян технических культур в ряд из 2-х полурядов на расстоянии 12,5 см друг от друга, между которыми вносятся удобрения. За счет такого расположения увеличивается площадь питания каждого растения до 70% [1], что позитивно влияет на их перспективную урожайность.

Для сахарной свеклы сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова обосновано использование схемы посева 45×15 см, которая подробно описана в работе [7]. Чтобы реализовать предложенную схему на практике, были предложены отечественные сеялки, в том числе защищенные патентами [5, 12]. Однако основной проблемой внедрения представленных схем для сахарной свеклы является отсутствие полного комплекса машин для возделывания культуры, поэтому авторами были проведены исследования по разработке делителя потока для посева семян сахарной свеклы по схеме 45×15 см для уже существующих сеялок. При разработке универсального делителя потока для сеялок точного высева необходимо учитывать процессы, происходящие внутри высевающего аппарата. В представленной статье акцентировано внимание на изучении процесса присасывания дражированных семян сахарной свеклы к отверстиям диска пневматической сеялки точного высева.

Объектом исследования является высевающий аппарат пневматической сеялки точного высева ТС-М-4150А, производимый в Воронежской области. Предметом исследования были выбраны силы, действующие на семя в высевающем аппарате исследуемой сеялки.

Экспериментальные исследования высевающего аппарата были проведены на установке в лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей Воронежского государственного аграрного университета [15].

Стационарно установленный высевающий аппарат секции сеялки ТС-М-4150А [16] снабжен вакуумным насосом для создания регулируемого разрежения в вакуумной камере высевающего аппарата, электродвигателем с бесступенчатым изменением частоты вращения, который посредством цепных передач приводит в движение вал, на котором закреплен высевающий диск, а также лотками для сбора «высеянных» семян.

Высевающий аппарат сеялки ТС-М-4150А работает по принципу вакуумного присасывания семян к отверстиям высевающего диска. Технологическая схема его работы приведена на рисунке 1.

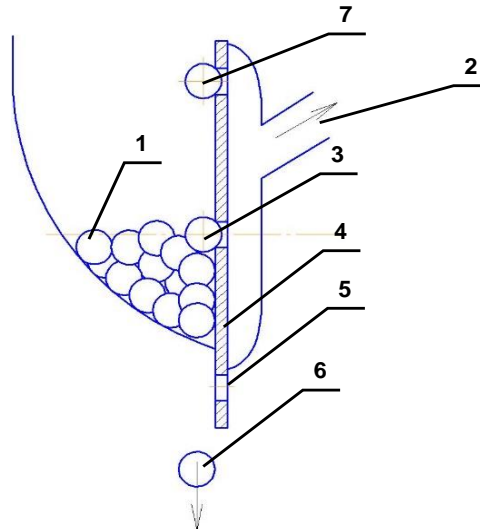


Рис. 1. Технологическая схема процесса дозирования в аппарате сеялки точного высева

Высевающий диск 4 совершает вращение, в процессе которого семя 3 из предварительной камеры 1, в которую семена попадают самотеком из бункера, присасывается к ячейке диска 5 за счет разрежения в вакуумной камере 2, создаваемого вентилятором. Захваченное семя вместе с ячейкой выходит из предварительной камеры и оказывается в верхней части траектории 7. В нижней точке траектории к семенам перестает подаваться разрежение, вследствие чего оно падает под собственной тяжестью вниз [4]. Чтобы снизить вероятность присасывания к одной ячейке более одного семени, в сеялках устанавливаются сбрасыватели, имеющие различную конструкцию [4, 18].

Рассмотрим процесс работы присасывающего аппарата с механико-математической точки зрения. Сила присасывания вычисляется по формуле

$$F_{\Pi} = k_{\Pi} \Delta p \cdot S_{\text{сем}}, \quad (1)$$

где k_{Π} – эмпирический коэффициент присасывания (для дражированных семян сахарной свеклы значение $k_{\Pi} = 0,94$);

Δp – величина разрежения, Па;

$S_{\text{сем}}$ – площадь поверхности семени, к которой приложен вакуум, м².

Поскольку дражированное семя сахарной свеклы представляет собой шар, то поверхностью присасывания является шаровый сегмент. Величину площади шарового сегмента вычислим по следующей формуле [2]:

$$S_{\text{сем}} = \frac{\pi d_{\text{сем}}}{2} \left(d_{\text{сем}} - \sqrt{d_{\text{сем}}^2 - d_{\text{яч}}^2} \right), \quad (2)$$

где $d_{\text{сем}}$ – среднестатистический диаметр семени (в результате эксперимента определили, что $d_{\text{сем}} = 3,94 \cdot 10^{-3}$ м);

$d_{\text{яч}}$ – диаметр ячейки диска, м (для выбранного диска $d_{\text{яч}} = 0,0025$ м).

