ИНЖЕНЕРНЫЕ АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ НАУКИ

DOI: 10.35523/2307-5872-2023-44-3-124-128
УДК 519.876.5

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ РЕДУКТОРОМ В СРЕДЕ SIMINTECH

Еремочкин С. Ю., Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова;
Жуков А.А., Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова;
Дорохов Д. В. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

В данной работе рассмотрен вопрос применения трехфазного асинхронного электропривода на малых предприятиях. Предложен оригинальный полупроводниковый редуктор, позволяющий осуществлять питание трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети переменного тока. С помощью среды компьютерного имитационного моделирования SimInTech и на основании принципиальной схемы устройства была построена имитационная модель электропривода. В результате проведенного моделирования были получены основные характеристики исследуемого электропривода: статическая механическая характеристика, а также зависимости коэффициента полезного действия и коэффициента мощности от активной мощности на валу. Был выполнен сравнительный анализ характеристик электропривода при использовании данного устройства с характеристиками электропривода при питании посредством фазосдвигающего конденсатора. В результате сравнения было установлено, что при питании электродвигателя с помощью полупроводникового редуктора, величина пускового момента составляет 129 % от величины пускового момента при питании электродвигателя с помощью фазосдвигающего конденсатора, а величина критического момента составляет 110 % от величины критического момента при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора. Также полупроводниковый редуктор позволяет осуществлять работу электродвигателя с коэффициентом мощности в 123 % и коэффициентом полезного действия в 111 % от соответствующих величин при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора. В результате проведенного исследования установлена эффективность использования полупроводникового редуктора в трехфазном асинхронном электроприводе в отсутствии трехфазной питающей сети.

Ключевые слова: *трехфазный асинхронный электропривод, разработка имитационной модели, компьютерное имитационное моделирование, векторно-алгоритмическое управление, полупроводниковый редуктор, однофазная питающая сеть, SimInTech.*

Для цитирования: *Еремочкин С.Ю., Жуков А.А., Дорохов Д.В. Разработка и исследование имитационной модели асинхронного электропривода с полупроводниковым редуктором в среде Simintech // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 3 (44). С. 124-128.*

Введение. Широкое распространение электрической энергии на предприятиях промышленности и сельского хозяйства позволило механизировать производство, внедрить автоматическое управление и значительно увеличить производительность труда. В свою очередь внедрение в промышленность трехфазного переменного тока вызвало распространение асинхронного электропривода. За счет высокой эффективности значительная доля асинхронного электропривода применяется и на небольших производствах и фермах частного сектора, при отсутствии трехфазной питающей сети. В данном случае возникает вопрос оптимального выбора и использования устройств

управления и питания трехфазного асинхронного электродвигателя при подключении к однофазной сети, а также исследование режимов его работы [1].

Цель исследования. Целью исследования являлется определение механических и рабочих характеристик трехфазного асинхронного электродвигателя при питании от однофазной сети переменного тока с помощью полупроводникового редуктора, ведомого однофазной сетью переменного тока, а также определение обоснованности использования рассматриваемого устройства питания в трехфазном электроприводе.

Материалы и методы исследования. Для решения данной задачи наилучшим образом подходит метод компьютерного имитационного моделирования. Программное обеспечение SimInTech позволяет выполнять подробное исследования и анализ динамических процессов, происходящих в различных системах. Имитационное моделирование сводится к построению интуитивно понятной схемы динамической системы, элементы которой находятся во входо-выходных отношениях в виде систем дифференциальных уравнений [2].

В качестве объекта имитационного моделирования был выбран реальный трехфазный асинхронный электродвигатель марки «4АА50В4У3». Согласно справочной информации, данный электродвигатель имеет следующие паспортные данные, необходимые для создания имитационной модели в среде SimInTech:

Мощность в номинальном режиме работы P_H = 90 Вт;

Сопротивление ротора R_r = 125 Ом;

Сопротивление статора R_S = 77,38 Ом;

Индуктивность главной намагничивающей цепи L_μ = 2,27 Гн;

Индуктивность обмотки ротора L_r = 3,22 Гн;

Индуктивность обмотки статора L_S = 3,03 Гн;

Число пар полюсов Z_P = 2 [3].

Для выполнения имитационного моделирования асинхронных электроприводов с использованием различных устройств питания была разработана базовая имитационная модель, которая позволит получать характеристики исследуемого электропривода [4-5].

Полупроводниковый редуктор предназначен для использования в электроприводе переменного тока и позволяет осуществлять питание трехфазных асинхронных электродвигателей от однофазной питающей сети. [6]. На рисунке 1 изображена разработанная имитационная модель электропривода с полупроводниковым редуктором.

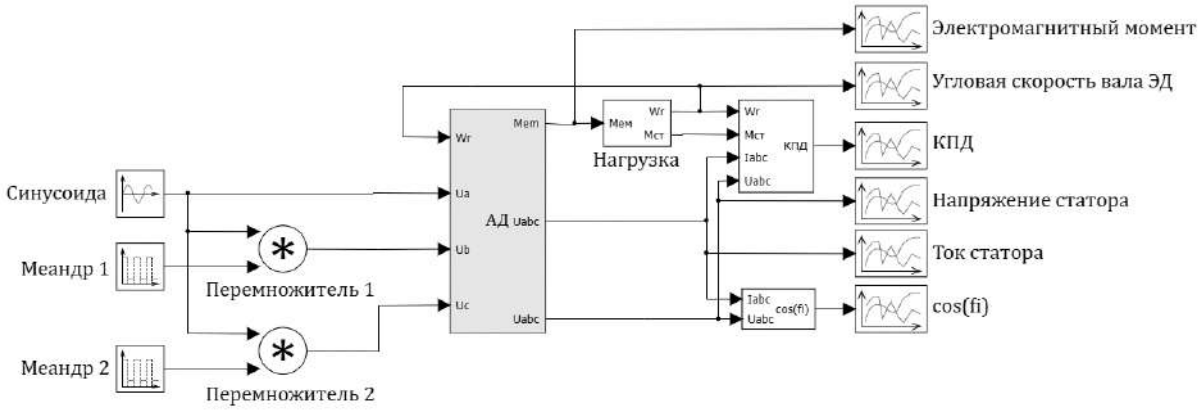


Рисунок 1 – Разработанная имитационная модель

Имитационная модель, представленная на рисунке 1, позволяет моделировать питание трехфазного асинхронного электродвигателя с помощью полупроводникового редуктора, ведомого однофазной сетью.

Результаты исследования. Для сравнительного анализа характеристик исследуемого электропривода с использованием рассматриваемого устройства питания получим характеристики электроприводов, получающих питание от однофазной сети с помощью фазосдвигающего конденсатора и полупроводникового редуктора.

Построим статические механические характеристики электроприводов путем изменения величины момента нагрузки на вал электродвигателя и зафиксируем установившиеся значения угловой скорости электродвигателя. На рисунке 2 представлены статические механические характеристики электродвигателей.

