DOI: 10.65322/j.srd.02162026.25

УДК 631.331.8

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ НЕСЫПУЧИХ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА С ВИБРАЦИОННЫМ БУНКЕРОМ

***Калашников В.А.**, PhD, старший преподаватель,*
E-mail: v.kalashnikov.1991@gmail.com,
Андижанский государственный технический институт

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы обеспечения равномерного высева опушенных семян хлопчатника, обладающих низкой сыпучестью. Проведен анализ влияния конструктивных и режимных параметров бункера, высевающего аппарата и ворошителя на процесс подачи семян. На основе теоретических и экспериментальных исследований обоснованы рациональные значения угла наклона стенок бункера, параметров вибрации, геометрии и режима работы ворошителя. Полученные результаты позволяют снизить сводообразование и повысить равномерность высева.*

Annotatsiya. *Maqolada past sochiluvchanlikka ega bo‘lgan tukli paxta chigitlarini bir tekis ekishni ta’minlash masalalari ko‘rib chiqilgan. Bunker, ekish apparati va aralashtirgichning konstruktiv hamda ish rejim parametrlarining chigitlarni uzatish jarayoniga ta’siri tahlil qilingan. Nazariy va tajribaviy tadqiqotlar asosida bunker devorlarining og‘ish burchagi, tebranish parametrlarining maqbul qiymatlari, shuningdek aralashtirgichning geometrik o‘lchamlari va ish rejimi asoslab berilgan. Olingan natijalar chigitlarning ko‘priklanishini kamaytirish va ekishning bir tekisligini oshirish imkonini beradi.*

Abstract. *The article addresses the issues of ensuring uniform sowing of fuzzy cotton seeds characterized by low flowability. An analysis of the influence of structural and operational parameters of the hopper, metering device, and agitator on the seed feeding process is carried out. Based on theoretical and experimental studies, rational values of the hopper wall inclination angle, vibration parameters, as well as the geometry and operating mode of the agitator are substantiated. The obtained results make it possible to reduce arching and improve the uniformity of sowing.*

Ключевые слова: *хлопчатник, семена, высевающий аппарат, бункер, вибрация, ворошитель, равномерность.*

Kalit so‘zlar: *paxta, chigit, ekish apparati, bunker, tebranish, aralashtirgich, bir tekislik.*

Keywords: *cotton, seeds, metering device, hopper, vibration, agitator, uniformity.*

Введение. Одной из важных задач механизации селекционного семеноводства хлопчатника является обеспечение равномерного высева семян малых партий. Особенностью таких семян является наличие остаточной волокнистости, вследствие чего они обладают повышенной сцепляемостью и склонны к образованию устойчивых сводов при хранении и перемещении [1–3].

Для условий Республики Узбекистан, где хлопководство является стратегической отраслью экономики, развитие первичного семеноводства и создание новых скороспелых сортов имеет приоритетное значение. Эффективность селекционного процесса в климатических зонах региона напрямую зависит от качества полевых опытов, что требует высокой точности высева деляночных партий семян. Однако специфические физико-механические свойства семян местной селекции, в частности их высокая опушенность, затрудняют использование стандартных высевающих систем.

В процессе высева такие семена часто зависают в бункере, не поступают к рабочим органам и образуют «мертвые зоны», что приводит к значительной неравномерности высева. Теоретические и экспериментальные исследования движения сыпучих материалов

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.25

в бункерах показывают, что при определенных условиях возможно образование устойчивых сводов, препятствующих истечению материала [4, 5].

Анализ конструкций существующих высевающих аппаратов [7–9] показывает, что наиболее широкое распространение получили катушечные аппараты с горизонтальной осью вращения, однако их работа при высеве опушенных семян недостаточно стабильна [7, 8]. Это обусловлено отсутствием устройств, обеспечивающих разрушение сводообразований и принудительную подачу семян к зоне захвата.

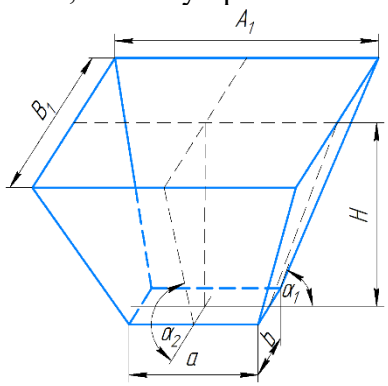
В связи с этим возникает необходимость разработки конструкции высевающего аппарата, обеспечивающего устойчивый и равномерный высев несыпучих семян.