После соответствующих преобразований получим формулу для определения присасывающей силы F_{Π} :

$$F_{\Pi} = \frac{k_{\Pi} \cdot \pi \cdot \Delta p \cdot d_{\text{сем}}}{2} \left(d_{\text{сем}} - \sqrt{d_{\text{сем}}^2 - d_{\text{яч}}^2} \right). \quad (3)$$

Присасывающая сила прижимает семя к ячейке и должна его удерживать в ходе вращения высевающего диска. Силы сопротивления, препятствующие удержанию семени в ячейке, представлены на рисунке 2.

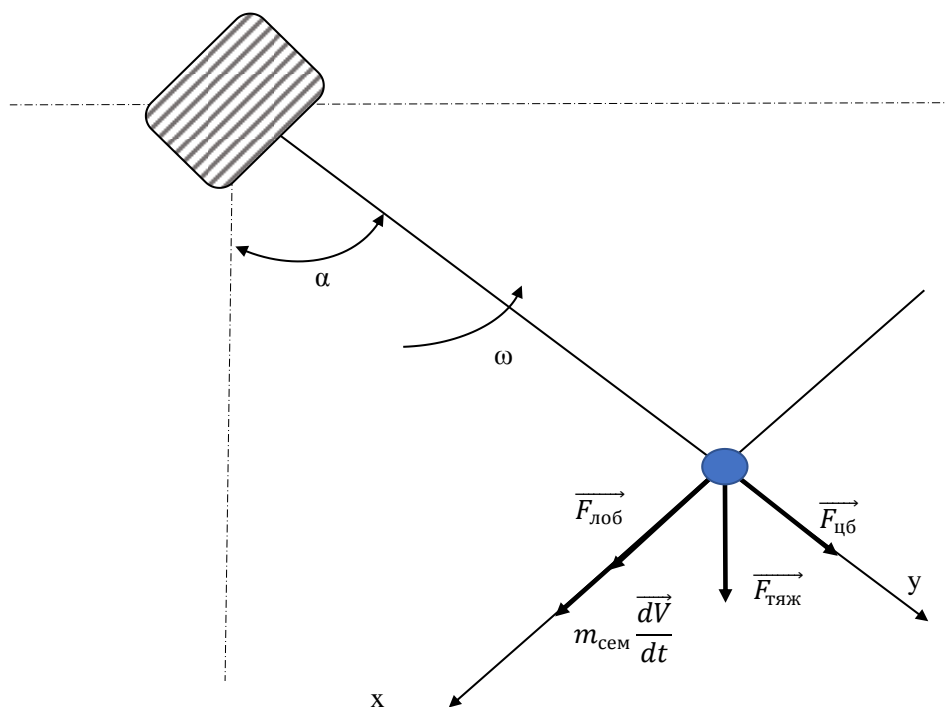


Рис. 2. Силы, действующие на семя в момент присасывания

Как следует из рисунка 2, на семя в первую очередь действует сила его тяжести, которую определяем по формуле [10]

$$F_{\text{тяж}} = m_{\text{сем}} \cdot g, \quad (4)$$

где $m_{\text{сем}}$ – масса одного семени, $m_{\text{сем}} = 2,85 \cdot 10^{-5}$ кг;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,806$ м/с.

Во время присасывания и начала движения семени на него также влияет сила инерции покоя, которая рассчитывается по следующей формуле [3]:

$$m_{\text{сем}} \frac{dV}{dt} = \frac{m_{\text{сем}} (\omega R_{\text{отв}} - \omega R_{\text{в}} f_{\text{тр}})^2}{d_{\text{сем}}}, \quad (5)$$

где ω – угловая скорость вращения диска, рад/с;

$R_{\text{отв}}$ – радиус расположения отверстий, $R_{\text{отв}} = 0,095$ м;

$R_{\text{в}}$ – радиус расположения ворошилок, $R_{\text{в}} = 0,08$ м;

$f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения семени по диску, $f_{\text{тр}} = 0,2$.

Поскольку диск вращается, то логично предположить, что на семя действует еще и центробежная сила, определяемая по формуле

$$F_{\text{цб}} = \omega^2 R_{\text{отв}}. \quad (6)$$

При движении присасываемого семени в толще семян на него действует и лобовое сопротивление сыпучих сред. В работе [8] предложена формула для расчета давления слоя сыпучей среды на внедряемый объект (сошник), которую мы применим к семенному материалу:

$$\sigma_{\text{сем}} = \frac{1 - \sin \tau \cos 2\beta}{1 + \sin \tau \cos 2\beta} (C \cos \tau + \gamma \cdot l \cdot g), \quad (7)$$

где τ – угол внутреннего трения семян, $\tau = 22$ град;

γ – объемная масса семян, $\gamma = 542$ кг/м³;

C – коэффициент сцепления семян, Н/м², примем $C = 0$ Н/м², так как дражированные семена сахарной свеклы не слипаются между собой;

l – высота слоя семян над присасываемой частицей, м.