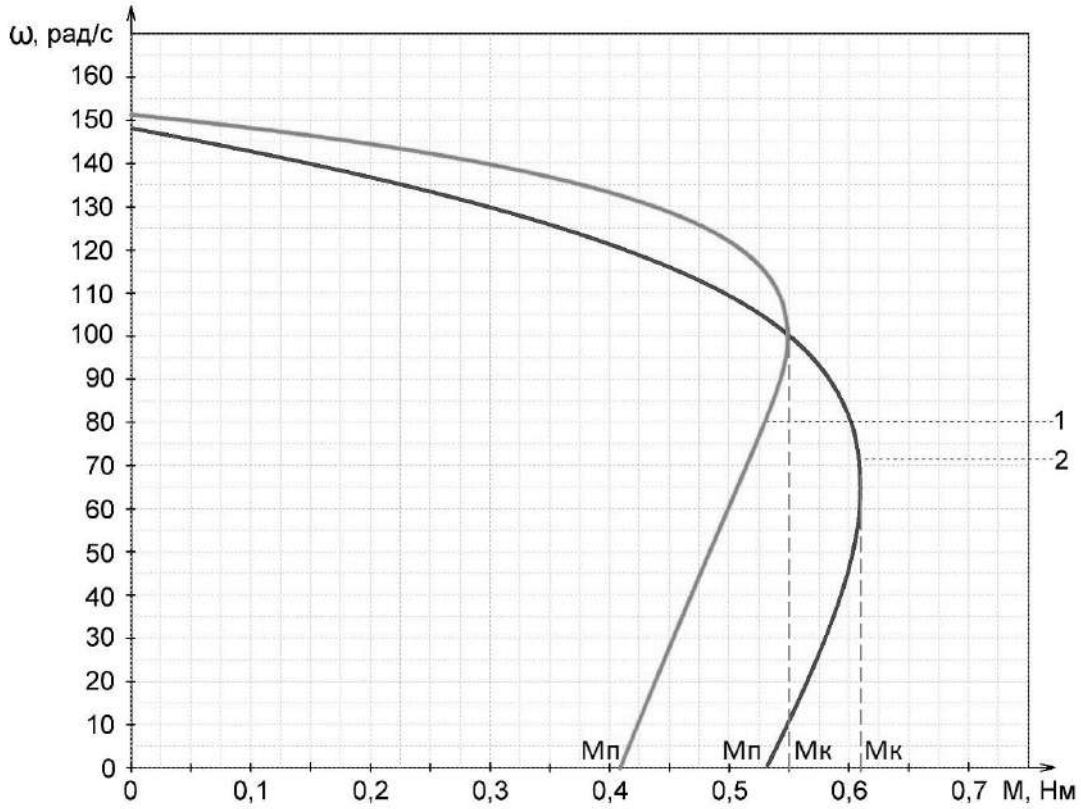
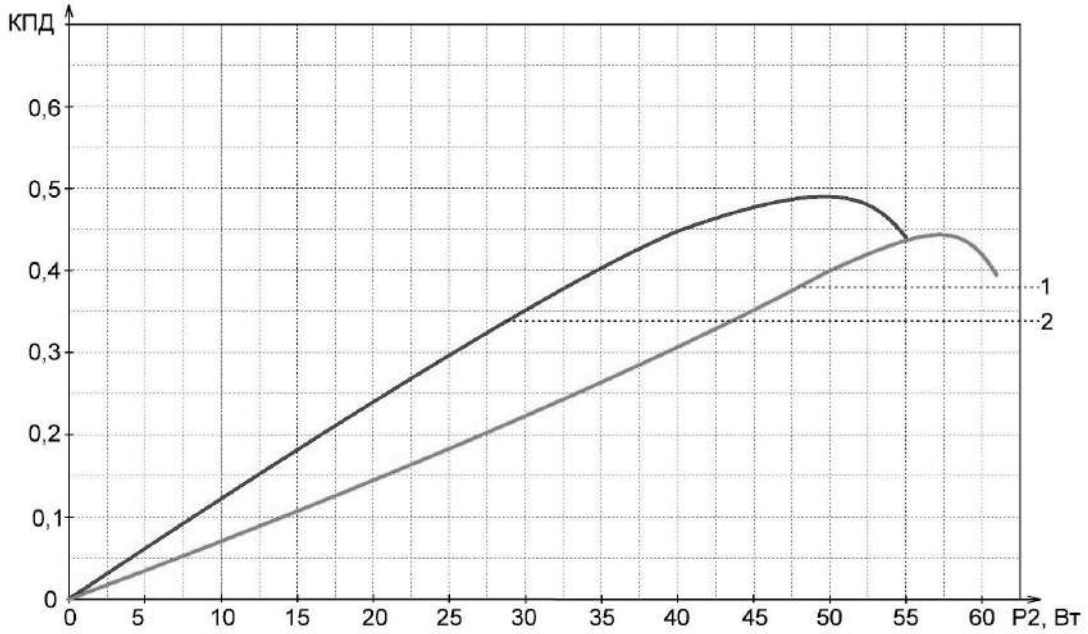


Рисунок 2 — Статические механические характеристики электродвигателей: 1 – при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора; 2 – при питании с помощью полупроводникового редуктора

Как видно из рисунка 2, при питании электродвигателя с помощью полупроводникового редуктора, значение пускового момента ($М_п$) составляет 0,62 Нм, значение критического момента ($М_к$) составляет 0,67 Нм, значение номинального момента ($М_н$=0,62Нм) развивается до угловой скорости вращения вала электродвигателя 98 рад/с. При питании электродвигателя с помощью фазосдвигающего конденсатора значение пускового момента ($М_п$) составляет 0,41 Нм, значение критического момента ($М_к$) составляет 0,55 Нм, значение номинального момента ($М_н$=0,62Нм) не развивается.

С помощью имитационной модели получим рабочие характеристики для асинхронного электродвигателя при питании с помощью полупроводникового редуктора и фазосдвигающего конденсатора (рисунок 3).



а)

б)

Рисунок 3 — Зависимость коэффициента полезного действия от активной мощности на валу электродвигателя: а) зависимость коэффициента мощности от активной мощности на валу электродвигателя; б) 1 – при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора; 2 – при питании с помощью полупроводникового редуктора

Как видно из рисунка 3а, при питании электродвигателя с помощью полупроводникового редуктора, максимальное значение коэффициента полезного действия (0,37) достигается при значении активной мощности на валу равной 58 Вт, а при питании электродвигателя с помощью фазосдвигающего конденсатора максимальное значение коэффициента полезного действия (0,44) и достигается при значении активной мощности на валу равной 57 Вт.

Как видно из рисунка 3б, при питании электродвигателя с помощью полупроводникового редуктора максимальное значение коэффициента мощности (0,41) достигается при значении активной мощности на валу равной 58 Вт, а при питании электродвигателя с помощью фазосдвигающего конденсатора, максимальное значение коэффициента мощности (0,38) достигается при значении активной мощности на валу равной 57 Вт.

В результате анализа результатов имитационного моделирования было установлено, что при питании электродвигателя с помощью полупроводникового редуктора величина пускового момента ($M_п$) составляет 129 % от величины пускового момента при питании электродвигателя с помощью фазосдвигающего конденсатора, а величина критического момента ($M_к$) составляет 110 % от величины критического момента при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора. Также было выяснено, что полупроводниковый редуктор позволяет осуществлять работу электродвигателя с коэффициентом мощности (cos φ) в 123 % от величины при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора, а также коэффициентом полезного действия (КПД) в 111 % от величины при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора.

Вывод. На основании данных, полученных в результате проведенного исследования, можно сделать вывод, что полупроводниковый редуктор можно с успехом применять в трехфазном асинхронном электроприводе для осуществления его питания от однофазной сети переменного тока в случае отсутствия трехфазной питающей сети. Электродвигатель с рассмотренным полупроводниковым устройством управления имеет более высокую эффективность по сравнению с электроприводом, использующим конденсаторный способом питания.

