

Министерство образования и науки  
Донецкой Народной Республики  
ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
имени Михаила Туган-Барановского»

*На правах рукописи*



**Коваленко Артём Владимирович**

**ПРОЦЕСС ВИБРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ МАСС И  
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕГО ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ**

05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк – 2020

Работа выполнена на кафедре оборудования пищевых производств ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», г. Донецк.

Научный  
руководитель: доктор технических наук, доцент  
**Соколов Сергей Анатольевич**

Официальные  
оппоненты: **Гутаревич Виктор Олегович,**  
доктор технических наук, доцент,  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»/  
профессор кафедры транспортных систем и логистики  
имени И.Г. Штокмана

**Владимиров Сергей Владимирович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
ГО ВПО «Донецкий национальный  
университет экономики и торговли»/  
доцент кафедры технологии и организации производства  
продуктов питания имени Коршуновой А.Ф.

Ведущая  
организация: Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«Донбасская национальная академия строительства и  
архитектуры»**, г. Макеевка.

Защита состоится «04» июня 2020 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.025.02 при ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» по адресу: 83001, г. Донецк, проспект Театральный 28, ауд. 7304.

Тел. +38(062)304-50-46, e-mail: obladn@kaf.donnuet.education.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого национального университета по адресу: 83001, г. Донецк, проспект Театральный 28, <http://library.donnuet.education>.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 01.025.02  Севаторов Николай Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** На любых современных производствах всегда существует необходимость транспортировки предметов производства в пределах своей территории и внутри цехов. Стремясь к увеличению объема и качества выпускаемой продукции, разных областей пищевой промышленности, постоянно повышаются темпы производства. Любое развитие требует, прежде всего энергетических затрат, с каждым годом потребности в электроэнергии возрастают. И при существующей форме национальной экономики нашего государства можно ждать возникновения серьезной энергетической проблемы.

Вибрационные транспортирующие машины имеют существенные преимущества перед многими другими видами транспортирующих машин: простота конструктивного исполнения; минимальное число пар трения; удобство обслуживания; возможность герметизации рабочего органа и совмещение транспортирования с разными технологическими процессами; возможность перемещения продуктов, которые трудно транспортировать другими способами; возможность безперегрузочной транспортировки, самая большая оптимальная длина на один привод; возможность промежуточной загрузки и разгрузки конвейера; малые габариты по высоте; небольшой удельный расход энергии на перемещение груза; возможность создания уравновешенных конструкций, которые не передают колебания на фундамент; продолжительный срок службы.

Выбор оборудования на производствах проводится исходя из себестоимости, производительности, габаритных размеров, энергопотребления и др.

В связи с вышесказанным возникает необходимость в создании новых конструкций вибротранспортеров с рациональными режимами и параметрами работы. Разработка конструкций машин со ступенчатой поверхностью рабочего органа, который совершает гармонические колебания в горизонтальной плоскости, работающих с меньшим энергопотреблением будет способствовать повышению производительности и снижению себестоимости пищевых продуктов, произведенных из зернового материала, и увеличению объема их производства.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является научное обоснование направленного энергосберегающего процесса перемещения зерновых масс на ступенчатом горизонтальном органе вибрационного транспортёра и предложения по его технической реализации.

Для достижения основной цели необходимо решить ряд задач, а именно:

- выполнить системный анализ применения вибрационных транспортёров для перемещения зерновых масс, обратив особое внимание на использование ступенчатых рабочих поверхностей;
- разработать математическую модель процесса направленного перемещения ступенчатым рабочим органом вибрационного конвейера, которая позволила бы производить оценку его энергоёмкости при транспортировании различных зерновых материалов: пшеницы, фасоли, гороха и др.;

- получить аналитические зависимости, позволяющие назначить рациональные режимы работы вибрационного транспортёра, его упругие связи, мощность и частоту колебания;
- провести обоснование использования универсального стенда ВЭДС-10А для исследования процессов, происходящих при перемещении зерновых масс на горизонтальном ступенчатом рабочем органе;
- разработать методику экспериментальных процессов целенаправленного движения зерновых масс, провести экспериментальные исследования и выполнить численный анализ результатов исследований;
- на базе установленных закономерностей процессов направленного перемещения зерновых масс на ступенчатом рабочем органе при его горизонтальных колебаниях разработать технические предложения по созданию новых типов вибрационных транспортёров;
- оценить технико-экономические показатели предложенных новых технических решений вибрационных транспортёров со ступенчатым рабочим органом.