β – угол наклона площадки разрушения к направлению напряжения, град (в нашем случае это угол укладки семян).

Согласно данным, представленным в работе [11], угол укладки семян определяется из соотношения

$$\frac{\rho}{\gamma} = 4,39 \sin^2 \beta \cos \beta. \quad (8)$$

Для сахарной свеклы плотность составляет $\rho = 890$ кг/м³, отсюда угол $\beta = 49$ град. Высота слоя дражированных семян сахарной свеклы определяется по соотношению

$$l = R_{\text{отв}} - R_{\text{в}}. \quad (9)$$

Рассчитаем силу лобового сопротивления, приложенного к семени, по формуле

$$F_{\text{лоб}} = \sigma_{\text{сем}} \cdot S_{\text{пс}}, \quad (10)$$

где $S_{\text{пс}}$ – площадь поперечного сечения семени, м², определяемая из равенства

$$S_{\text{пс}} = k_{\text{ф}} \frac{\pi d_{\text{сем}}^2}{4}, \quad (11)$$

где $k_{\text{ф}}$ – коэффициент искажения формы (для дражированных семян сахарной свеклы примем $k_{\text{ф}} = 1$).

Далее рассчитаем силу лобового сопротивления по формуле (12)

$$F_{\text{лоб}} = k_{\text{ф}} \cdot \gamma \cdot l \cdot g \cdot \frac{\pi d_{\text{сем}}^2}{4} \cdot \frac{1 - \sin \tau \cos 2\beta}{1 + \sin \tau \cos 2\beta}. \quad (12)$$

После численного нахождения реакции сопротивления составим векторное уравнение результирующей силы сопротивления семени в момент присасывания:

$$\vec{R} = m_{\text{сем}} \left(\vec{g} + \frac{d\vec{V}}{dt} \right) + \vec{F}_{\text{цб}} + \vec{F}_{\text{лоб}}. \quad (13)$$

Через центр семени проведем декартовую систему координат, ось y которой направлена вдоль вектора центробежной силы, ось x – по касательной к траектории движения ячейки диска. Получим уравнение реакций сил вдоль оси абсцисс:

$$R_x = m_{\text{сем}} \left(g \cdot \cos(90 - \alpha) + \frac{dV}{dt} \right) + F_{\text{лоб}}, \quad (14)$$

где α – угол поворота диска, на котором осуществляется присасывание (для исследуемой сеялки $\alpha = 25$ град).

По оси ординат уравнение сил примет следующий вид:

$$R_y = m_{\text{сем}} g \cdot \sin(90 - \alpha) + F_{\text{цб}}. \quad (15)$$

Так как все проекции результирующей силы сопротивления взаимно перпендикулярны [3], определим результирующую силу, используя теорему Пифагора:

$$F_{\text{рез}} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}. \quad (16)$$

При подстановке значений формул получим следующее уравнение:

$$F_{\text{рез}} = \sqrt{\left(m_{\text{сем}} g \cdot \cos \alpha + \omega^2 R_{\text{отв}} \right)^2 + \left(k_{\phi} \cdot \gamma \cdot l \cdot g \cdot \frac{\pi d_{\text{сем}}^2}{4} \cdot \frac{1 - \sin \tau \cos 2\beta}{1 + \sin \tau \cos 2\beta} + m_{\text{сем}} \left(g \cdot \sin \alpha + \frac{(\omega R_{\text{отв}} - \omega R_{\text{втр}})^2}{d_{\text{сем}}} \right) \right)^2}. \quad (17)$$

Подставляя значения коэффициентов и других компонентов формулы, можем найти значение результирующей силы сопротивления, действующей на семена свеклы в высевальном аппарате. Для оценки способности присасывающей силы выдерживать нестабильность сил сопротивления на семя вводим коэффициент запаса присасывающей силы:

$$k_{\text{зап}} = \frac{F_{\Pi}}{F_{\text{рез}}}. \quad (18)$$

Теперь визуализируем это соотношение в виде графика зависимости коэффициента запаса присасывающей силы от угловой скорости диска и создаваемого разрежения (рис. 3).

