

На правах рукописи



Драгуленко Владислав Владимирович

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ОБМОЛОТА ЛЮЦЕРНЫ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

Научный
руководитель
Официальные
оппоненты:

Литвинов Артем Евгеньевич

доктор технических наук, доцент

Старцев Александр Сергеевич

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК»

Машков Александр Михайлович

кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», заведующий кафедрой технических систем в агробизнесе

Ведущая
организация:

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва)

Защита состоится «15» июня 2022 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 при ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета механизации, ауд. 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://kubsau.ru/>.

Автореферат разослан « » _____ 2022 г. и размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве науки и высшего образования России <http://minobrnauki.gov.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://kubsau.ru/>

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор
Фролов Владимир Юрьевич



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Ежегодно потребность семян люцерны только в Краснодарском крае составляет 1,5 тыс. тонн. Поскольку люцерна - многолетняя бобовая кормовая травяная культура, то в селекционном процессе и семеноводстве люцерны убирают урожай семян, а в товарном производстве – зеленую массу. Обмолот люцерны важная технологическая операция.

Для обработки отдельных порций селекционного материала применяют машины двух типов. Для относительно больших порций применяют производственные машины, но с прерывистой (порционной) загрузкой. Для малых порций используют машины порционного действия с замкнутым циклом обработки селекционного материала. В селекционной работе с люцерной есть потребность обмолачивать бобы, собранные с одного или нескольких растений, при этом не допуская смешивания семян селекционных номеров. Отсюда повышенные требования к предотвращению потерь семян селекционных номеров недоделомом, россыпью семян и их травмированием в процессе сбора их с растений люцерны на опытных делянках.

В товарном семеноводстве используют поточный способ выполнения технологических операций, как и в общепроизводственных машинах, но предъявляют повышенные требования при уборке урожая: полное отсутствие сортосмешивания и сведение к минимуму потерь семян. Однако существующие сельскохозяйственные машины допускают значительные потери семян люцерны в процессе уборки урожая. Таким образом, актуальна задача совершенствования обмолота люцерны на основе поиска новых технических решений.

Исследования проводились по госбюджетной тематике в 2016-2020 гг. ЕГИСУ НИОКР АААА-А16-116022410038-8, по разделу: 9.14 «Обоснование технологических комплексов и роботизированных систем производства: зерна и семян зерновых культур, кормовых трав и конопли».

Степень разработанности темы. Теория обмолота сельскохозяйственных культур разработана достаточно полно. Молотильные тангенциальные устройства с бильным ротором исследовались целым рядом ученых. Среди них следует отметить работы В. П. Горячкина, В. С. Кравченко, Ю. Д. Ахламова, Э. В. Жалнина, В. В. Куцеева, А. С. Старцева. Аксиально-роторные молотильно-сепарирующие устройства исследовались И. В. Горбачевым, А. П. Тарасенко, В. Е. Панасенко. Уборка сельскохозяйственных культур очесом исследовалась Э. В. Жалниным И. В. Горбачевым, А. И. Бурьяновым, И. В. Червяковым, Ю. Д. Ахламовым, Р. Н. Карпенко, А. М. Машковым. Для тангенциальных аппаратов зерноуборочных комбайнов разрабатываются и выпускаются специальные приспособления. Но из-за малого размера и большой текучести семян люцерны, её потери превышают агротехнические требования. В целом как тангенциальные, так и аксиально-роторные молотильные устройства предназначены для обмолота больших партий и практически непригодны для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства.

Для обмолота бобовых культур в селекционном и семеноводческом процессах, как правило, используют обмолачивающие устройства терочного типа. Но для люцерны требуется повторный дообмолот бобов, что существенно снижает производительность терочных молотильных устройств.

Следовательно, существует объективная необходимость в разработке устройства для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства, обеспечивающего минимальные потери семян дроблением, недомолотом и россыпью.

Научная гипотеза – рациональным способом выделения семян люцерны из бобов, который позволит снизить потери семян дроблением и недомолотом, является деформация сжатия бобов с одновременным воздействием на них сил трения в псевдооживленном циркулирующем замкнутом потоке.

Целью работы является оптимизация параметров и режима работы обмолачивающего устройства с рабочими органами в форме плоской вращающейся пластины и в форме диска для снижения потерь семян люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства.

Объект исследования – технологический процесс обмолота бобов люцерны и устройства для его осуществления.

Предмет исследования – зависимость потерь семян люцерны от конструктивных и режимных параметров обмолачивающего устройства.

Задачи исследования.

1. Разработать конструктивно-технологические схемы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства.

2. Установить математические зависимости обмолота бобов люцерны в псевдооживленном слое.

3. Изучить размерную характеристику бобов и семян люцерны.

4. Экспериментальным путем определить оптимальные параметры и режимы работы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства.