**Объект исследования** – технологические процессы, происходящие на ступенчатом рабочем органе горизонтального вибрационного транспортёра.

**Предмет исследования** – процессы целенаправленного перемещения зерновых масс с различными физико-механическими характеристиками на горизонтальном вибрационном транспортёре со ступенчатым рабочим органом.

**Методы исследования.** Теоретические исследования в работе базировались на теории виброперемещения твердых тел, методах математического моделирования виброперемещения зернового слоя с применением пакета MathCAD.

Экспериментальные исследования проводились с применением серийно изготавливаемой измерительной аппаратуры: универсального стенда измерения вибрации ВЭДС-10А, пульта управления СУПВ-0,1А, генератора ГЗ-34 и осциллографа С1-5. Исследования базировались на методах прямого сравнения аналитических и экспериментальных данных.

В ходе выполнения работы применялись компьютерные технологии: для математического моделирования процесса вибротранспортирования и обработки экспериментальных данных – программный пакет MathCad и Maple, для статистического моделирования – табличный процессор Microsoft Office Excel, для выполнения графического материала – профессионально направлена программа AutoCAD.

### **Научные положения, выносимые на защиту:**

- закономерности процессов направленного перемещения зерновой массы ступенчатым органом вибрационного конвейера, а также математическая модель, которая позволяет производить оценку кинематических и энергетических параметров;
- методика экспериментальных исследований направленного перемещения сыпучих материалов ступенчатым рабочим органом с использованием универсального стенда ВЭДС-10А;

- результаты экспериментальных исследований процессов перемещения ступенчатым рабочим органом различных зерновых сред (зерна, гороха, фасоли и др.), позволяющие обосновать рекомендации по назначению частоты, амплитуды, массы вибратора, массы рамы вибрационного транспортера;

- технико-экономические показатели вибрационных транспортеров со ступенчатым рабочим органом.

### **Научная новизна полученных результатов.**

1. Впервые установлены закономерности поведения одиночных зёрен на ступенчатых поверхностях с учётом их физико-механических характеристик и режима работы горизонтальных вибрационных транспортёрах;

2. Установлена взаимосвязь геометрических параметров ступеней рабочего органа с физико-механическими характеристиками транспортируемого материала при различных режимах работы горизонтального транспортёра;

3. Получены аналитические зависимости для назначения режимов работы вибрационного транспортёра, которые обеспечивают заданные направления движения зерновой массы различных продуктов: пшеницы, гороха, фасоли и др.;

4. Предложены и обоснованы технические решения горизонтальных вибротранспортёров, обеспечивающих перемещение зерновой массы с минимальными энергозатратами.

### **Практическая значимость работы.**

1. Разработка новых конструкций вибрационных транспортеров для зерновых масс, работающих с более низким энергопотреблением, в отличие от существующих вибрационных транспортеров и обеспечивающих при этом такую же технологическую производительность.

2. В работе предложена схема вибрационного транспортера для реализации оптимальных режимов и параметров его работы. А также экспериментально были апробированы конструкции вибротранспортеров ступенчатого типа с горизонтальным направлением колебаний рабочего органа.

3. Результаты научных исследований защищены четырьмя патентами Украины: № 26133, № 40430, № 40740, №96293.

4. Результаты работы внедрены на трёх производственных предприятиях (Днепропетровский пивоваренный завод «ДНЕПР», производственно-торговый комплекс «ШАХТЕР», общество с ограниченной ответственностью производственный комплекс «Млин»).

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов исследований подтверждается методологической базой исследований, основанной на фундаментальных теоретических положений вибрационных процессов, проверкой адекватности построенных моделей, совпадением полученных результатов исследований с результатами экспериментальных исследований других авторов.