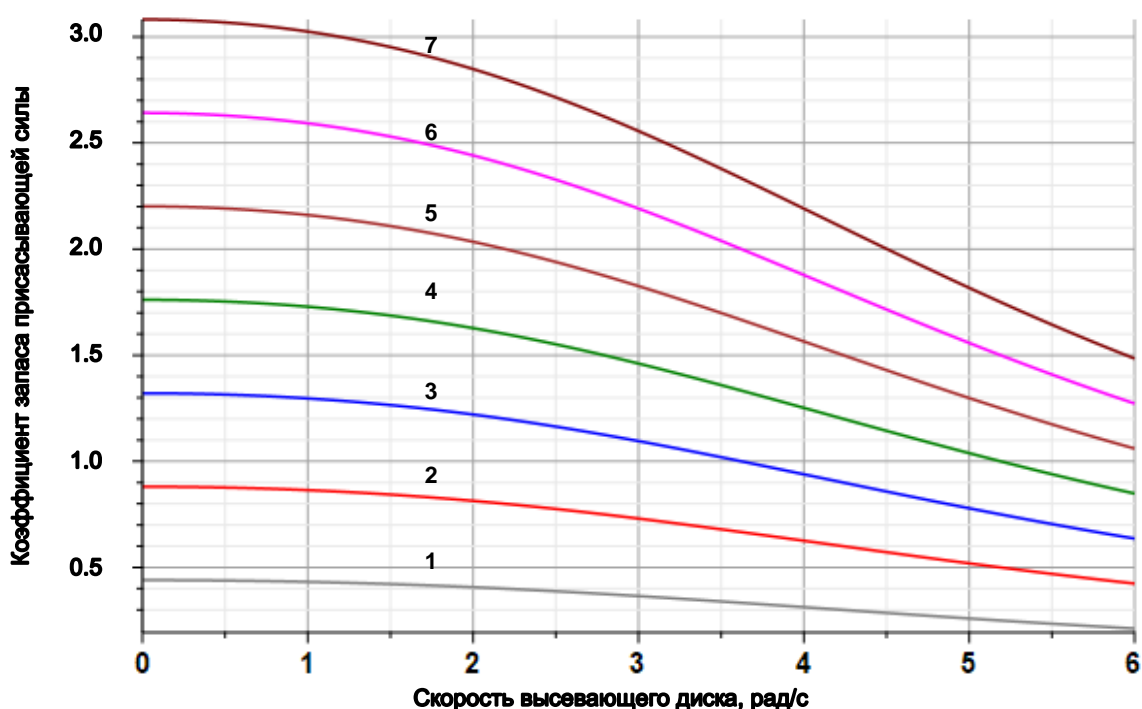


Рис. 3. График зависимости коэффициента запаса присасывающей силы от угловой скорости и глубины разрежения: 1 – 100 Па; 2 – 200 Па; 3 – 300 Па; 4 – 400 Па; 5 – 500 Па; 6 – 600 Па; 7 – 700 Па

На графике видим, что коэффициент запаса присасывающей силы растет в соответствии с увеличением значения разрежения в системе, а при увеличении угловой скорости коэффициент запаса присасывающей силы снижается по зависимости, близкой к экспоненциальной. В связи с этим выдвигаем предположение, что данная зависимость может быть подтверждена эмпирическими данными. Для этого вынесем на один график показатели коэффициента заполнения и коэффициента запаса присасывающей силы и проведем визуальную оценку сформулированной гипотезы.

Эксперимент по определению коэффициента заполняемости отверстий диска в зависимости от средней скорости диска и разрежения в вакуумной камере был проведен на установке лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей [15]. Методика экспериментальных исследований частично изложена в работе [6]. На установке с помощью регулятора выставляем требуемое значение разрежения, которое контролируем с помощью вакуумметра, установленного на выходе из камеры разрежения. Затем включаем привод высевающего диска и регулируем частоту с помощью частотного регулятора.

После установки вышеперечисленных показателей на требуемую величину, согласно методике опыта, собираем в течение минуты количество высеваемых семян. Полученную порцию взвешиваем на весах, значение записываем в журнал. С целью снижения абсолютной погрешности эксперимент проводится в трехразовой повторности. Оценку достоверности гипотезы проверяем с помощью критерия Стьюдента [10, 17]. После чего меняем значение разрежения и проводим исследования на разных скоростных режимах.

Результаты, зафиксированные в лабораторном журнале в формате Excel, подвергаем статистической обработке, выявляя закономерности и подбирая аппроксимирующие функции в программе математического программирования Maple [9, 13]. Точки, полученные в результате эксперимента, изображены на графике (рис. 4).