Цель исследования. Обоснование параметров бункера, высевающей катушки и ворошителя, а также режимов их работы, обеспечивающих равномерный высев опушенных семян хлопчатника.

Материалы и методы. *Обоснование формы и параметров бункера.* Работа высевающего аппарата во многом определяется условиями подачи семян из бункера к рабочим органам. Для обеспечения непрерывного захвата семян высевающей катушкой необходимо, чтобы форма бункера исключала образование застойных зон.

Установлено, что наилучшим образом этим условиям удовлетворяет бункер в виде усеченной пирамиды с прямыми стенками (рис. 1). При этом нижняя часть бункера должна иметь щелевидное отверстие, охватывающее рабочую часть катушки.

Для обеспечения самотечного движения семян угол наклона стенок бункера должен превышать угол трения [1, 2] покоя семян о материал стенок. Для опушенных семян хлопчатника этот угол достигает 65°, поэтому принимаем: $\alpha \geq 65°$ [1].



$H_б$ - высота бункера; a, b - длина и ширина малого основания; A_1,B_1 - длина и ширина большого основания; α_1 - угол наклона передней и задней стенок; α_2 - угол наклона боковых стенок

Рис. 1. Бункер для селекционных семян хлопчатника

Для осуществления высева семян без дробления катушкой серийного аппарата, необходимо чтобы радиальный зазор между кромкой высевного окна и наружным радиусом катушки Δ был не менее 5 мм (рис. 2), а превышение зуба катушки над дном аппарата h должно быть минимальным ($h \leq 7$ мм), во избежание образования «мертвого» пространства между стенками бункера и торцом катушки заполняемого семенами.

Для определения общей длины высевной щели бункера α рассмотрим треугольники 0BL и 0LM (рис. 2).

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.25

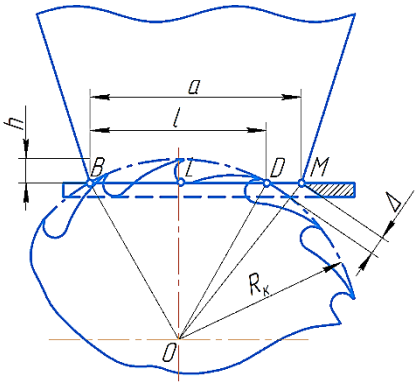


Рис. 2. Схема к определению наибольшего размера дна бункера

Из треугольника OBL сторона $0L = R - h$

$$BL = \frac{l}{2} = \sqrt{R^2 - (R-h)^2}$$

А из треугольника 0LM сторона $LM = \sqrt{(R+\Delta)^2 - (R-h)^2}$

Тогда общая длина рабочей щели составит

$$\alpha = BL + LM = \sqrt{R^2 - \left(R-h\right)^2} + \sqrt{(R+\Delta)^2 - (R-h)^2}$$

Подставляя в формулу значения R = 53 мм, h = 7 мм, Δ = 5 мм, найдем общую длину рабочей щели, а следовательно, и длину прямоугольного основания бункера α, которая равна 60 мм.

Обоснование параметров ворошителя. Для разрушения сводообразований в бункере применяется лопастной ворошитель, установленный на горизонтальном валу. Его основное назначение — разрыхление семенной массы и обеспечение непрерывной подачи семян к катушке.

Длина лопасти определяется из условия предотвращения повреждения семян при взаимодействии с элементами конструкции (рис. 3):

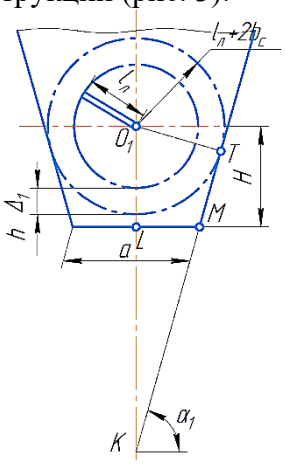


Рис. 3. Схема к определению длины лопасти ворошителя

Из точки М на краю высевной щели проведем луч, касательный к построенной окружности в точке Т и продолжим его вниз до пересечения с вертикалью в точке К. При этом стенка бункера будет лежать в направлении луча КТ под некоторым углом α_1 к горизонтали.