5. Провести сравнительную оценку результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса обмолота бобов люцерны разработанными устройствами.

6. Дать экономическую оценку эффективности применения разрабатываемых устройств для обмолота бобов люцерны.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений математики, физики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях с использованием общепринятых и частных методик в соответствии с действующими ГОСТами, а также с использованием общепринятых методик планирования многофакторного эксперимента. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием ме-

тодов математической статистики с использованием ПЭВМ и программы MathCad 7.

Научную новизну работы составляют:

- математические зависимости обмолота бобов люцерны в псевдооживленном слое;

- оптимальные по критерию скорости разрушения боба и целостности семени параметры устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;

- регрессионные зависимости геометрических параметров и кинематического режима работы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства от показателей недомолота, и производительности.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость представляют: зависимости величин высоты и скорости частицы (боба) обмолачиваемого вороха в камере устройства для обмолота; зависимости величины и скорости деформации боба люцерны в молотильном устройстве.

Практическую значимость представляют: конструктивно-технологические схемы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства, которые позволяют разработать технические решения конструкции обмолачивающих устройств; регрессионная зависимость геометрических параметров и кинематического режима работы обмолачивающего устройства с рабочим органом в форме плоской вращающейся пластины от недомолота семян, позволяющая обосновать параметры устройства для обмолота бобов люцерны на этапе селекции; регрессионная зависимость геометрических параметров и кинематического режима работы обмолачивающего устройства с рабочим органом в форме диска, позволяющая обосновать параметры устройства для обмолота бобов люцерны на этапе первичного семеноводства. Конструкция устройств для обмолота люцерны защищена патентами РФ на полезную модель RU № 125814, № 128448, № 155627 и № 186227.

Реализация результатов исследований. Устройство для обмолота бобов люцерны прошло производственную проверку в «ИП Глава КФХ Ильченко Ю. В.» Динского района Краснодарского края. Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе на факультете механизации Кубанского ГАУ.

Апробация работы. Основные положения и выводы диссертации доложены и одобрены: на V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых (Краснодар, 2011); на II Межрегиональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Анапа, 2012); VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых (Краснодар, 2012); VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 110-летию П.Ф. Варухи (Краснодар, 2014); IX Всероссийской конференции молодых ученых (Краснодар, 2015); на II научно-практической конференции молодых ученых Всероссийского форума по селекции и семеноводству (Краснодар, 2018); Международной научно-практической конференции «Цифровые технологии в сельском хозяйстве Российской Федерации и мирового сообщества» (Ставрополь, 2021).

На защиту выносятся следующие основные положения:

- конструктивно-технологические схемы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;

- математические зависимости обмолота бобов люцерны в псевдооживленном слое;

- оптимальные по критерию скорости разрушения боба и целостности семени параметры устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;

- регрессионные зависимости геометрических параметров и кинематического режима работы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства от показателей недомолота, и производительности.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 8 научных работ, из них 3 в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК РФ, 1 статья в издании, индексируемом в Scopus, а также получено 5 патентов на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, 4 главы, заключение, список литературы, включающий 135 наименований, приложение. Работа изложена на 155 страницах машинописного текста, включая 41 страницу приложений, содержит 41 рисунок и 17 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** раскрывается актуальность исследования, приведены цель работы, научная новизна, практическая значимость, и представлены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** выполнен обзор опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по разработке устройств для обмолота бобов люцерны.

Анализ существующих способов уборки урожая семян люцерны позволяет сделать вывод, что прямое комбайнирование с обмолотом бобов люцерны допускает значительные потери урожая семян. Поэтому, наиболее рациональным способом является раздельная уборка, при которой скошенный ворох свозится на стационар, и уже на нем производится его обмолот.

Практика применения бильных молотильных устройств показала, что они допускают дробление семян и их потери существенно выше допускаемых требований.

Терочные молотильные устройства, в которых отсутствуют металлические рабочие органы, обеспечивают необходимое качество обмолота бобов люцерны, но зачастую требуется повторный дообмолот бобов.

Следовательно, создание новых технических решений устройств для обмолота бобов люцерны является актуальной задачей. С учетом специфики селекционной работы и первичного семеноводства люцерны обмолачивающие устройства долж-

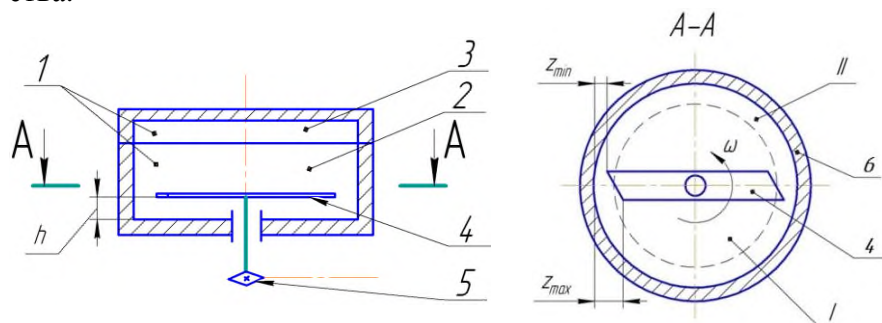
ны работать в режимах как порционной, так и непрерывной загрузки.