Основные положения выполненных исследований докладывались, обговаривались и были одобрены на научно-практических конференциях разного уровня: «Техника и технология пищевых производств» (г.Могилев, 2006 г.); «Удосконалення процесів і обладнання харчових виробництв» (г. Донецк, 2006 г.); «Наукові здобутки молоді – вирішення проблем харчування людства у XXI столітті», (г. Киев, 2007г.); «Інноваційні енерго- й ресурсозберігаючі технології та обладнання в хлібопекарській, кондитерській, макаронній, харчоконцентратній галузях харчової промисловості» (г. Киев, 2008г.); «Обладнання та технології харчових виробництв» (г.Святогорск, 2009г.), XLIV научная и учебно-методическая конференція (г. Санкт-Петербург, 2015 г.),научно-практической конференции преподавателей и аспирантов Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского «Процессы и оборудование пищевых производств» (г. Донецк, 2010-2017 г.), международной научно-практической конференции «Молодёжный форум: технические и математические науки» (Воронеж, 2015 г.), Всероссийский конгресс молодых ученых (Санкт-Петербург, 2016 г.), международной научно-практической конференции «Научно-техническое творчество студентов по процессам и оборудованию пищевых производств» (Донецк, 2016 г), международной научно-практической конференции «Социально-экономическое развитие России: актуальные подходы и перспективные решения» (Краснодар, 2017 г.), научно-практической конференции «Образование, наука и молодежь 2017» (Керчь 2017 г.), III Международная научно-практическая конференция «Современные процессы в пищевых производствах и инновационные технологии обеспечения качества пищевых продуктов» (Донецк, 2018 г); XII Международная научно-техническая конференция «Техника и технология пищевых производств» (Могилёв, 2018 г.).

В полном объеме диссертационная работа заслушивалась на научных семинарах университетов ДонНУЭТ им. М. Туган-Барановского.

**Публикации результатов исследований.** По теме диссертации опубликовано 30 научных работ, из них 11 статей, входящих в перечень ВАК и 4 патента.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Основной текст работы изложен на 139 страницах, содержит 41 рисунок и 25 таблиц. Список использованных источников включает 150 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, цели и задачи исследований.

**В первом разделе** диссертации «Обзор и анализ литературных источников в области транспортирования сыпучих продуктов» проведен системный анализ результатов исследований по вопросам транспортирования сыпучих продуктов на пищевых производствах. Особое внимание уделено процессам перемещения сыпучих материалов, таких как зерно, горох, фасоль и др.

В основу анализа положены работы ведущих ученых в области механизации процессов в пищевой промышленности: Бакеева С.Д., Барышева А.И., Богомолова А.В., Бутковского В.А., Гросула Л.Г., Егорова Г.А., Заплетникова И.Н., Фалько О.Л., Назаренко И.И., Соколова А.Я. и др.

Детально проанализированы результаты исследований, которые позволяют объяснить вибрационные процессы, происходящие в различном оборудовании как пищевой промышленности, так и машиностроении, строительстве.