Список используемой литературы

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006.
2. Справочная система SimInTech. URL: https://help.simintech.ru/#o_simintech/browsers.html (дата обращения: 20.03.2023).
3. Кацман М.М. Электрические машины. М.: Академия, 2013.
4. Куприяшкин А.Г. Основы моделирования систем. Норильск: НИИ, 2015.
5. Акопов А.С. Имитационное моделирование. Люберцы: Юрайт, 2016. 389 с.
6. Стальная М.И., Еремочкин С.Ю., Титова А.А. Патент РФ 163695. Полупроводниковый редуктор, ведомый однофазной сетью переменного тока. Заявка № 2015154188/07; заявл. 16.12.2015; опубл. 10.08.2016, бюл. № 12.

References

1. Sokolovskiy G.G. Elektroprivody peremennogo toka s chastotnym regulirovaniem. M.: Akademiya, 2006.
2. Spravochnaya sistema SimInTech. URL: https://help.simintech.ru/#o_simintech/browsers.html (data obrashcheniya: 20.03.2023).
3. Katsman M.M. Elektricheskie mashiny. M.: Akademiya, 2013.
4. Kupriyashkin A.G. Osnovy modelirovaniya sistem. Norilsk: NII, 2015.
5. Akopov A.S. Imitatsionnoe modelirovanie. Lyubertsy: Yurayt, 2016. 389 c.
6. Stalnaya M.I., Yeremochkin S.Yu., Titova A.A. Patent RF 163695. Poluprovodnikovyy re-duktor, vedomyy odnofaznoy setyu peremennogo toka. Zayavka № 2015154188/07; zayavl. 16.12.2015; opubl. 10.08.2016, byul. № 12.

DOI: 10.35523/2307-5872-2023-44-3-129-136
УДК 631.358:633.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОШИБОК КОПИРОВАНИЯ СДВОЕННОГО ВАЛКА ПОДБИРАЮЩИМ АППАРАТОМ ПРЕСС-ПОДБОРЩИКА

Лобачев А.А., ФГБОУ ВО Костромская ГСХА;
Трофимов М.А., ФГБОУ ВО Костромская ГСХА;
Смирнов С.В., ОГБУЗ «Автобаза ДЗКО»;
Соколов В.Н., ФГБОУ ВО Костромская ГСХА

Для формирования слоя стеблей, поступающего в прессовальную камеру рулонного пресс-подборщика, необходимо две ленты сдвигать ближе одна к другой путем механического воздействия на комли стеблей каждой ленты в направлении их длины. Сдвигание необходимо для исключения ошибок, возникающих при копировании сдвоенного валка, увеличивающих растянутость лент в рулоне, а также уменьшения растянутости стеблей тресты в лентах. При формировании паковки предложенным подбирающим аппаратом благодаря сдвиганию лент комли большинства стеблей оказываются расположенными близко к боковой стенке прессовальной камеры и, следовательно, сориентированными в рулоне. Для обоснования параметров и режимов работы механизма для сдвигания лент сдвоенного валка нашли величину ошибок копирования его подбирающим аппаратом, а также изменение расстояния между комлями лент в валке. При определении величин ошибок копирования сдвоенного валка изучены основные статистические характеристики процесса изменения ординат расположения комлей левой, правой лент и середины сдвоенного валка относительно базовой линии, точность копирования, а также процесс изменения ширины сдвоенного валка. Установлено, что значения ошибок копирования подбирающим аппаратом меньше при копировании сдвоенного валка по комлям левой ленты. При копировании присутствует систематическая ошибка, которая характеризуется математическим ожиданием исследуемого процесса, равным 0,0445 м, и колебаниями значений этих ошибок – среднеквадратичным отклонением, равным 0,031 м. С использованием этих данных проведен расчет основных конструктивных параметров нового подбирающего аппарата для рулонного пресс-подборщика.

Ключевые слова: *лен, стебель, уборка, треста, подбор, сдваивание, льноуборочная машина, пресс-подборщик.*

Для цитирования: *Лобачев А.А., Трофимов М.А., Смирнов С.В. Соколов В.Н. Определение ошибок копирования сдвоенного валка подбирающим аппаратом пресс-подборщика // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 3 (44). С. 129-136.*

Введение. Основным рабочим органом льноуборочной машины, необходимым для осуществления процесса подбора, формирования слоя стеблей и подачи его в прессовальную камеру, является подбирающий аппарат.

В Костромской ГСХА предложен [1, 2], разработан и изготовлен новый подбирающий барабан с вращающимся кожухом и убирающимися пальцами. Отличительной особенностью этого барабана является то, что каждый его палец индивидуально подпружинен и имеет рабочую часть криволинейной формы, отклоненную от радиуса кожуха в сторону вращения.

Для формирования слоя стеблей, поступающего в прессовальную камеру рулонного пресс-подборщика, в котором ленты стеблей наложены одна на другую вершинными частями комлями наружу, необходимо две ленты сдвигать ближе одна к другой путем механического воздействия на комли стеблей каждой ленты в направлении их длины. Такое сдвигание необходимо для исключения ошибок, возникающих при копировании сдвоенного валка, увеличивающих растянутость лент

в рулоне, а также уменьшения растянутости стеблей тресты в лентах. Это значит, что подбирающий аппарат рулонного пресс-подборщика должен иметь механизмы для сдвигания лент.

В процессе реализации новой технологии уборки и подготовки к переработке тресты, основанной на рулонировании валка, образованного путем сдваивания лент накладыванием одной на другую вершинными частями комлями наружу, для облегчения разматывания рулона на льнозаводе и формирования перед мяльно-трепальным агрегатом слоя, в котором все стебли расположены комлями в одну сторону и имеют минимальную растянутость, необходимо, чтобы комли большинства стеблей в рулоне были расположены близко к его торцам. Для образования указанного слоя и подачи его в прессовальную камеру рулонного пресс-подборщика в Костромской ГСХА предложен новый подбирающий аппарат [3].

Схема рулонного пресс-подборщика с новым подбирающим аппаратом показана на рис. 1–вид сбоку и на рис. 2 –вид по стрелке А. Подбирающий аппарат состоит из правой 1 и левой 2 секций, которые представляют зеркальное отражение одна другой.

Подбирающий барабан выполнен оригинальной конструкции [1], причем барабан левой секции является зеркальным отражением барабана правой секции. Каждый барабан имеет по три ряда пальцев и три беговые дорожки. Благодаря такому исполнению подбирающего барабана его пальцы при выполнении технологического процесса плавают по поверхности почвы, копируя микронеровности и не зарываясь в нее. Это обеспечивает высокую чистоту подбора стеблевой массы и уменьшает засорение тресты почвой.