Сформулирована цель работы и задачи исследования.

Во **второй главе** представлены теоретические исследования процесса обмолота бобов люцерны.

Согласно сформулированной гипотезе для выделения семян люцерны из боба его необходимо подвергнуть деформации сжатия и одновременно воздействию сил трения, а для обеспечения устойчивого протекания технологического процесса обмолачиваемый материал следует привести в псевдооживленное («кипящее») состояние.

На основании принятой гипотезы разработаны два варианта молотильного устройства: первый – с порционной загрузкой (рисунки 1 и 2) для использования в селекционной работе; второй – с непрерывной загрузкой (рисунок 3) для применения на этапах конкурсного сортоиспытания и первичного семеноводства.



1 – молотильная камера, 2 – корпус, 3 – крышка, 4 – рабочий орган в виде ротора-пластины, 5 – привод во вращение ротора-пластины, 6 – стенка молотильной камеры, 7 – ротор-пластина, I – воздушно-вихревая зона, II – зона псевдооживленного слоя вороха.

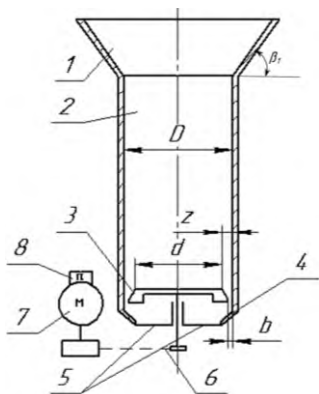
Рисунок 1 – Схема первого варианта устройства для обмолота бобов люцерны на этапе селекции

Обмолачиваемый ворох при изучении процесса обмолота бобов рассматриваем не как сплошное твердое тело или жид-

кость, а как сыпучее тело. Сыпучее тело характерно отсутствием сопротивления деформации растяжения и имеет сопротивление сжатию одинаковое с дискретными частицами сыпучего тела.



Рисунок 2 – Общий вид первого варианта устройства для обмолота бобов люцерны на этапе селекции

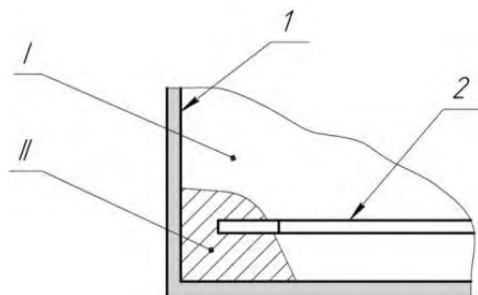


1 – загрузочная воронка, 2 – молотильная камера, 3 – ротор с вертикальной осью вращения, 4 – скатный желоб, 5 – опоры вала ротора, 6 – ременная передача, 7 – электродвигатель, 8 – регулятор скорости.



Рисунок 3 – Схема и общий вид второго варианта устройства для обмолота бобов люцерны этапах конкурсного сортоиспытания и первичного семеноводства

Рассмотрен рабочий режим работы первого варианта устройства. Вращение ротора-пластины сопровождается созданием вращающегося в камере потока вороха и атмосферного воздуха. В камере формируются две зоны – в центре воздушная воронка, а вокруг нее вихревой ворохо-воздушный кольцевой поток обмолачиваемого вороха (рисунок 1). Этот поток обмолачиваемого вороха переходит в псевдооживленное состояние от механического воздействия на него вращающегося ротора. Под действием собственного веса и центробежной силы, создаваемой вращением ротора-пластины, частицы вороха (бобы, семена, створки бобов и их части) в псевдооживленном слое будут перемещаться в зону стыка боковой стенки и дна камеры (рисунок 4).



1 – стенка молотильной камеры; 2 – ротор-пластина;
I – зона циркуляции вороха; II – зона обмолота бобов

Рисунок 4 –Фрагмент зоны обмолота бобов люцерны в молотильной камере

При этом будет происходить расслоение частиц вороха. Более легкие частицы будут перемещаться вверх, а более тяжелые - в нижнюю часть псевдооживленного слоя обмолачиваемого материала. Поскольку наиболее тяжелая фракция вороха – невымолоченные бобы, то такое явление будет способствовать интенсификации процесса обмолота бобов. Поскольку размер боба больше высоты профиля ротора-пластины и бобы двигаются в обтекающих профиль потоках воздуха, то не будет происходить явления центрального удара боба о переднюю стенку профиля ротора-пластины.