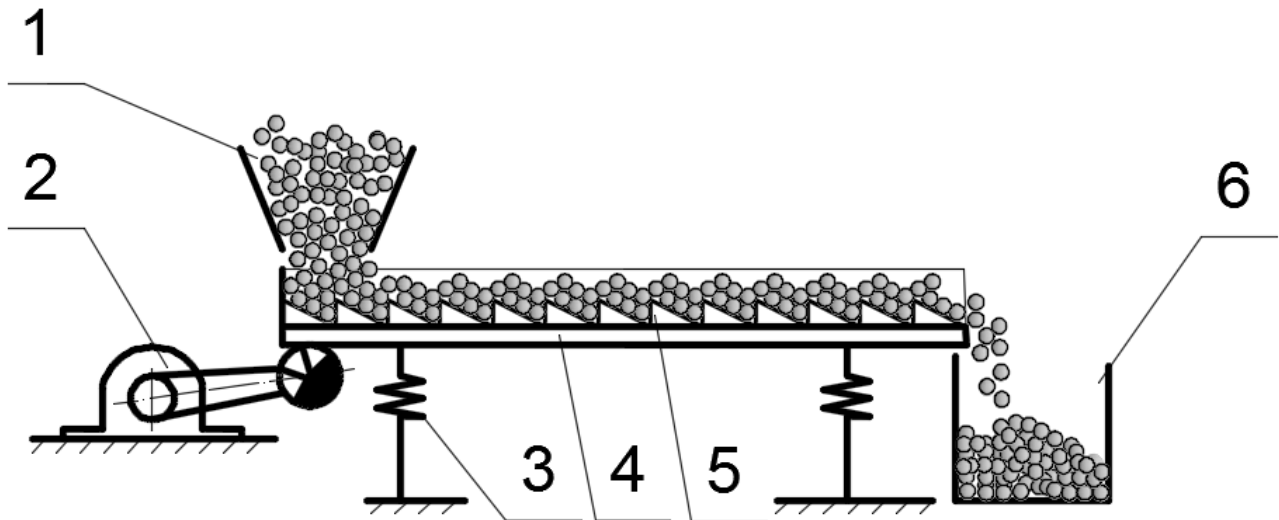
Уделено особое внимание исследованиям таких ученых как Блехман И.И., Александров М.П., Лавенцел Э.Э., Гончаревич И.Ф., Назаренко И.И., Саленко Ю.С., Спиваковский А.О., Потураев В.Н., Фалько А.Л., Шамота В.П. и др.

Обоснован выбор объекта исследований на основе литературных источников, в которых описаны достоинства вибрационных конвейеров обеспечивающие их преимущества при использовании в промышленности.

Доказана необходимость дальнейшего аналитического установления и практического подтверждение этапов виброперемещения зернового продукта по ступенчатому рабочему органу при горизонтально направленных колебаниях; разработка математической модели процесса виброперемещения продукта и теоретическое определение основных параметров процесса, в частности определение теоретической скорости виброперемещения продукта по рабочему органу; экспериментальное подтверждение полученных теоретических значений параметров виброперемещения, определение границы применения разработанной теории; с предложением конструктивных схем, разработкой и внедрением опытных образцов вибрационных машин со ступенчатыми рабочими органами для транспортирования зерновых масс.

**Во втором разделе** «Разработка математической модели процессов вибрационного перемещения зерновых масс по ступенчатой поверхности» проведены теоретические исследования процесса целенаправленного перемещения зерновых продуктов вибрационным транспортером со ступенчатой горизонтальной поверхностью (рис. 1)

Разработана и описана методика проведения диссертационного исследования, которая была разделена на аналитический и экспериментальный этапы.



1 – загрузочный бункер; 2 – привод; 3 – упругие элементы; 4 – рама;  
5 – ступенчатая поверхность; 6 – приёмный бункер для продукта.

Рисунок 1 – Схема горизонтального транспортера со ступенчатым рабочим органом

Традиционная модель вибрационного оборудования, которая преобразует входной поток энергии в полезный технологический процесс, например, перемещение, сортирование, смешивание, уплотнение имеет следующий вид (рис.2)

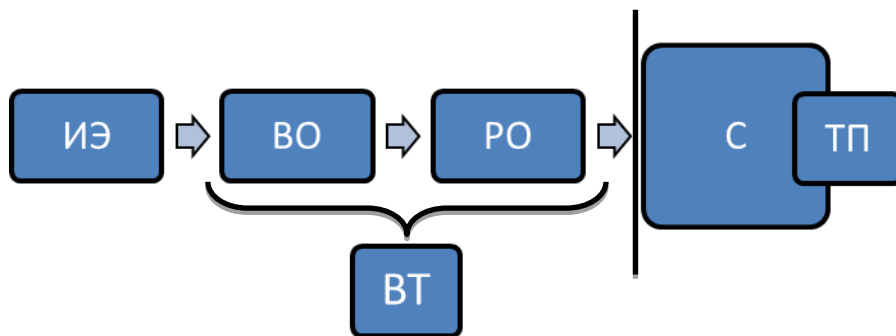


Рисунок 2 – Общая модель процесса вибротранспортирования зерновых масс

Для описания динамики машин и процессов используются математические модели, которые посредством дифференциальных уравнений представляют закономерности поведения рабочего органа и среды взаимодействия.