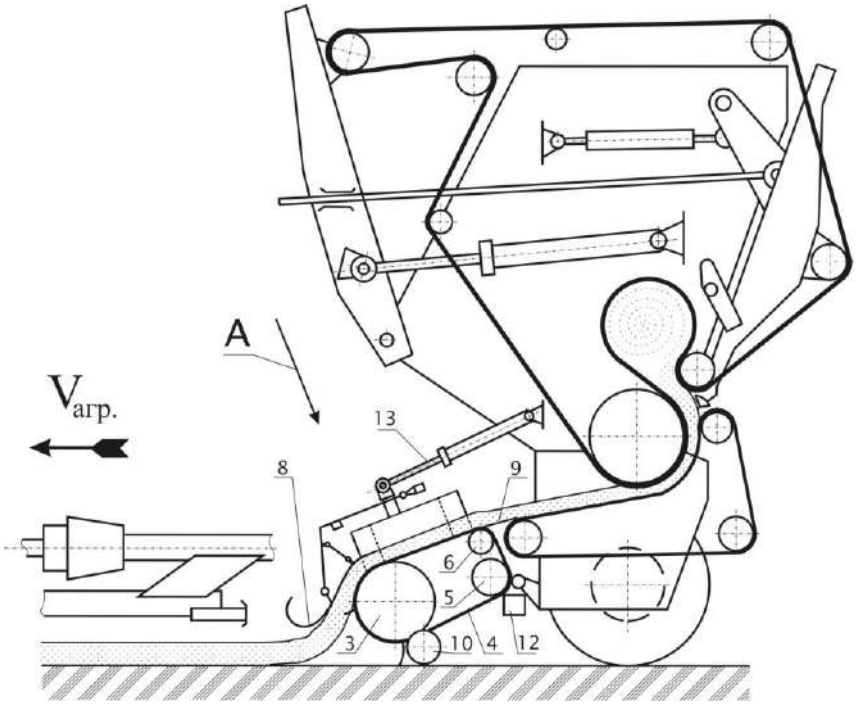


Рисунок 1 – Пресс-подборщик с новым подбирающим аппаратом, вид сбоку

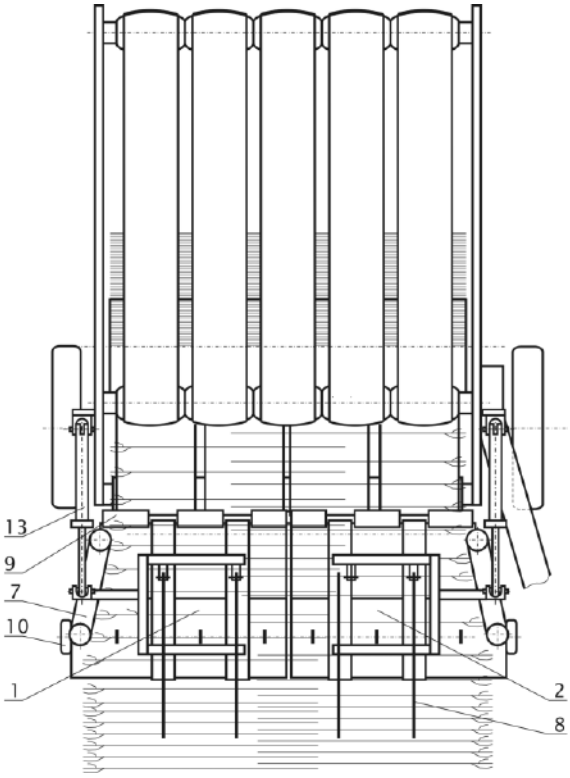


Рисунок 2 – Пресс-подборщик с новым подбирающим аппаратом, вид А на рис. 1

Каждая секция включает подбирающий барабан 3, два ремня 4 с лопатками, охватывающие барабан 3, ведущие шкивы 5 и отклоняющие ролики 6, а также механизм 7 для сдвигания ленты тресты, два полоза 8 и козырьки 9. Секция опирается на копирующее колесо 10.

Рулонный пресс-подборщик ПРП-1,6 с новым подбирающим аппаратом работает следующим образом. При движении машины пальцы подбирающих барабанов 3 правой 1 и левой 2 секций подбирают валок, сформированный путем сдваивания лент наложением одной на другую вершинными частями комлями наружу, как единое целое, поднимают его и передают к ремням 4 с лопатками. Полозья 8 способствуют равномерному подбору и подъему стеблевой массы. Ремни 4 захватывают стебли и передают тресту в направлении прессовальной камеры. Во время перемещения лент тресты ремнями 4 ремнисекций 1 и 2 воздействуют на комлевые части стеблей и сдвигают каждый свою ленту до плоскости боковой стенки прессовальной камеры.

По окончании транспортирования стеблевой массы ремнями 4 козырьки снимают ее с лопаток и ремней и не дают просыпаться стеблям в пространство между подбирающим аппаратом и приемным транспортером прессовальной камеры. Далее треста подается в прессовальную камеру, где сначала образуется зародыш и затем заматывается рулон. При формировании паковки благодаря сдвиганию лент ремнями комли большинства стеблей оказываются расположенными близко к боковой стенке прессовальной камеры и, следовательно, сориентированными в рулоне. После достижения положенных размеров паковки трактор останавливают, прокручивают рабочие органы пресса для обматывания рулона шпагатом, а затем при помощи гидросистемы машины выбрасывают паковку из прессовальной камеры и продолжают работать в таком же порядке до образования следующего рулона.

Цель исследования – обоснование параметров и режимов работы элементов механизмов для сдвигания лент сдвоенного валка.

Для обоснования этих параметром и режимов необходимо знать величину ошибок копирования его подбирающим аппаратом, а также изменение расстояния между комлями лент в валке (шири-

ны сдвоенного валка). Ошибки копирования в основном зависят от динамических особенностей агрегата, от параметров подбираемого валка, от способа копирования, а также индивидуальных способностей механизатора.

Копирование сдвоенного валка подбирающим аппаратом может быть осуществлено по комлям левой или правой лент и по середине сдвоенного валка.

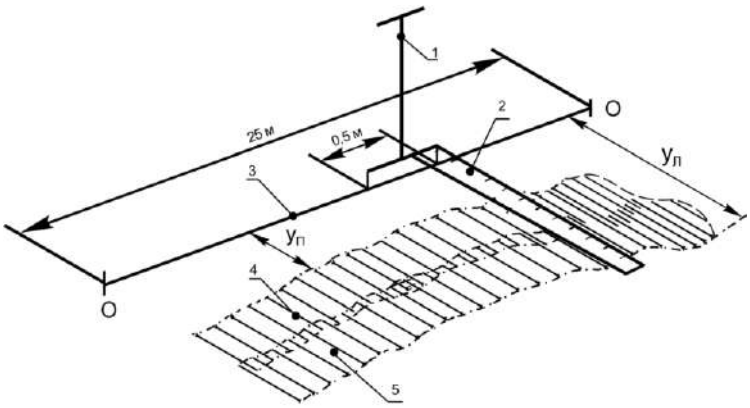
Для определения величин ошибок копирования сдвоенного валка подбирающим аппаратом изучали основные статистические характеристики процесса изменения ординат расположения комлей левой $y_Л(l)$, правой $y_П(l)$ лент и середины сдвоенного валка $\frac{y_Л(l)-y_П(l)}{2}+y_П(l)$ относительно базовой линии О-О, точность копирования $T(l)$ в указанных случаях, а также процесс $S_B(l)$ изменения ширины сдвоенного валка.

Для получения характеристик процесса изменения точности копирования ленты подбирающим барабаном рулонного пресса использовали экспериментальную установку, состоящую из трактора МТЗ-80.1 и рулонного пресс-подборщика ПРП-1,6 с новым подбирающим аппаратом. Перед проведением опытов на поворотную раму подбирающего аппарата крепили маркер (в виде ножевидного сошника), который при проходе агрегата по валку оставлял след на поверхности поля (на рисунках 3, 4 и 5 обозначен буквой М).

Перед проходом экспериментальной установки вдоль валка по методике, примененной В.И. Стяжкиным [4] и А. Н. Зинцовым [5], измеряли ординаты расположения комлей левой $y_Л$ и правой $y_П$ лент валка относительно базовой линий О-О. При этом использовали специально разработанное приспособление (рис. 3). В качестве базовой линии О-О использовали шнур с закрепленными на нем шайбами, который размещали вдоль сдвоенного валка параллельно направлению движения агрегата, что позволило точно выдерживать шаг дискретизации при производстве замеров.

Замеры производили мерной линейкой с точностью до 0,01 м на длине ленты 25 м с интервалом 0,5 м. Длина отрезков ленты и шаг дискретизации выбраны на основании предварительного эксперимента и обусловлены соответственно длиной полупериода макроколебаний изменения кривизны ленты тресты, которую можно достаточно точно скопировать подбирающим барабаном и минимальной длиной четверти периода существенной высокочастотной составляющей исследуемого процесса [6, 7].