Рассмотрен процесс обмолота для второго варианта устройства (рисунок 3), приняв гипотезу саморазгружающегося динамического свода.

Бобы люцерны загружают в молотильную камеру. Управление движением массы бобов в молотильной камере устройства осуществляем путем воздействия на нее вращающимся ротором.

Вращающийся ротор, образующий подвижное дно молотильной камеры цилиндрической формы, и кольцевой зазор образуют выпускное квазиотверстие молотильной камеры, площадь которого равна:

$$S_o = \pi R_k \quad (1)$$

где S_o – площадь выпускного квазиотверстия, m^2 ; R_k – радиус молотильной камеры, m .

Бобы перемещаются под действием собственного веса по ней вниз к выпускному квазиотверстию.

Минимальное время прохождения бобом пути до квазиотверстия (t_{min}) равно:

$$t_{min} = \sqrt{\frac{1,5R_k}{gf_B}} \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; f_B – коэффициент внутреннего трения бобов люцерны.

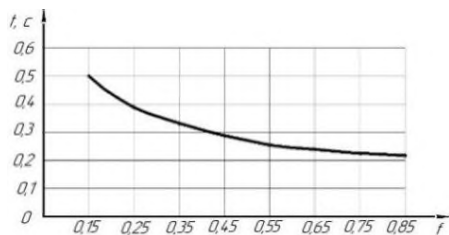


Рисунок 5 – График зависимости минимального времени прохождения бобом люцерны от середины динамического свода до выпускного квазиотверстия от коэффициента внутреннего трения бобов люцерны

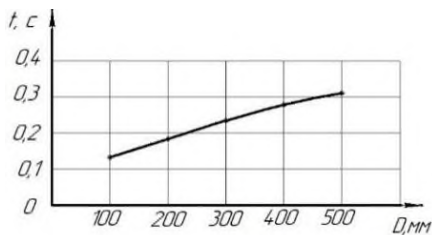


Рисунок 6 – График зависимости минимального времени прохождения бобом люцерны от середины динамического свода до выпускного квазиотверстия от диаметра отверстия рабочей камеры

Подставленные числовые значения в выражение (2) позволили построить графики (рисунки 5 и 6), которые иллюстрируют зависимость затрат времени прохождения пути частицами от коэффициента внутреннего трения бобов люцерны и диаметра отверстия рабочей камеры.

Рассмотрена взаимосвязь геометрических параметров устройства для обмолота и боба люцерны, приняв форму боба – цилиндр (рисунок 7).

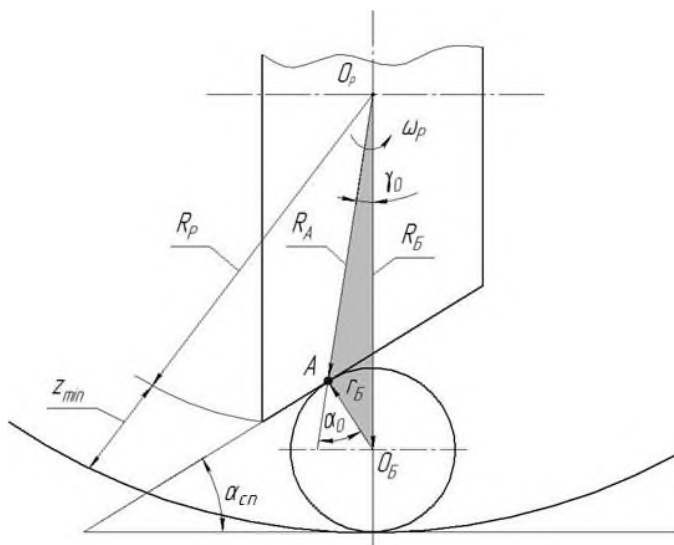


Рисунок 7 – Схема к определению взаимосвязи геометрических параметров первого варианта устройства для обмолота и боба люцерны

Начальный угол контакта α_0 на периферийной кромке ротор-пластины в зависимости от радиуса окружности боба и параметров устройства нашли с помощью основных теорем тригонометрии:

$$\alpha_0 = \arccos \frac{(R_{max} + z_{min} - r_b)^2 - R_A^2 - r_b^2}{2R_A r_b} . \quad (3)$$

где R_{max} – максимальный радиус ротора-пластины, м; Z_{min} – минимальный зазор между кромкой ротора-пластины и стенкой камеры, м; r_b – радиус боба, м.

Угол деформации боба γ_0 – это угол, на который надо переместиться точке A кромки ротора-пластины относительно боба, чтобы получить наибольшую его деформацию. Угол γ_0 определили из треугольника $O_P A O_B$ равен

$$\gamma_0 = \arcsin \frac{R_B \sin \alpha_0}{R_B} \quad (4)$$

где R_B – радиус качения боба по внутренней поверхности молотильной камеры, м.