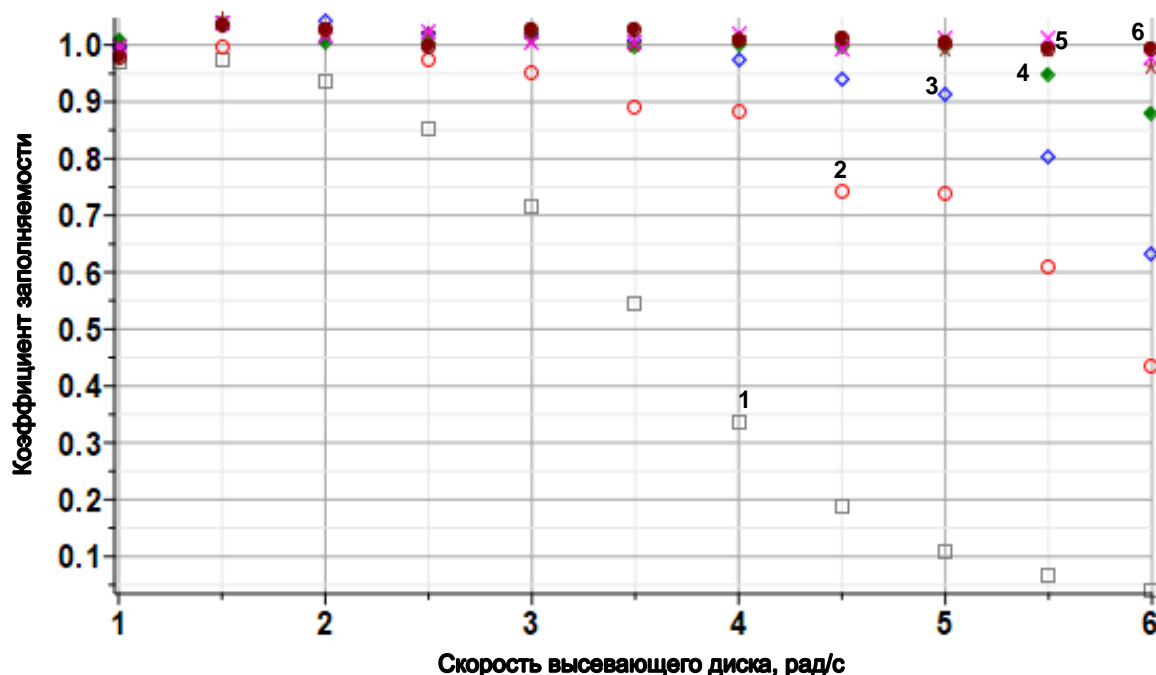


Рис. 4. Эмпирические кривые зависимости коэффициента заполняемости от скорости диска и разрежения: 1 – 100 Па; 2 – 200 Па; 3 – 300 Па; 4 – 400 Па; 5 – 500 Па; 6 – 600 Па

Полученные экспериментальные точки зависимости коэффициента заполняемости от создаваемого разрежения и угловой скорости диска подчиняются экспоненциальной зависимости, близкой к распределению Гаусса. Согласно выводам по теоретической модели высевающего аппарата сопоставим значения коэффициента запаса присасывающей силы и коэффициента заполняемости. Для этого нанесем экспериментальные точки на график зависимости коэффициента запаса присасывающей силы от создаваемого разрежения и угловой скорости диска (рис. 5).