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.25

Рассмотрим стороны полученного треугольника O_1KT учитывая, что $2b_c = \Delta_1$ зазор между лопастью и стенкой бункера, а также наружным радиусом высевающей катушки;

$l_л$ - длина лопасти ворошителя (расстояние от центра до конца лопасти).

Сторона $KL = 0{,}5atg\alpha_1$, по построению из треугольника KLM из треугольника O_1KT имеем:

$$O_1T = O_1K\cos\alpha_1$$

или

$$O_1T = l_л + \Delta_1 = (0{,}5atg\alpha_1 + h + \Delta_1)\cos\alpha_1 + l_л\cos\alpha_1,$$

откуда

$$l_л = \frac{0{,}5\alpha\sin\alpha_1 + (h + \Delta_1)\cos\alpha_1 - \Delta_1}{1 - \cos\alpha_1}$$

По этой формуле находим длину лопасти $l_л$ в зависимости от угла наклона стенки бункера при значениях $LM = 0{,}5\alpha = 30$мм, $2b_c = \Delta_1 = 11$мм, $h = 7$ мм. Для лучшего схода семян по стенкам бункера значение угла наклона их к горизонтали α_1 принимаем больше угла трения φ семян о его стенки (рис. 4).

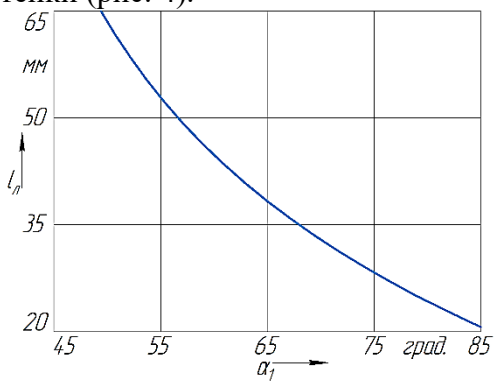


Рис. 4. К выбору длины лопасти ворошителя

Из рисунка 4 видно, что с увеличением угла наклона стенки бункера длина лопасти $l_л$ ворошителя уменьшается.

Как было сказано выше при очистке аппарата от оставшихся семян, бункер поднимают вверх и отклоняют в сторону, при этом ворошитель, оставаясь на месте, должен свободно проходить через высевную щель, длина которой для нашего случая равна $\alpha = 60$ мм, т.е. длина лопасти ворошителя должна быть меньше 30 мм. Отсюда выбираем $l_л \leq 29$ мм, которой соответствуют углы наклона передней и задней стенок бункера $\alpha_1 = 75°$.

Высоту расположения центра ворошителя $H = O_1L$ над основанием определим из следующего выражения:

$$H = l_л + h + \Delta_1$$

Число лопастей и режим работы. Анализ движения лопасти в различных квадрантах (рис. 5) показывает, что подача семян осуществляется лишь в течение половины оборота. Это означает, что для обеспечения непрерывной подачи необходимо использовать не менее двух лопастей.

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.25

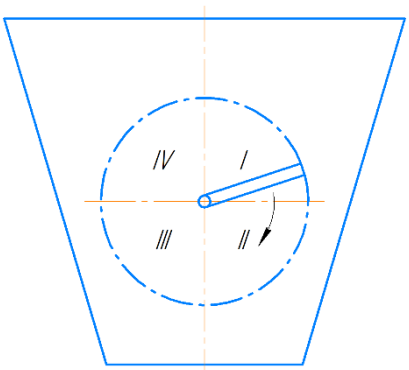


Рис.5. Схема к определению числа лопастей ворошителя

Однако увеличение их числа приводит к усложнению очистки аппарата. Теоретически целесообразно использовать 2–3 лопасти.

Обоснование скоростных режимов. Для обеспечения равномерной подачи семян необходимо согласование работы ворошителя и высевающей катушки. Это условие можно записать в виде:

$$\omega_b = \frac{m_к}{m_b}\omega_к$$

где ω_b, $\omega_к$ - угловые скорости ворошителя и катушки; $m_к$ - количество семян, высеваемое за 1 полный оборот высевающей катушки; m_b - количество семян, подаваемое за 1 полный оборот ворошителем.

где массы подаваемых и захватываемых семян должны быть равны.