Угол деформации сжимающих поверхностей $\alpha_{сп}$ определили из треугольника $O_P A O_B$:

$$\alpha_{сп} = \arccos \frac{R_B^2 + r_B^2 - R_A^2}{2r_B(R_{max} + z_{min} - r_B)} \quad (5)$$

В расчетах приняли значения: $R_{max} = 37$ мм, $z_{min} = 3$ мм, $r_B = 2,5$ мм, $R_B = 37,5$ мм. После подстановки получили: $\gamma_0 = 1^{\circ}30'$ и $\alpha_{сп} = 21^{\circ}33'$.

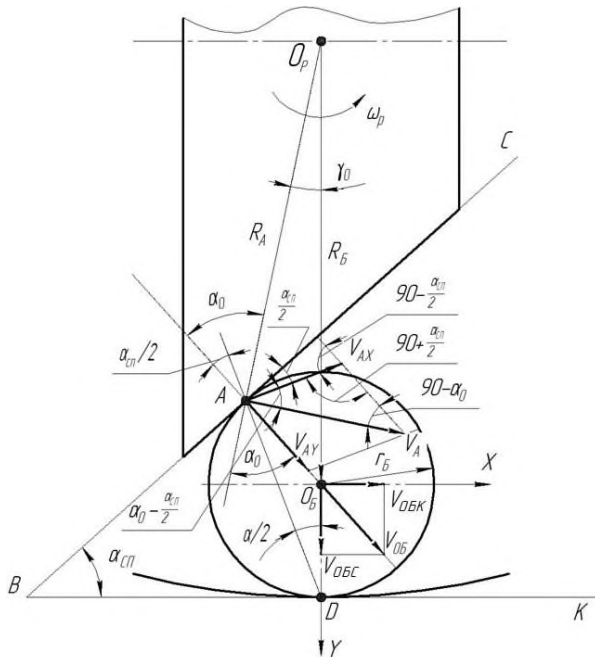


Рисунок 8 – Схема к определению скорости движения боба люцерны

Скорость центра образующей окружности боба V_{OB} (рисунок 8), с учетом его проскальзывания и качения, нашли как сумму:

$$V_{OB} = V_{ОБК} + V_{ОБС} \quad (6)$$

где $V_{ОБК}$ – составляющая скорости центра боба от его перекатывания, м/с; $V_{ОБС}$ – составляющая скорости центра боба по направлению оси X , м/с.

На основании теорем синусов и косинусов после преобразований выражение (6) примет вид:

$$V_{OB} = \frac{V_A [\cos (\alpha_0 - \frac{\alpha_{СП}}{2}) + 2 \cos \frac{\alpha_{СП}}{2} \sin \alpha_0 \sin \alpha_{СП}]}{2 \cos^2 \frac{\alpha_{СП}}{2}} \quad (7)$$

Тогда

$$\omega_{OB} = \frac{V_A [\cos (\alpha_0 - \frac{\alpha_{СП}}{2}) + 2 \cos \frac{\alpha_{СП}}{2} \sin \alpha_0 \sin \alpha_{СП}]}{R_{max} + z_{min} - r_B} \quad (8)$$

Для определения допустимых значений линейной скорости ротора-пластины по выражениям (7) и (8) построили график – рисунок 9.

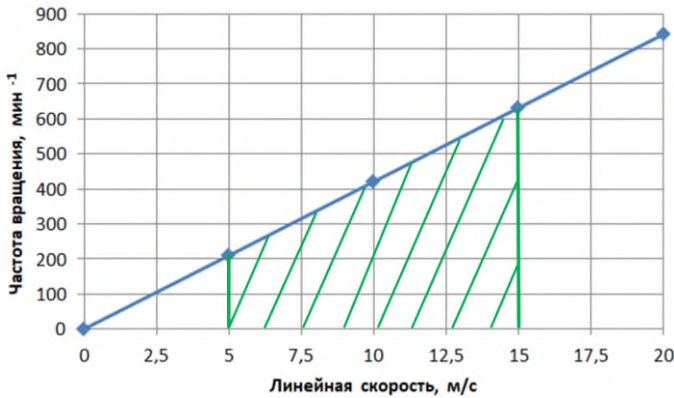


Рисунок 9 – График зависимости частоты вращения ротора-пластины от линейной скорости боба люцерны

При определении рациональных значений задались диапазоном от 5 до 15 м/с. Данный диапазон изменения угловой скорости был выбран исходя из условий: при скорости до 5 м/с нет

стей V_A и ω_P . Угловая скорость ротор-пластины ω_P является задаваемым параметром, т.е. независимым аргументом, а скорость точки V_A равна произведению угловой скорости ротор-пластины на радиус, который является функцией от начального угла контакта α_0 :

$$V_A = \omega_P R_i \quad (10)$$

где R_i – текущее значение R_A , м.