После того, как на выбранном участке зарегистрировали ординаты расположения комлей лент сдвоенного валка, убирали шнуры, служившие базовыми линиями, отмечали места их установки вешками, проезжали на этом участке пресс-подборщиком с подбором тресты и формированием рулона. При проходе агрегата на поверхности поля образовывалась бороздка от маркера, она характеризовала траекторию движения подбирающего барабана.



1 - приспособление для измерения ординат $У_Л$ и $У_П$; 2 – линейка; 3– базовая линия О-О; 4, 5 – правая и левая ленты стеблей в сдвоенном валке

Рисунок 3 – Схема проведения измерений ординат расположения комлей лент относительно базовой линии О-О

Затем на этом же участке протягивали шнур на место его бывшего расположения и измеряли ординаты y_M следа, отмеченного маркером, относительно базовой линии О-О. Опыты проводили на четвертой передаче трактора МТЗ-80.1, то есть при движении агрегата со скоростью 2,78 м/с.

Для лучшего понимания схемы измерений при определении точности копирования валка подбирающим аппаратом верхняя часть пресс-подборщика ПРП-1,6 на рисунках 4, 5 и 6 не изображена.

При ориентировании подбирающего аппарата пресс-подборщика по комлям левой ленты сдвоенного валка (рис. 4) точность копирования $T_{К.Л.}$ определяли по выражению:

$$T_{К.Л.} = У_Л - У_М - a_М - a_С, \quad (1)$$

где $У_Л$ - ордината точки, находящейся на линии, проходящей через комли стеблей левой ленты, см;

$У_М$ - ордината точки, находящейся на линии, отмеченной маркером на почве, см;

$a_М$ - расстояние от продольной оси подбирающего аппарата до маркера, см;

$a_С$ - расстояние от продольной оси подбирающего аппарата до следоуказателя, см.

При ориентировании подбирающего аппарата пресс-подборщика по комлям правой ленты сдвоенного валка (рис. 5) точность копирования $T_{К.П.}$ определяли по выражению:

$$T_{К.П.} = У_П - У_М - a_М + a_С, \quad (2)$$

где $У_П$ - ордината точки, находящейся на линии, проходящей через комли стеблей правой ленты, см;

Точность копирования $T_{ср.}$ подбирающим аппаратом сдвоенного валка по его середине (см. рис. 6) находили по формуле:

$$T_{ср.} = \frac{У_Л - У_П}{2} + У_П - У_М - a_М. \quad (3)$$

Отклонения подбирающего барабана от середины сдвоенного валка вправо имеют знак “+”, а влево – знак “-”.

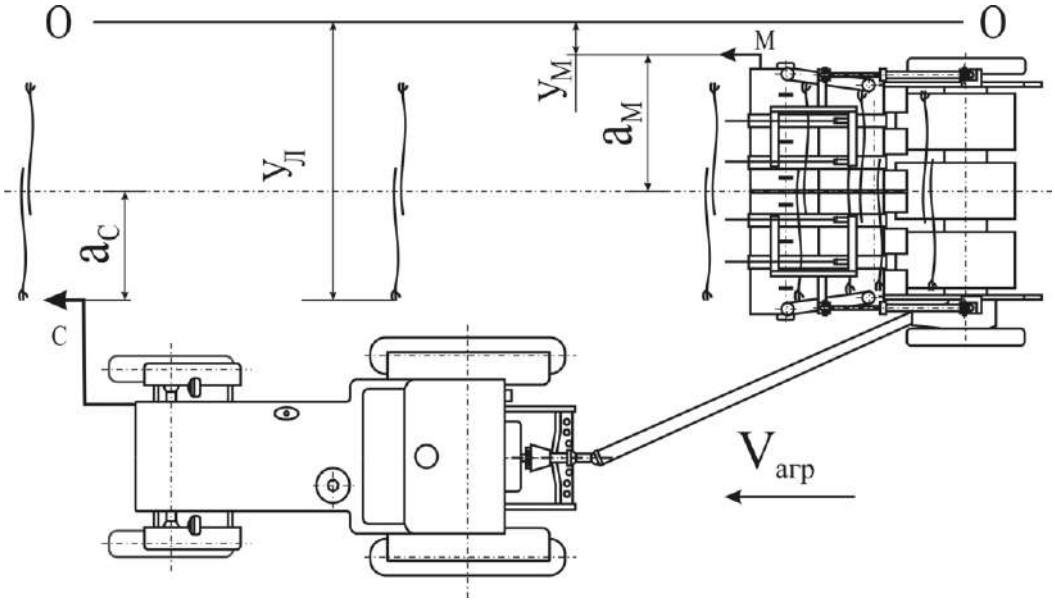


Рисунок 4 – Схема измерений ординат при копировании сдвоенного валка по комлям левой ленты

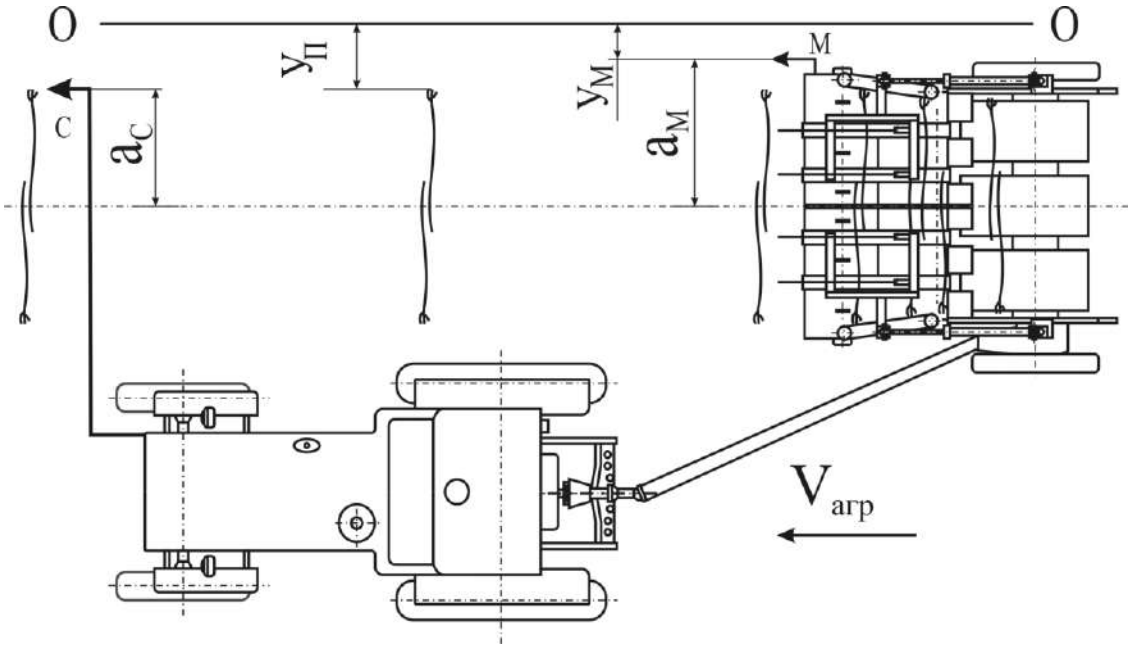


Рисунок 5 – Схема измерений ординат при копировании сдвоенного валка по комлям правой ленты