После преобразований получаем:

$$\omega_b = \frac{2m_n \cdot V_c \cdot W_c}{S_л\left(l-\varepsilon\right)\left[\left(l_л + h_{ак} - r_b\right)^2 - Z_л\delta_л\left(l_л - r_b\right)\right]}$$

Задаваясь значениями, например, для рядового способа посева: m_n = 30 шт/м., V_c = 1,66 м/с, $W_c = 75\cdot10^{-8}$ м^3, ε = 0,10, l = 0,028 м, $h_{ак}$=0,006 м, r_b = 0,008 м, $Z_л$ = 3 шт., δ = 0,003 м и изменяя $S_л$ от 0,005 м до 0,020 м, находим уменьшение угловой скорости ω_b с 32 до 9 рад/с.

Расчеты показывают, что при увеличении угловой скорости более 19–20 рад/с начинается выбрасывание семян.

Влияние вибрации. Опушенные семена склонны к образованию устойчивых сводов [4, 5], которые не всегда разрушаются только ворошителем. Для устранения этого явления используется вибрация бункера.

Под действием вибрации уменьшаются силы сцепления между частицами, и семена переходят в более подвижное состояние [10].

Значение амплитуды колебаний не должно превышать ширины семени отстоящего от халазального конца, на $\frac{5}{6}$ части его длины, который у селекционных семян в среднем составляет 2,7.3 мм, чтобы семена в момент поднятия бункера при колебаниях не попали в зазор между нижней кромкой основания и его дном, иначе семена или повредятся, или прекратятся колебания. Следовательно, амплитуда колебаний бункера не должна превышать 3 мм.

Экспериментальные исследования. Методика и оборудование. Для проверки теоретических положений проведены экспериментальные исследования на лабораторном

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.25

стенде (рис. 6), который состоял из следующих основных узлов; стенда с транспортерной гибкой лентой, покрытой солидолом, электродвигателей и вариатора.

На стенде установлены два электродвигателя: один постоянного тока M_2 был предназначен для привода гнездующего устройства аппарата через цепную передачу, другой - переменного тока M_1 для привода транспортерной ленты через бесступенчатый вариатор.

Привод катушки, ворошителя и виброролика высевающего аппарата на раме стенда осуществляли от электродвигателя постоянного тока малой мощности M_3, который получал питание от выпрямителя переменного тока через реостат.

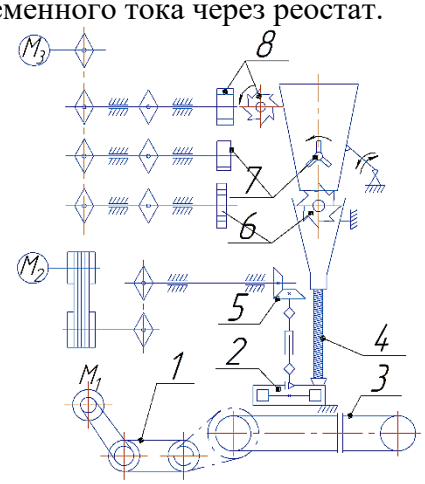


Рис. 6. Схема стенда для экспериментальных исследований высевающего аппарата: M_1 - электродвигатель переменного тока; M_2, M_3- электродвигатель постоянного тока; 1-вариатор; 2-гнездующий аппарат; 3-липкий ленточный транспортер; 4-семяпровод; 5-коническая пара шестерен; 6-высевающая катушка; 7-ворошитель; 8-виброролик

Скорость движения ленты изменялась в пределах 0,8–1,7 м/с, угловые скорости рабочих органов — 4–15 рад/с.

Влияние угла бункера. Эксперименты показали, что с увеличением угла наклона стенок бункера уменьшается остаток семян (рис. 7). В диапазоне 65–75° остаток минимален, что подтверждает теоретические предположения.