После контакта кромки ротора с бобом последний за время t переместится на угол $\omega_C t$, а кромка ротора переместится на угол $\omega_P t$. Тогда текущее значение угла деформации может быть определено из выражения:

$$\gamma_i = (\gamma_0 + \omega_C t) - \omega_P t \quad (11)$$

Величина деформации боба определяется по выражению:

$$\Delta l = r_B - A_1 O_{B1} \quad (12)$$

Полное время деформации равно:

$$T = \frac{\gamma_0}{\omega_P - \omega_C} \quad (13)$$

Для определения скорости деформации продифференцировали выражение (12) по времени:

$$V_d = \frac{\Delta l}{dt} \quad (14)$$

Получили

$$V_d = \frac{(\omega_B - \omega_C) R_A R_B \sin[\gamma_0 - (\omega_P - \omega_C)t]}{\sqrt{R_A^2 + R_B^2 - 2R_A R_B \cos[\gamma_0 - (\omega_P - \omega_C)t]}} \quad (15)$$

В **третьей главе** представлены результаты экспериментальных исследований обмолота бобов люцерны.

Проверку работоспособности предложенного способа обмолота бобов люцерны проверяли на первом варианте молотильного устройства.

Семенной материал в опыте представлял собой семена в бобах, собранных вручную с растений люцерны. Вес порции бобов – 40 г. Задавали частоту вращения ротора-пластины равную 1260 и 5000 мин⁻¹, что соответствовало окружной скорости периферийных участков ротора-пластины соответственно 5 и 20 м/с. Обмолачивали порцию бобов в течение 5 с. Повторность

опыта – пятикратная. В опыте использовались бобы люцерн сортов Славянская местная, Крона и Багира урожая 2018 года.

Исследовалось по 100 штук бобов каждого сорта. Полученные данные следующие. Диаметр бобов люцерны у сорта Славянская местная равен 4,6...4,8 мм; у сорта Крона равен 5,1...5,4 мм; у сорта Багира – 5,3...5,5 мм. Высота бобов люцерны у сорта Славянская местная равен 4,3...4,6 мм; у сорта Крона равен 4,7...4,9 мм; у сорта Багира – 5,0...5,2 мм. Длина семян варьировала от 1,0 до 2,2 мм. Содержание влаги створок бобов составляло 7-8 %, а семян – 8-9 %. При заполнении камеры на 1/3 объема и окружной скорости ротора в интервале 10...15 м/с технологический процесс протекал устойчиво, обеспечивался обмолот как порций бобов, так и отдельных бобов. Дробление семян отсутствовало.

Для определения оптимальных параметров молотильных устройств использовался метод многофакторного планирования эксперимента. Для функции отклика использовали полином второго порядка. Обмолачивали люцерну сорта «Бажена» селекции ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» урожая 2018 года. Семена имели длину, равную 1,2...2,3 мм, а бобы 5,1...6,8 мм, масса 1000 семян 2,2 г.

Матрица планирования и результаты опытов по первому варианту молотильного устройства представлены в таблице 1.

Получили следующее уравнение регрессии для недомолота семян в кодированных значениях факторов:

$$Y = 2.038 - 1.537X_1 - 4.29X_2 + 3.027X_3 + 1.162X_1X_2 + 1.412X_1X_3 + 1.813X_2X_3 + 1.558X_1^2 + 5.206X_2^2 + 9.92X_3^2. \quad (16)$$

где y – недомолот семян, %; x_1 – окружная скорость торцовых поверхностей ротора-пластины, м/с; x_2 – длительность обмолота бобов, с; x_3 – степень заполнения камеры, %.

Статистическую значимость коэффициентов регрессии проверяли по критерию Стьюдента, а адекватность уравнения по критерию Фишера.

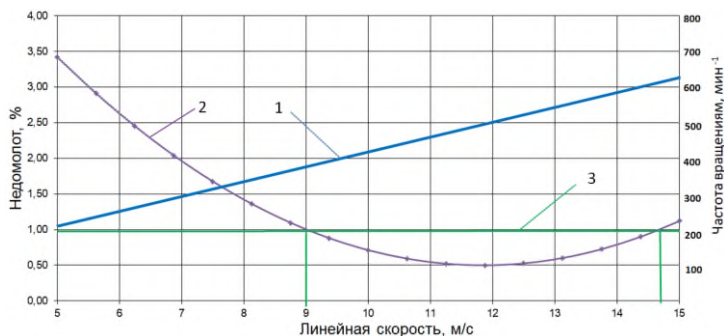
Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента и результаты опытов по первому варианту молотильного устройства