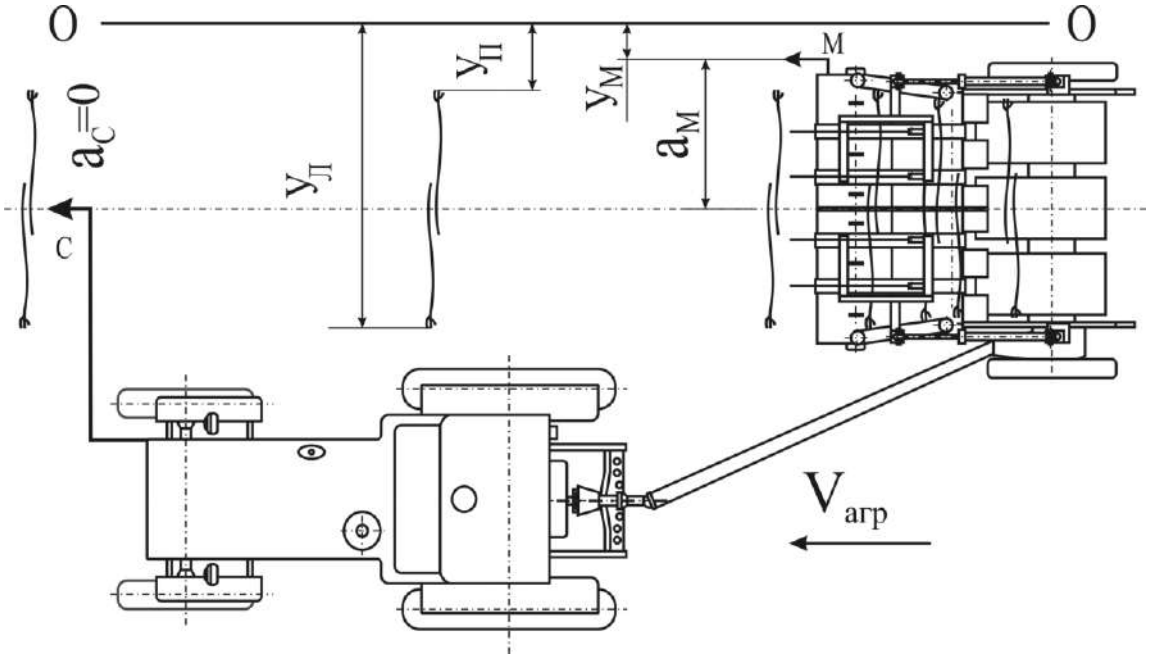


Рисунок 6 – Схема измерений ординат при копировании сдвоенного валка по его середине

Ширину сдвоенного валка определяли по выражению:

$$S_{в.} = У_Л - У_П. \quad (4)$$

Результаты исследования и их анализ. В результате обработки экспериментальных данных на ЭВМ были получены числовые характеристики ошибок копирования подбирающим аппаратом сдвоенного валка по комлям левой, правой лент и его середине, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Числовые характеристики ошибок копирования сдвоенного валка

Способ копирования сдвоенного валка	Математическое ожидание m, м	Среднеквадратичное отклонение σ, м
По комлям левой ленты	0,0445	0,031
По комлям правой ленты	0,0638	0,0491
По середине валка	0,0731	0,0851

По данным таблицы 1 видно, что значения ошибок копирования подбирающим аппаратом меньше при копировании сдвоенного валка по комлям левой ленты. Последнее объясняется тем, что линия, проходящая через комлевые части левой ленты, находится ближе к трактору, чем другие, в результате этого механизатор более четко просматривает ее и может с меньшими ошибками сориентировать по ней агрегат. При копировании присутствует систематическая ошибка, которая характеризуется математическим ожиданием m_Tисследуемого процесса, равным 0,0445 м, и колебаниями значений этих ошибок – среднеквадратичным отклонением σ_T , равным 0,031 м.

Выводы. С использованием данных экспериментальных исследований проведен расчет основных конструктивных параметров нового подбирающего аппарата для рулонного пресс-подборщика ПРП-1,6. Во время выполнения технологического процесса подбирающий аппарат рулонного должен подбирать сдвоенный валок, состоящий из двух лент. При этом должно обеспечиваться гарантированное попадание комлей обоих лент на рабочие ветви ремней механизмов для сдвигания левой и правой секций. Определена минимально допустимая ширина сдвоенного валка, она составляет 1,7 м.

Список используемой литературы

1. Патент 2250594 РФ, МПК А 01 D 89/00, 45/06. Подбирающий барабан для стеблей сельскохозяйственных культур / Смирнов Н.А., Трофимов М.А, Смирнов С.В., Лобачев А.А. Заявл. 03.03.2003. Опубл. 27.04.2005. Бюл. № 12.

2. Трофимов М.А., Лобачев А.А., Разин С.Н. Теоретическое обоснование взаимодействия стебля с кожухом и пальцем криволинейной формы подбирающего аппарата льноуборочной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. 2020. № 3 (32). С. 97–105.

3. Патент 2264075 РФ, МПК А 01 F 15/07, 15/10, А 01 D 45/06. Рулонный пресс-подборщик лубяных культур / Смирнов Н.А., Лобачев А.А. Заявл. 03.02.2004. Опубл. 20.11.2005. Бюл. № 32.

4. Стяжкин В.И. Исследование динамики навесного подборщика тресты ПТН-1 с целью улучшения показателей его рабочего процесса: автореф. дис. … канд. техн. наук. Л., 1982.

5. Зинцов А.Н. Повышение эффективности подборщика-очесывателя путем ориентирования ленты льна перед очесывающим аппаратом: дис. …. канд. техн. наук. Кострома, 1996.

6. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1981.

7. Методика статистической обработки на ЭВМ результатов испытаний и исследований сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления. Под ред. Лурье А.Б. Л., 1983.

References

1. Patent 2250594 RF, MPK A 01 D 89/00, 45/06. Podbirayushchiy baraban dlya stebley selskokhozyaystvennykh kultur / Smirnov N.A., Trofimov M.A, Smirnov S.V., Lobachev A.A. Zayavl. 03.03.2003. Opubl. 27.04.2005. Byul. № 12.

2. Trofimov M.A., Lobachev A.A., Razin S.N. Teoreticheskoe obosnovanie vzaimodeystviya steblya s kozhukhom i paltsem krivolineynoy formy podbirayushchego apparata lnouborochnoy mashiny // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. 2020. № 3 (32). S. 97–105.

3. Patent 2264075 RF, MPK A 01 F 15/07, 15/10, A 01 D 45/06. Rulonnyy press-podborshchik lubyanykh kultur / Smirnov N.A., Lobachev A.A. Zayavl. 03.02.2004. Opubl. 20.11.2005. Byul. № 32.

4. Styazhkin V.I. Issledovanie dinamiki navesnogo podborshchika tresty PTN-1 s tselyu uluchsheniya pokazateley ego rabochego protsessa: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk. L., 1982.

5. Zintsov A.N. Povyshenie effektivnosti podborshchika-ochesyvatelya putem orientirovaniya lenty lna pered ochesyvayushchim apparatom: dis. …. kand. tekhn. nauk. Kostroma, 1996.

6. Lure A.B. Statisticheskaya dinamika selskokhozyaystvennykh agregatov. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Kolos, 1981.

7. Metodika statisticheskoy obrabotki na EVM rezultatov ispytaniy i issledovaniy selskokhozyaystvennykh agregatov i ikh sistem upravleniya. Pod red. Lure A.B. L., 1983.