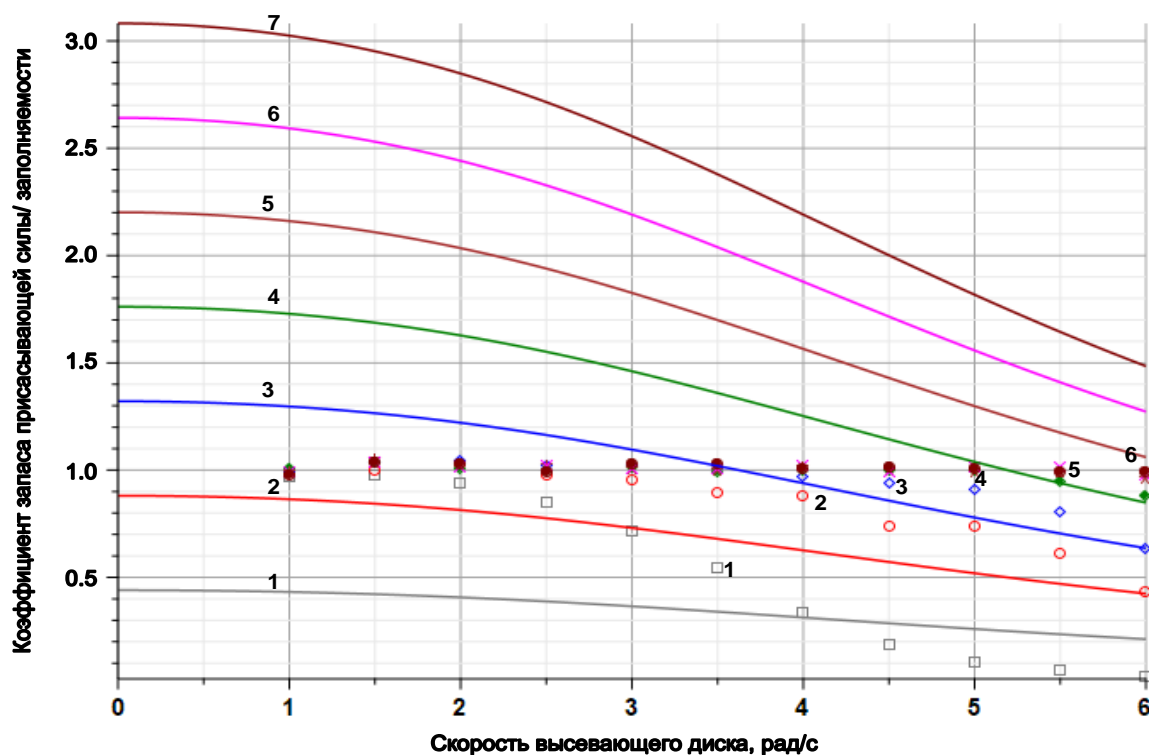


Рис. 5. Корреляция коэффициента запаса присасывающей силы и коэффициента заполнения с учетом эмпирических данных.
 Теоретические кривые коэффициента запаса присасывающей силы при разрежении:
 1 – 100 Па; 2 – 200 Па; 3 – 300 Па; 4 – 400 Па; 5 – 500 Па; 6 – 600 Па; 7 – 700 Па.
 Эмпирические точки зависимости коэффициента заполнения при разрежении:
 1 – 100 Па; 2 – 200 Па; 3 – 300 Па; 4 – 400 Па; 5 – 500 Па; 6 – 600 Па; 7 – 700 Па

Как следует из данных, приведенных на рисунке 5, при низких значениях разрежения эмпирические точки коэффициента заполнения распределены и выше, и ниже графика коэффициента запаса присасывающей силы, то есть заполняемость ячеек диска возможна, но с низкой вероятностью. При значении разрежения в 300 Па кривая коэффициента запаса присасывающей силы лежит в окрестностях эмпирических точек, что подтверждает нашу гипотезу. При значениях выше 400 Па кривая коэффициента запаса присасывающей силы лежит выше точек коэффициента заполнения, что свидетельствует о том, что семена присасываются с большей надежностью и точность высева будет в меньшей степени зависеть от дополнительных сил сопротивления, возникающих случайным образом.

Выводы

В результате теоретического расчета и экспериментальной проверки делаем вывод, что значение разрежения в высевающем аппарате стоит выбирать таким образом, чтобы закладывать коэффициент запаса присасывающей силы больше 1, поскольку при значении коэффициента < 1 показания заполняемости ячеек диска могут быть гораздо ниже ожидаемых.

Уточненные формулы расчета коэффициента запаса присасывающей силы (3), (17), (18) позволяют спрогнозировать коэффициент заполнения, так как коэффициент запаса присасывающей силы напрямую влияет на вероятность заполнения ячеек диска, что подтверждено эмпирически. Чтобы коэффициент заполнения был на уровне 97% и выше, необходимо закладывать коэффициент запаса присасывающей силы от 1,5 до 2,5, что соответствует значению разрежения 400–600 Па. Полученные результаты исследования могут быть использованы при подборе вентилятора, создающего разрежение на сеялках.