План в кодированных переменных			План в натуральных переменных			Значения критерия оптимизации, недомолот семян (H), %
x_1	x_2	x_3	Окружная скорость торцовых поверхностей ротора-пластины X_1 (V), м/с	Длительность обмолота бобов X_2 (t), с	Степень заполнения камеры X_3 (μ), %	
+1	+1	+1	15	10	90	20,5
-1	+1	+1	5	10	90	18,4
+1	-1	+1	15	2	90	23,1
-1	-1	+1	5	2	90	25,7
+1	+1	-1	15	10	10	7,8
-1	+1	-1	5	10	10	11,4
+1	-1	-1	15	2	10	17,7
-1	-1	-1	5	2	10	25,9
+1	0	0	15	6	50	2,1
-1	0	0	15	6	50	5,2
0	+1	0	10	10	50	3,0
0	-1	0	10	2	50	11,6
0	0	+1	10	6	90	15,2
0	0	-1	10	6	10	8,9

После обработки полученных результатов установлено, что минимальный недомолот семян люцерны 0,5 % достигается при окружной скорости торцовых поверхностей пластины-ротора – 12,2 м/с, длительности обмолота бобов – 7,6 с и степени заполнения камеры – 47,8 %.

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований проведена с использованием зависимостей, представленных на рисунке 11, где показана теоретическая зависимость линейной скорости боба люцерны от частоты вращения пластины в пределах ограничения по скорости (1), также представлен график недомолота от линейной скорости в этом же

диапазоне (2). Кроме того, указано агротехническое требование к обмолоту селекционных бобов люцерны (3). По результатам опытов, оптимизация параметров скорости проходила в пределах, полученных во второй главе. Оптимальная скорость по экспериментальным данным составила 12,2 м/с и может меняться в диапазоне от 9 до 14,7 м/с.



1 – зависимость линейной скорости боба люцерны от частоты вращения пластины; 2 – зависимость недомолота бобов люцерны от линейной скорости рабочего органа; 3 – линия агротехнического требования недомолота семян бобов люцерны;

Рисунок 11 – Сходимость теоретических и экспериментальных результатов

Матрица планирования и результаты опытов по второму варианту молотильного устройства представлены в таблице 2.

Для полного обмола бобов люцерны без повреждения семян в опытах, учли размерную характеристику семян и бобов, и величину второго кольцевого зазора b устанавливали постоянной и равной 3,0 мм.

По результатам опытов и математической обработки экспериментальных данных и получили уравнение регрессии в кодированном виде:

$$y = 64,478 - 3,035x_1 + 5,158x_2 + 2,375x_1x_2 + 35,625x_1^2 - 24,642x_2^2 \quad (17)$$

где y – пропускная способность молотильного устройства, г/с; x_1 – окружная скорость кромки ротора, м/с; x_2 – кольцевой зазор, см².

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента и результат опытов по второму варианту молотильного устройства

№ п/п	Натуральные значения факторов		Кодированные значения факторов		Пропускная способность, г/с
	V_i , м/с	Z, мм	x_1	x_2	
1	15	6	+1	+1	79,96
2	5	6	-1	+1	81,29
3	15	4	+1	-1	64,89
4	5	4	-1	-1	75,72
5	15	5	+1	0	97,07
6	5	5	-1	0	103,15
7	10	6	0	+1	45,01
8	10	4	0	-1	34,68
9	10	5	0	0	64,48

Согласно полученному уравнению регрессии по критерию максимальной пропускной способности молотильного устройства 64,7 г/с оптимальная окружная скорость кромки ротора составила 10,2 м/с, а оптимальная величина зазора рабочей камеры – 5,1 мм.

В четвертой главе приведен расчет экономической эффективности разработанного молотильного устройства для обмолота бобов люцерны.

В результате расчетов установлено, что годовой экономический эффект от применения разработанного устройства составит 103,4 тыс. рублей, а срок окупаемости 0,43 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. На основе анализа конструкций молотильных устройств разработаны конструктивно-технологические схемы устройств для обмолота люцерны на этапах селекции (патент РФ №125814, 2013г.) и первичного семеноводства (патент РФ №163296, 2016г.).

2. Установлена зависимость минимального времени прохождения бобом люцерны от середины динамического свода до выпускного квазиотверстия от коэффициента внутреннего трения бобов люцерны и от диаметра отверстия рабочей камеры; определены зависимости величин высоты и скорости частицы (боба) обмолачиваемого вороха в камере устройства для обмолота; определено выражение для угла раствора сжимающихся поверхностей, при котором происходит затягивание боба люцерны с учетом перекатывания его по дну корпуса молотильной камеры.

3. Экспериментально установлен минимальный предельно допустимый угол наклона рабочих стальных поверхностей устройства равный $34,5^{\circ}$.

4. Уточнена размерная характеристика люцерны сорта «Бажена»: семена – длина 1,2...2,3 мм, бобы – длина 5,1 ...6,8 мм, масса 1000 семян – 2,2 г.