DOI: 10.35523/2307-5872-2023-44-3-137-141
УДК 631.362.3

ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА ОБРАЗУЮЩЕЙ РЕШЁТ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ К ГОРИЗОНТАЛИ

Николаев В.А., ФГБОУ ВО Ярославский ТУ

Высокопроизводительная полуавтоматическая зерноочистительная машина с решётами, представляющими в совокупности перевёрнутый усечённый конус, совершающий вертикальные колебания, позволит существенно улучшить качество сепарации зерна. В результате анализа взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом выявлены параметры траектории зерновки после первого касания решета полуавтоматической зерноочистительной машины, вычислена угловая скорость корпуса полуавтоматической зерноочистительной машины и период колебания решёт. Для определения оптимального угла наклона решёт, соответствующего наклону к горизонтали образующей перевёрнутого усечённого конуса, с целью осуществления качественной сепарации зерна, необходим анализ параметров зерновки, попавшей на решето, при наличии потока воздуха. Зерно свободно падает на периферию внешнего решета. Поток воздуха движется от центра к периферии решёт, почти перпендикулярно потоку падающего зерна. В процессе падения воздух выдувает из зерна лёгкие примеси. Затем зерно слоем перемещается от периферии к центру полуавтоматической зерноочистительной машины по коническим решётам. Поток воздуха движется навстречу потоку зерна. На каждую зерновку, расположенную на решете, воздействует лишь часть силы потока воздуха, так как её от потока воздуха частично закрывают соседние зерновки, находящиеся в слое. Проведён анализ взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом и потоком воздуха. В результате анализа выявлено, что оптимальный угол наклона образующей решёт к горизонтали 26 градусов. При этом перемещение зерновки за цикл колебания решёт вниз 21,5 мм, а вверх – 0,58 мм. Общее перемещение зерновки по решётам от периферии к центру полуавтоматической зерноочистительной машины за один цикл колебания решёт около 20 мм. Такое перемещение зерновок обеспечит качественную сепарацию.

Ключевые слова: *зерноочистительная машина, перевёрнутый усечённый конус, вертикально колеблющееся решето, взаимодействие зерновки с решетом, сила воздействия на зерновку, угол наклона решёт.*

Для цитирования: *Николаев В.А. Окончательное определение оптимального угла наклона образующей решёт полуавтоматической зерноочистительной машины к горизонтали // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 3 (44). С. 137-141.*

Введение. Высокопроизводительная полуавтоматическая зерноочистительная машина с решётами, представляющими в совокупности перевёрнутый усечённый конус, совершающий вертикальные колебания [1, с. 1-20], позволит существенно улучшить качество сепарации зерна. В результате анализа взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом [2, с. 92-102] выявлены параметры траектории зерновки после первого касания решета полуавтоматической зерноочистительной машины [3, с. 71-76], вычислена угловая скорость корпуса полуавтоматической зерноочистительной машины и период колебания решёт [4, с. 64-70; 5 с. 69-74].

Ранее [6, с. 183-197] был проведён анализ перемещения зерновки вниз по решету в момент изменения направления движения решёт, когда они находятся в нижнем положении, при равномерном движении решета вверх, в период изменения направления движения решета в верхнем поло-

жении и при равноускоренном движении решёт вниз без участия воздушного потока. Для окончательного определения оптимального угла наклона решёт, соответствующего наклону к горизонтали образующей перевёрнутого усечённого конуса, с целью осуществления качественной сепарации зерна, необходим анализ параметров зерновки, попавшей на решето, при наличии потока воздуха.

Цель исследования. Целью исследования является выявление оптимального угла наклона к горизонтали образующей перевёрнутого усечённого конуса, который образуют решёта полуавтоматической зерноочистительной машины при наличии потока воздуха.

Метод исследования. Анализ взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом и потоком воздуха.

Результаты исследования. Зерно свободно падает на периферию внешнего решета [1, с. 1-20]. Поток воздуха движется от центра к периферии решёт, почти перпендикулярно потоку падающего зерна. В процессе падения воздух выдувает из зерна лёгкие примеси. Затем зерно слоем перемещается от периферии к центру полуавтоматической зерноочистительной машины по коническим решётам. Поток воздуха движется навстречу потоку зерна.

На каждую зерновку, расположенную на решете, воздействует лишь часть силы R потока воздуха, так как её от потока воздуха частично закрывают соседние зерновки, находящиеся в слое. Реальную силу воздействия на зерновку потока воздуха можно определить лишь опытным путём. Для теоретического расчёта примем допущение, что на зерновку действует половина силы воздействия потока воздуха: $R_{0,5} = 0{,}65 \cdot 10^{-4}$ Н [6, с. 154]. Вновь проанализируем перемещение зерновки по решету в диапазоне изменения углов наклона образующей решёт к горизонтали от $\alpha = 25°$ до $\alpha = 32°$. В таблице 1 даны результаты расчётов параметров перемещения зерновки вниз в момент изменения направления движения решета в нижнем положении. Перемещение зерновки вниз на участке её ускорения в нижней точке траектории решёт несколько увеличилось в сравнении с результатами без учёта потока воздуха.

Таблица 1 – Результаты расчётов пути перемещения зерновки вниз на участке её ускорения в нижней точке траектории решёт при различных углах наклона образующей решёт к горизонтали, когда сила воздействия потока воздуха: $R_{0,5} = 0{,}65 \cdot 10^{-4}$ Н.

Угол α	Норм. реак., N	Сила трен., $F_т$	Движ. сила	Сила $R_{0,5}$	Сумм. сила, F_Σ	Ускор., $a_{ну}$	Время, $\tau_{рвз}$	Путь, $s_{ну}$
град.	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	м/с·с	с	м
25	30	9	13,94	0,65	4,29	14,3	0,01	0,000715
26	29,6	8,88	14,46	0,65	4,93	16,43	0,01	0,000822
27	29,4	8,82	14,98	0,65	5,51	18,36	0,01	0,000918
28	29,14	8,742	15,5	0,65	6,108	20,36	0,01	0,001018
29	28,86	8,658	16	0,65	6,692	22,3	0,01	0,001115
30	28,6	8,58	16,5	0,65	7,27	24,23	0,01	0,001212
31	28,3	8,49	17	0,65	7,86	26,2	0,01	0,00131
32	28	8,4	17,5	0,65	8,45	28,16	0,01	0,001408

В таблице 2 даны результаты расчётов общего пути перемещения зерновки вниз при различных углах наклона образующей решёт к горизонтали, когда сила воздействия потока воздуха: $R_{0,5} = 0{,}65 \cdot 10^{-4}$ Н.

Таблица 2 – Результаты расчётов общего пути перемещения зерновки вниз при различных углах наклона образующей решёт к горизонтали, когда сила воздействия потока воздуха: $R_{0,5} = 0,65 \cdot 10^{-4}$ Н

Угол α	Норм. р., N	Сила тр., Fт	Движ. сила	Сила, F_{Σ}	Нач. скор., v	Ускор., $a_{нз}$	Врем. $\tau_{рвз}$	Путь, $s_{нз}$	Общий путь, $s_{н\Sigma}$	Общий путь, $s_{н\Sigma}$
град	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	м/с	м/с·с	с	м	м	мм
25	2,74	0,822	1,22	-0,252	0,143	-0,84	0,17	0,012	0,0129	12,9
26	2,72	0,816	1,27	-0,196	0,164	-0,653	0,251	0,020	0,0215	21,5
27	2,69	0,807	1,32	-0,137	0,183	-0,456	0,402	0,036	0,0378	37,8
28	2,67	0,801	1,36	-0,091	0,203	-0,303	0,671	0,068	0,0693	69,3
29	2,65	0,795	1,41	-0,035	0,223	-0,116	1,912	0,213	0,2143	214,3
30	2,62	0,786	1,45	0,014	0,242	0,046				
31	2,6	0,78	1,5	0,07	0,262	0,233				
32	2,57	0,771	1,55	0,129	0,281	0,43				

Время подъёма решета с постоянной скоростью: $\tau_{рп} = 0,12$ с. Между тем, из таблицы 2 видно, что время перемещения зерновки вниз, когда угол наклона образующей решёт к горизонтали $\alpha \geq 27°$, превышает время подъёма решета с постоянной скоростью [6, с. 187]. Следовательно, при равномерном движении решёт из нижнего положения вверх зерновка, перемещаясь вниз по решету, не полностью останавливается на этом участке. Когда угол $\alpha \geq 30°$, зерновка перемещается вниз с ускорением в то время, когда решето движется вверх, что нежелательно.