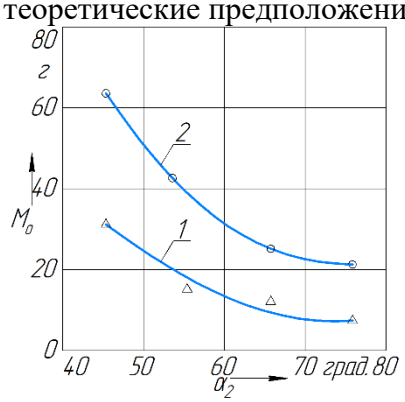
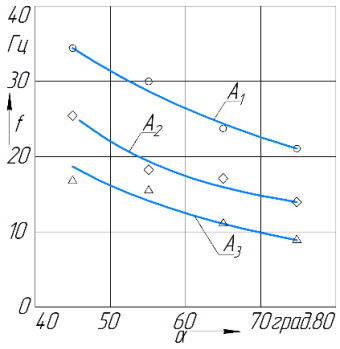


Рис. 7. Масса M_0 оставшихся семян в бункере в зависимости от угла наклона его боковых стенок α: 1,2-соответственно, при опушенности семян 6,9 и 13,1%

Влияние вибрации. Установлено, что при увеличении амплитуды колебаний требуемая частота снижается (рис. 8). При амплитуде 3 мм и частоте 12 Гц достигается полное опорожнение бункера без сводообразования.

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.25



1 – A_1 = 1 мм; 2 - A_2 = 2 мм; 3 – A_3 = 3 мм

Рис. 8. Частота колебаний бункера в зависимости от амплитуды упорной пластины

Параметры ворошителя

Число лопастей. Наиболее равномерный высев обеспечивается при трехлопастном ворошителе (табл. 1), при этом достигается до 70% гнезд с заданным количеством семян.

Таблица 1

Количество семян в гнезде, шт.	Содержание гнезд при количестве лопастей ворошителя, %				
	1 шт.	2 шт.	3 шт.	4 шт.	5 шт.
0	22	8	1	3	-
1	28	12	5	3	5
2	14	17	5	9	7
3	13	12	19	21	16
4	6	11	22	12	18
5	7	14	14	17	20
6	6	10	7	11	13
7	2	6	8	12	7
8	1	5	7	9	5
9	1	3	8	3	4
10 и более	-	2	4	-	5
Гнезд с числом семян					
5 ± 2 шт.	34	53	70	73	74

Ширина лопасти. С увеличением ширины лопасти равномерность высева возрастает, однако увеличивается остаток семян (рис. 9). Оптимальным является значение 15 мм.

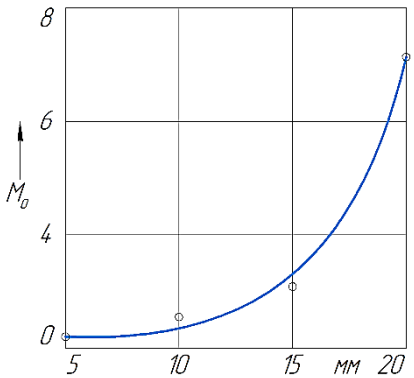


Рис. 9. Остаток семян в зависимости от ширины лопасти

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.25

Угловая скорость. При скорости около 9,4 рад/с обеспечивается устойчивый процесс высева. При дальнейшем увеличении наблюдается скручивание семян (рис. 10).

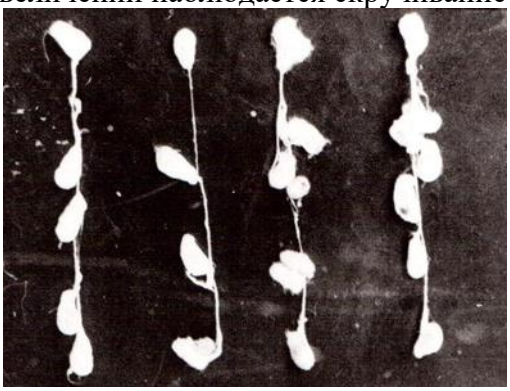


Рис. 10. Цепочка семян при увеличении угловой скорости ворошителя более 12 рад/с

Параметры катушки. Экспериментально установлено, что наилучшие показатели достигаются при ширине катушки 6 мм (табл. 2), при которой обеспечивается до 76% равномерных гнезд [7].

Таблица 2

Параметры катушки

Количество семян в гнезде, шт.	Ширина высевающей катушки, мм			
	3	6	9	12
0	1	-	-	-
1	9	6	4	3
2	12	9	8	7
3	12	12	10	10
4	14	17	14	13
5	17	21	17	16
6	16	16	15	15
7	9	10	14	13
8	6	6	9	10
9	4	2	3	7
10	1	1	3	3
11	-	-	2	2
12	-	-	1	1
Гнезд с числом семян				
5 ± 2 шт.	68	76	70	67

Обсуждение результатов. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных подтверждает корректность принятых допущений (расхождение в пределах 7–12%). Наибольшее влияние на равномерность высева оказывают углы наклона стенок бункера, параметры вибрации и конструкция ворошителя с катушкой.