Для аналитического описания процессов, происходящих при перемещении зерновых продуктов на ступенчатой рабочей поверхности при вибрационном воздействии была принята следующая модель (рис. 3).



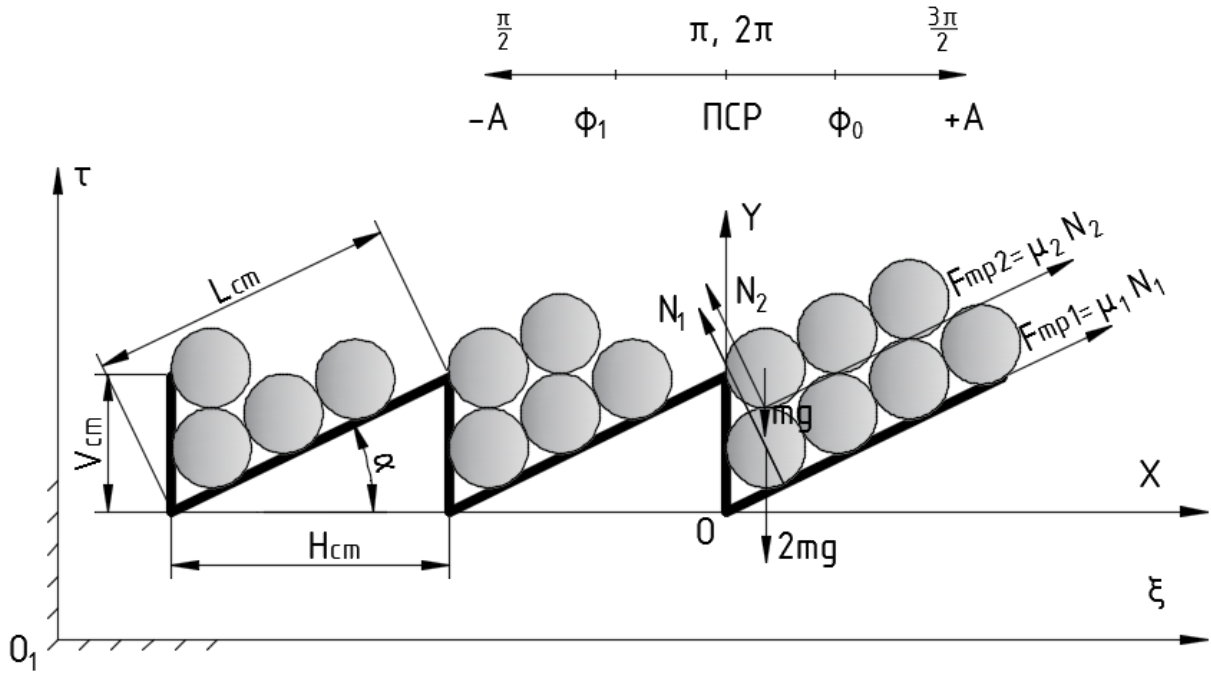


Рисунок 3 – Расчетная схема перемещения зерновых масс по ступенчатой поверхности

Как видно из представленной схемы вибрационные процессы зависят от массовых сил и сил трения. Для частиц первого слоя зерновой массы уравнения движения можно представить как:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mA\omega^2 \sin \omega t + F_{mp1} \cos \alpha + N_1 \sin \alpha, \\ m\ddot{y} = -mg + N_1 \cos \alpha - F_{mp1} \sin \alpha, \end{cases} \quad \text{при } \sin \omega t < 0 \quad (1)$$

а для второго слоя зерновой массы как

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mA\omega^2 \sin \omega t + F_{mp2} \cos \alpha + N_2 \sin \alpha, \\ m\ddot{y} = -mg + N_2 \cos \alpha - F_{mp2} \sin \alpha, \end{cases} \quad (2)$$

где  $m$  – масса частицы зерновой массы;  $N_1$  и  $N_2$  – нормальные давления частицы зерна на опорную поверхность;  $F_{mp1}$  и  $F_{mp2}$  – соответственно силы трения частицы в первом и во втором слоях зерновой массы.