Список источников

1. Айкель Г., Кюпер Й.-М. Сеялка Lemken Azurit 9/8.75 K [Электронный ресурс] // Журнал AgroReport. URL: <https://agroreport.ru/test-drives/seyalka-lemken-azurit-9-8-75-k-d/> (дата обращения: 17.04.2022).
2. Александров П.С., Маркушевич А.И., Хинчин А.Я. Энциклопедия элементарной математики. Книга 4. Геометрия. Москва: Физматгиз, 1963. 568 с.
3. Бертов А.А. Обоснование рациональной конструкции ворошилки пневматического высевающего аппарата // Тракторы и сельхозмашины. 1986. № 5. С. 34–35.
4. Василенко С.В., Василенко В.В., Гиевский А.М. Расчет процесса дозирования семян пневматическим высевающим аппаратом // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции (Россия, Воронеж, 25 февраля 2021 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. Ч. I. С. 15–22.
5. Высевающая секция пневматической сеялки точного высева: патент на полезную модель 212300 Рос. Федерация. № 2022110035; заявл. 12.04.2022; опубл. 14.07.2022, Бюл. № 20. 6 с.
6. Гиевский А.М., Солдатов Ю.И. Обоснование выбора высевающего диска для посева сахарной свеклы на семенные цели // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14, № 2(69). С. 36–41. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_2_36.
7. Завражнов А.И., Горшенин В.И., Соловьев С.В. и др. Ресурсосберегающая технология и техника производства сахарной свеклы: монография. Санкт-Петербург: Лань, 2019. 164 с.
8. Капов С.Н., Адуов М.А., Нукушева С.А. Определение тягового сопротивления сошника для подпочвенно-разбросного посева семян // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2012. № 1. С. 72–78.
9. Краткое пособие по Maple [Электронный ресурс] // Электронные пособия. URL: <http://mif.vspu.ru/books/mapletut/page3.html> (дата обращения: 21.01.2023).
10. Ларионов А.Н., Воищев В.С., Ларионова Н.Н. и др. Физика: учебно-методическое пособие. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. 115 с.
11. Несмиян А.Ю. Обоснование модели сыпучих сред // Вестник аграрной науки Дона. 2013. № 3(23). С. 25–34.
12. Пневматический аппарат для двурядного высева пропашных культур: патент на изобретение 2790664 Рос. Федерация. № 2022123687; заявл. 06.09.2022; опубл. 28.02.2023, Бюл. № 7. 6 с.
13. Программа расчета коэффициента заполняемости отверстий высевающего диска: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2022680384 Рос. Федерация. № 2022680384; заявл. 31.10.2022; опубл. 31.10.2022. 1 с.
14. Сеялка Lemken Azurit 9 [Электронный ресурс] // Портал для дистрибьюторов. LEMKEN GmbH & Co. KG. URL: <https://lemken.com/ru/posevnaja-tehnika/sejalki-tochnogo-vyseva/azurit-9/> (дата обращения: 20.04.2022).
15. Стенд для испытания высевающих аппаратов однозернового высева: патент на полезную модель 203635 Рос. Федерация. № 2020133549; заявл. 12.10.2020; опубл. 14.04.2021, Бюл. № 11. 4 с.
16. ТС-М-4150А Многоцелевая пневматическая сеялка точного высева для пропашных культур [Электронный ресурс] // Техника и сервис: Интернет-портал. URL: <https://tese.ru/products/tsm4150A/index.html> (дата обращения: 23.04.2023).
17. Шацкий В.П., Москалев П.В., Гриднева И.В. и др. Высшая математика в агроинженерии: учебное пособие. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. 308 с.
18. Яковец А.В., Шумаков В.В. Физико-механические свойства семян пропашных культур // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2011. № 3(22). С. 68–72.

References

1. Aikel G., Cooper Y.-M. Seyalka Lemken Azurit 9/8.75 K. Zhurnal Agro Report [Lemken Azurit 9/8.75 K Seeder. Agro Report Magazine]. URL: <https://agroreport.ru/test-drives/seyalka-lemken-azurit-9-8-75-k-d/>. (In Russ.).
2. Aleksandrov P.S., Markushevich A.I., Khinchin A.Ya. Entsiklopediya elementarnoj matematiki. Kniga 4. Geometriya [Encyclopedia of Elementary Mathematics. Book 4. Geometry]. Moscow: Fizmatgiz; 1963. 568 p. (In Russ.).
3. Bertov A.A. Obosnovanie ratsional'noj konstruksii voroshilki pnevmaticheskogo vysevayushchego apparata [Justification of the rational design of the pneumatic seeding machine agitator]. *Traktory i sel'khoz mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 1986;5:34-35. (In Russ.).
4. Vasilenko S.V., Vasilenko V.V., Gievsky A.M. Raschyot protsessa dozirovaniya semyan pnevmaticheskim vysevayushchim apparatom. Tendentsii razvitiya tekhnicheskikh sredstv i tekhnologij v APK: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Voronezh, 25 fevralya 2021 g.) [Calculation of the seed dosing process by a pneumatic seeding machine. Trends in the development of technical means and technologies in Agro-Industrial Complex: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference (Voronezh, February 25, 2021)]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2021;1:15-22. (In Russ.).
5. Vysevayushchaya sektsiya pnevmaticheskoy seyalki tochnogo vyseva [The seeding section of the pneumatic precision seeding drill]: patent na poleznyuyu model' 212300 Ros. Federatsiya. № 2022110035; zayavleno 12.04.2022; opublikovano 14.07.2022. Byul. № 20 = Utility Model Patent 212300 Russian Federation. No. 2022110035, claimed 12.04.2022; published 14.07.2022. Bulletin 20. 6 p. (In Russ.).