Экспериментально установлено, что оптимальный угол наклона стенок бункера составляет 65–75°, при котором остаток семян минимален (менее 5%). Вибрация с амплитудой 3 мм и частотой 12 Гц обеспечивает полное опорожнение бункера без сводообразования. Трёхлопастной ворошитель (длина лопасти 28 мм, ширина 15 мм, ω=9,4 рад/с) даёт 70% качественных гнезд, что значительно выше показателей одно- и двухлопастных аналогов (34% и 53% соответственно). При превышении ω > 12 рад/с наблюдается «скручивание» семян, при снижении ω < 8 рад/с — пульсирующая подача.

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.25

Совместное применение обоснованных параметров повышает равномерность высева до 70–76%. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации селекционных сеялок.

Выводы.

1. На основе теоретических исследований установлено, что для обеспечения устойчивого самотечного движения опушенных семян хлопчатника угол наклона стенок бункера должен составлять не менее 65°. Экспериментально подтверждено, что при углах 65–75° остаток семян в бункере минимален (менее 5% от исходной массы) независимо от степени опушенности (6,9–13,1%).

2. Определены рациональные параметры вибрационного воздействия: амплитуда колебаний бункера не более 3 мм (ограничение обусловлено размером семян и исключением их защемления), частота 12 Гц. При данных режимах обеспечивается полное опорожнение бункера без образования устойчивых сводов.

3. Обоснованы конструктивные параметры лопастного ворошителя: длина лопасти 28 мм (обеспечивает свободный проход через высевную щель при очистке), ширина 15 мм (оптимум по критериям равномерности и остатка семян), количество лопастей — 3 шт. Экспериментально показано, что трехлопастной ворошитель обеспечивает 70% гнезд с заданным количеством семян (5±2 шт.), тогда как одно- и двухлопастные — лишь 34% и 53% соответственно.

4. Установлено, что рациональная угловая скорость ворошителя составляет 9,4 рад/с. Превышение до 12 рад/с приводит к «скручиванию» семян в цепочки и нарушению равномерности высева; снижение менее 8 рад/с — к пульсирующей подаче и образованию сводов.

5. Экспериментально обоснована оптимальная ширина высевающей катушки — 6 мм, при которой доля гнезд с числом семян 5±2 шт. достигает 76%. Увеличение ширины до 9–12 мм снижает равномерность до 70–67%, а уменьшение до 3 мм — до 68%.

6. Совместное применение обоснованных параметров (угол бункера 65–75°, вибрация 3 мм / 12 Гц, трехлопастной ворошитель с l=28 мм, b=15 мм, ω=9,4 рад/с, катушка 6 мм) позволяет повысить равномерность высева опушенных семян хлопчатника до 70–76%.

Литературы

1. Воробьев В.А., Ковалев П.В. Почвоведение и механика почв. – М.: КолосС, 2018. – 464 с.

2. Карташов А.А., Бондаренко Н.А. Исследование физико-механических свойств семян сельскохозяйственных культур // Аграрная наука. – 2019. – №6. – С. 45–49.

3. Юсупов Ш.Р., Абдуллаев Б.А. Физико-механические свойства семян хлопчатника // Agro Ilm. – 2022. – №4. – С. 32–36.

4. Григорьев А.М., Лавров И.В. Процессы и аппараты сыпучих материалов. – М.: Инфра-М, 2017. – 320 с.

5. Кузнецов В.В. Механика сыпучих сред. – СПб.: Лань, 2018. – 352 с.

6. Гуляев В.П. Сельскохозяйственные машины. – М.: Лань, 2022. – 140 с.

7. Шишурин С.А. и др. Обзор и анализ работы высевающих аппаратов // Аграрный научный журнал. – 2024. – №3. – С. 287–292.

8. Рахимов А.А. Совершенствование сеялок для хлопчатника // Agro Ilm. – 2023.

9. Соловьев В.А. Высевающие аппараты сельскохозяйственных машин. – СПб.: Лань, 2019.

10. Орлов А.И. Вибрационные процессы в технике. – М.: Машиностроение, 2016.