5. В результате проведенных экспериментальных исследований были установлены:

– оптимальные параметры устройства для обмолота люцерны на этапе селекции, обеспечивающие минимальный недополот семян люцерны 0,5 % – окружная скорость торцовых поверхностей пластины-ротора 12,2 м/с, длительность обмолота бобов – 7,6 с и степень заполнения камеры – 47,8 %;

– оптимальные параметры устройства для обмолота люцерны на этапе первичного семеноводства, обеспечивающие максимальную пропускную способность 64,7 г/с – окружная скорость кромки ротора 10,2 м/с, а величина зазора рабочей камеры 5,1 мм.

6. Оптимальные окружные скорости роторов обоих молотильных устройств (12,2 м/с и 10,2 м/с) входят в интервал допустимых окружных скоростей ротора (5...15 м/с), определенных теоретическим путем.

7. Годовой экономический эффект от применения разработанного устройства составит 103,4 тыс. рублей, а срок окупаемости 0,43 года.

Рекомендации производству

Предложенные в работе параметры рабочих органов молотилок могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке устройств для обмола люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Полученные зависимости величины и скорости деформации боба люцерны в молотильном устройстве можно использовать при разработке рабочих органов молотилок для других бобовых мелкосеменных культур.

Основные положения диссертации опубликованы в изданиях, индексируемых в Scopus

1. Dragulenko, Vladislav. Theoretical Studies Of The Movement Of The Lucerne Bean In The Chamber Of The Threshing Device / Vladislav Dragulenko, Vladimir Kurasov, Artem Litvinov // AIP Conference Proceedings. – 2021.

в изданиях, рекомендованных ВАК

2. Драгуленко, В.В. Снижение потерь на уборке семян бобовых трав / В.В. Драгуленко, В.В. Куцеев, С.М. Сидоренко, В.С. Курасов // Сельский механизатор. – 2014. – № 1(59). – С. 10–11.

3. Драгуленко В. В. Устройство для обмола бобов люцерны / В.В. Драгуленко // Сельский механизатор. – 2018. – № 10. – С. 20–21.

4. Драгуленко, В.В. Устройство для обмола люцерны на этапе семеноводства / В.В. Драгуленко, В.В. Куцеев, В.В. Цыбулевский, А.Е. Матущенко // Сельский механизатор. – 2019. – № 4. – С. 6–7.

патенты:

5. Патент РФ на полезную модель №125814. Молотильное устройство для бобов люцерны / В.В. Куцеев, В.В. Драгуленко, патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». – Заявка №2012132926. – Бюл. №8 от 20.03.2013.

6. Патент РФ на полезную модель №128448. Молотильное устройство для бобов люцерны / В.В. Куцеев, В.В. Драгуленко, патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». – Заявка №2012122411. – Бюл. №15 от 27.05.2013.

7. Патент РФ на полезную модель №155627. Молотильное устройство для бобов люцерны / В.В. Куцеев, В.В. Драгуленко, А.С. Голицын, патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». – Заявка №2015117504. – Бюл. №28 от 21.09.2015.

8. Патент РФ на полезную модель №163296. Молотильное устройство для бобов люцерны. / В.В. Куцеев, В.В. Драгуленко, А.С. Голицын, патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». – Заявка № 2016106255. – Бюл. № 19 от 23.02.2016.

9. Патент РФ на полезную модель №186227. Молотильное устройство для бобов люцерны. / В.В. Куцеев, Д.А. Артюхин, А.С. Голицын, В.В. Драгуленко, патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». – Заявка № 2018121160. – Бюл. №2 от 11.01.2019.

в прочих изданиях:

10. Драгуленко, В.В. Экспериментальная оценка способа обмолаота селекционного материала люцерны / В.В. Драгуленко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2011 – С. 423-424.

11. Драгуленко, В.В. Экспериментальное обоснование параметров домолачивающего устройства для люцерны / В.В. Драгуленко // Сборник материалов II Межрегиональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых

ученых. – Анапа: Анапский филиал Кубанского ГАУ, 2012. – С. 25-27.

12. Драгуленко, В.В. Совершенствование обмолота бобов люцерны / В.В. Драгуленко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014. – С. 469-471.

13. Драгуленко, В.В. Обмолот люцерны в селекционном процессе / В.В. Драгуленко // Инновационные технологии отечественной селекции и семеноводства. – Краснодар, 2018 – С. 119-120.

Подписано в печать 08.04.2022 г. Формат 60×84 ¹/₁₆
Усл. печ. л. – 1.45. Уч.-изд. л. – 1.14
Тираж 100 экз. Заказ № _____

Издательство «ЭДВИ».
Россия, 350012, г. Краснодар, ул. Лукьяненко, 95/7,
тел./факс: (861) 222-01-02, 222-75-55, 220-12-56,
e-mail: info@edvi.ru