6. Gievsky A.M., Soldatov Yu.I. Obosnovanie vybora vysewayushchego diska dlya poseva sakharnoj svekly na semennye tseli [Rationale for choosing feed disk for sowing sugar beet grown for seeds]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2021;14(2);36-41. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_2_36. (In Russ.).
7. Zavrazhnov A.I., Gorshenin V.I., Soloviev S.V. et al. Resursosberegayuschaya tekhnologiya i tekhnika proizvodstva sakharnoy svekly: monografiya [Resource-saving technology and technology of sugar beet production: monograph]. Saint-Petersburg: Lan' Press; 2019. 164 p. (In Russ.).
8. Kapov S.N., Aduov M.A., Nukusheva S.A. Opredelenie tyagovogo soprotivleniya soshnika dlya podpochvenno-razbrosnogo poseva semyan [On determining the traction resistance of the coulter for subsurface scattered sowing of seeds]. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina = Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University*. 2012;1;72-78. (In Russ.).
9. Kratkoe posobie po Maple. Elektronnye posobiya [A short guide to Maple. E-study guide]. URL: <http://mif.vspu.ru/books/mapletut/page3.html>. (In Russ.).
10. Larionov A.N., Voishchev V.S., Larionova N.N. et al. Fizika: uchebno-metodicheskoe posobie [Physics: educational and methodical study guide]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2022. 115 p. (In Russ.).
11. Nesmiyan A.Yu. Obosnovanie modeli sypuchikh sred [Substantiation of loose granular medium model]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona = Don Agrarian Science Bulletin*. 2013;3(23);25-34. (In Russ.).
12. Pnevmaticheskij apparat dlya dvustrochnogo vyseva propashnykh kultur [Pneumatic apparatus for double-row sowing of row crops]: Patent na poleznuyu model' 2790664 Ros. Federatsiya. № 2022123687; zayavleno 06.09.2022; opublikovano 28.02.2023, Byul. № 7 = Utility Model Patent 2790664 Russian Federation. No. 2022123687, claimed 06.09.2022; published 28.02.2023. Bulletin 7. 6 p. (In Russ.).
13. Programma rascheta koeffitsienta zapolnyaemosti otverstij vysewayushchego diska [The program for calculating the filling factor of the holes of the sowing disc]: patent na poleznuyu model' 2022680384 Ros. Federatsiya. № 2022680384; zayavleno 31.10.2022; opublikovano 31.10.2022 = Utility Model Patent 2022680384 Russian Federation. No. 2022680384, claimed 31.10.2022; published 31.10.2022. 1 p. (In Russ.).
14. Seyalka Lemken Azurit 9. Portal dlya distrib'yutorov. Kompaniya LEMKEN GmbH & Co. KG [Lemken Azurit 9 seeder. Official website of Lemken. The Agrovision Company]. URL: <https://lemken.com/ru/posevnaja-tekhnika/sejalki-tochnogo-vyseva/azurit-9/>. (In Russ.).
15. Stend dlya ispytaniya vysewayuschikh apparatov odnozernovogo vyseva [Testing facility for single-grain seeding machines]: patent na poleznuyu model' 203635 Ros. Federatsiya. №2020133549; zayavleno 12.10.2020; opublikovano 14.04.2021. Byul. № 11 = Utility model patent 203635 Russian Federation. No. 2020133549, claimed 12.10.2020; published 14.04.2021. Bulletin 11. 4 p. (In Russ.).
16. TC-M-4150A Mnogotselevaya pnevmaticheskaya seyalka tochnogo vyseva dlya propashnykh kultur. Tekhnika i servis: Internet-portal [TS-M-4150A Multipurpose pneumatic precision seeder for row crops. Equipment and service: Internet portal]. URL: <https://tese.ru/products/tsm4150A/index.html>. (In Russ.).
17. Shatsky V.P., Moskalev P.V., Gridneva I.V. et al. Vysshaya matematika v agroinzhenerii: uchebnoe posobie [Higher Mathematics in agricultural engineering: textbook]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2020. 308 p. (In Russ.).
18. Yakovets A.V., Shumakov V.V. Fiziko-mekhanicheskie svoystva semyan propashnykh kul'tur [Physical and mechanical properties of seeds of tilled crops]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2011;3(22);68–72 (In Russ.).

Информация об авторах

А.М. Гиевский – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», aleksej.gievskij@mail.ru.

Ю.И. Солдатов – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», general-soldatov@mail.ru.

Information about the authors

A.M. Gievsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, aleksej.gievskij@mail.ru.

Yu.I. Soldatov, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, general-soldatov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 04.05.2023; одобрена после рецензирования 06.06.2023; принята к публикации 28.06.2023.

The article was submitted 04.05.2023; approved after reviewing 06.06.2023; accepted for publication 28.06.2023.

© Гиевский А.М., Солдатов Ю.И., 2023