В верхнем положении решёт в момент изменения направления их движения сила инерции зерновки уравновешивает силу тяжести [6, с. 190], поэтому нормальная реакция решета на воздействие зерновки и сила трения зерновки о решето равны нулю. Зерновка переместится по решету вверх от воздействия силы $R_{0,5} = 0,65 \cdot 10^{-4}$ Н потока воздуха. Эта сила создаст ускорение $a_{ву} = \frac{R_{0,5}}{m}$; $a_{ву} = \frac{0,65 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-5}} \approx 2,17$ м/с^2.

Время замедления решета при подходе к верхней точке траектории $\tau_{рвз} = 0,018$ с [6, с. 171]. В конце участка ускорения вверх по решету зерновка приобретёт скорость

$$v_{ву} = a_{ву}\tau_{рвз};\ v_{ву} = 2,17 \cdot 0,018 \approx 0,039 \text{ м/с}.$$

Начальная скорость зерновки по решету равна нулю, поэтому путь перемещения зерновки вверх при её ускорении от воздействия потока воздуха

$$s_{ву} = \frac{a_{ву}\tau_{рвз}^2}{2};\ s_{ву} = \frac{2,17 \cdot 0,018^2}{2} = 0,00035 \text{ м} = 0,35 \text{ мм}.$$

Время увеличения ускорения решета вниз $\tau_{рну} = 0,034$ с [4, с. 192]. Допустим, конечная скорость зерновки вверх по решету на этом участке равна нулю, тогда ускорение зерновки вверх после изменения направления движения решета в верхнем положении

$$a_{вз} = \frac{v_{ву}}{\tau_{рну}};\ a_{вз} = \frac{0,039}{0,034} = 1,15 \text{ м/с}^2.$$

Это ускорение создаст силу инерции зерновки, направленную параллельно решету вверх: $F_{j\,вз} = a_{вз}m$; $F_{j\,вз} = 1,15 \cdot 3 \cdot 10^{-5} = 0,345 \cdot 10^{-4}$ Н.

Результирующая сила F_{Σ} получается отрицательной [6, с. 192]. Следовательно, на этом участке зерновка движется с замедлением. Результаты расчётов пути перемещения зерновки вверх на участке увеличения ускорения решёт при их движении вниз даны в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов пути перемещения зерновки вверх на участке увеличения ускорения решёт при их движении вниз

Угол α	Норм. реак., N	Сила тр., Fт	Движ. сила	Сила, F_{Σ}	Скор., $v_{\text{в у}}$	Ускор., $a_{\text{в з}}$	Время, $\tau_{\text{в з}}$	Путь, $s_{\text{в з}}$	Общий путь вверх, $s_{\text{в}\Sigma}$
град	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	Н·10^{-4}	м/с	м/с·с	с	м	м
25	2,61	0,783	1,16	-0,948	0,039	-3,16	0,0122	0,0002	0,00059
26	2,59	0,777	1,21	-0,992	0,039	-3,30	0,0117	0,0002	0,00058
27	2,57	0,771	1,25	-1,026	0,039	-3,42	0,0114	0,0002	0,00057
28	2,55	0,765	1,3	-1,07	0,039	-3,56	0,0109	0,0002	0,00056
29	2,52	0,756	1,34	-1,101	0,039	-3,67	0,0106	0,0002	0,00055
30	2,5	0,75	1,39	-1,145	0,039	-3,81	0,0102	0,0001	0,00054
31	2,48	0,744	1,43	-1,179	0,039	-3,93	0,0099	0,0001	0,00054
32	2,45	0,735	1,47	-1,209	0,039	-4,03	0,0096	0,0001	0,00053

Из таблицы 3 можно сделать два вывода. Во-первых, когда сила воздействия потока воздуха $R_{0,5} = 0,65 \cdot 10^{-4}$ Н, время замедления перемещения зерновки вверх меньше времени участка увеличения ускорения решёт вниз. Поэтому зерновка на этом участке завершит перемещение вверх. На участке равноускоренного движения решёт вниз зерновка будет неподвижна. Во-вторых, общий путь зерновки вверх по решету незначительно зависит от угла наклона образующей решёт к горизонтали. Он немногим более 0,5 мм.

Вывод. Оптимальный угол наклона образующей решёт к горизонтали $\alpha = 26°$. При этом перемещение зерновки, за цикл колебания решёт, вниз 21,5 мм (см. таблицу 2), а вверх – 0,58 мм (см. таблицу 3). Общее перемещение зерновки по решётам от периферии к центру полуавтоматической зерноочистительной машины, за один цикл колебания решёт, $s_{\Sigma} = 21,5 - 0,58 \approx 19,9$ мм. Такое перемещение зерновок обеспечит качественную сепарацию. В начале сепарации, когда на первый ряд зерновок, поступающих на решёта, воздействует вся сила потока воздуха, для предотвращения торможения зерна на решётах поток воздуха следует уменьшить.

Список используемой литературы

1. Николаев В.А. Патент РФ № 2623473. Полуавтоматическая зерноочистительная машина. Заявка № 2016108555; заявл. 23.04.2015; опубл. 20.06.2017, бюл. № 18.

2. Николаев В.А. Определение параметров траектории зерновки при её падении на решето полуавтоматической зерноочистительной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. № 4. 2019. С. 92-102.

3. Николаев В.А. Параметры траектории зерновки после касания решета полуавтоматической зерноочистительной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. № 2. 2020. С. 71-76.

4. Николаев В.А. Определение параметров дорожки полуавтоматической зерноочистительной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. № 1. 2021. С. 64-70.

5. Николаев В.А. Определение угловой скорости корпуса полуавтоматической зерноочистительной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. № 3. 2021. С. 69-74.

6. Николаев В.А., Кряклина И.В. Очистка зерна от примесей и его предварительная сушка. Ярославль. Изд-во ФГОУ ВО ЯГСХА, 2017.

References

1. Nikolaev V.A. Patent RF № 2623473. Poluavtomaticheskaya zernoochistitelnaya mashina. Zayavka № 2016108555; zayavl. 23.04.2015; opubl. 20.06.2017, byul. №18.

2. Nikolaev V.A. Opredelenie parametrov traektorii zernovki pri ee padenii na resheto poluavtomaticheskoy zernoochistitelnoy mashiny // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. №4. 2019. S. 92-102.

3. Nikolaev V.A. Parametry traektorii zernovki posle kasaniya resheta poluavtomaticheskoy zernoochistitelnoy mashiny // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. №2. 2020. S. 71-76.

4. Nikolaev V.A. Opredelenie parametrov dorozhki poluavtomaticheskoy zernoochistitelnoy mashiny // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. №1. 2021. S. 64-70.

5. Nikolaev V.A. Opredelenie uglovoy skorosti korpusa poluavtomaticheskoy zernoochistitelnoy mashiny // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. №3. 2021. S. 69-74.

6. Nikolaev V.A., Kryaklina I.V. Ochistka zerna ot primesey i ego predvaritelnaya sushka. Yaroslavl. Izd-vo FGOU VO YaGSKhA, 2017.