Решение уравнений (1) и (2) позволяет определить условия, при которых частичка массы под вибрационным усилием будет перемещаться по ступенчатой поверхности.

Перемещение частицы зерновой массы [1-4, 6] происходит со скоростью, которая зависит как от параметров вибрационного воздействия ( $A$ ;  $\omega$ ), а также от

конструктивных размеров ступени рабочей поверхности

$$\bar{\zeta} = \frac{\omega}{2\pi j} \left\{ + A \cos \alpha (\mu \sin \alpha - \cos \alpha) [(\sin \varphi_1 - \sin \varphi_0) + (\varphi_2 - \varphi_1)(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_0)] + \right. \\ \left. + A \cos \alpha \cos \varphi_0 (\varphi_1 - \varphi_0)(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) + A \cos \varphi_1 (\varphi_2 - \varphi_1) + A \sin \varphi_2 + \right. \\ \left. + \frac{g \cos \alpha}{\omega^2} \left[ \varphi_0 (\mu \cos \alpha + \sin \alpha)(\varphi_1 - \varphi_0) - \frac{1}{2}(\varphi_1^2 - \varphi_0^2) - (\varphi_2 - \varphi_1)(\varphi_1 - \varphi_0) \cdot \right. \right. \\ \left. \left. \cdot (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \right] \right\} \quad (3)$$

На рис. 4 представлены зависимости теоретической скорости виброперемещения зерновой массы.

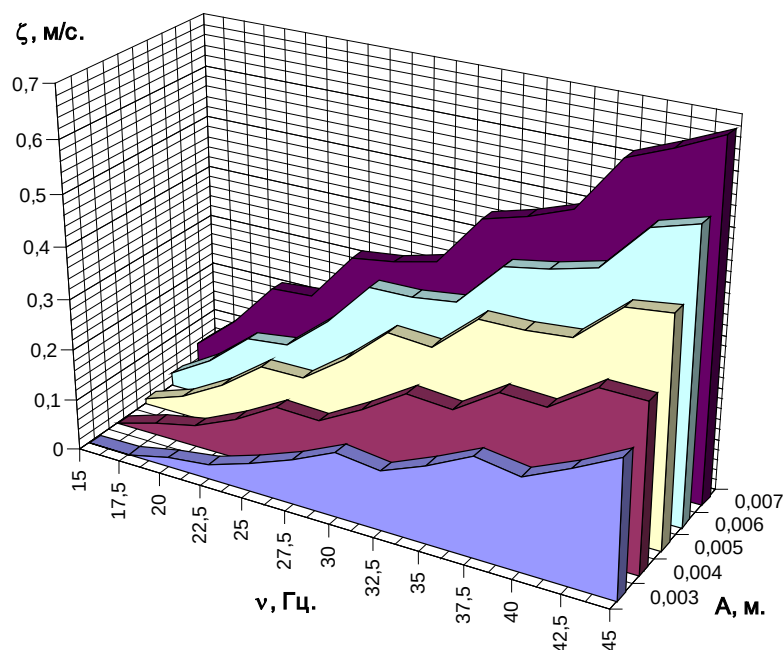


Рисунок 4 - Зависимость теоретической скорости виброперемещения зерновой массы от кинематических параметров, при  $\alpha = 24$  градуса

Установлены зависимости виброскорости частиц при  $\alpha = 26^\circ$ ,  $\alpha = 28^\circ$ . Подтверждено, что на среднюю скорость перемещения частиц оказывают значительное влияние амплитуда и частота вибрационного воздействия.

Исследования влияния на процесс перемещения частиц зерновой массы конструктивных параметров ступени рабочей поверхности (рис. 5)

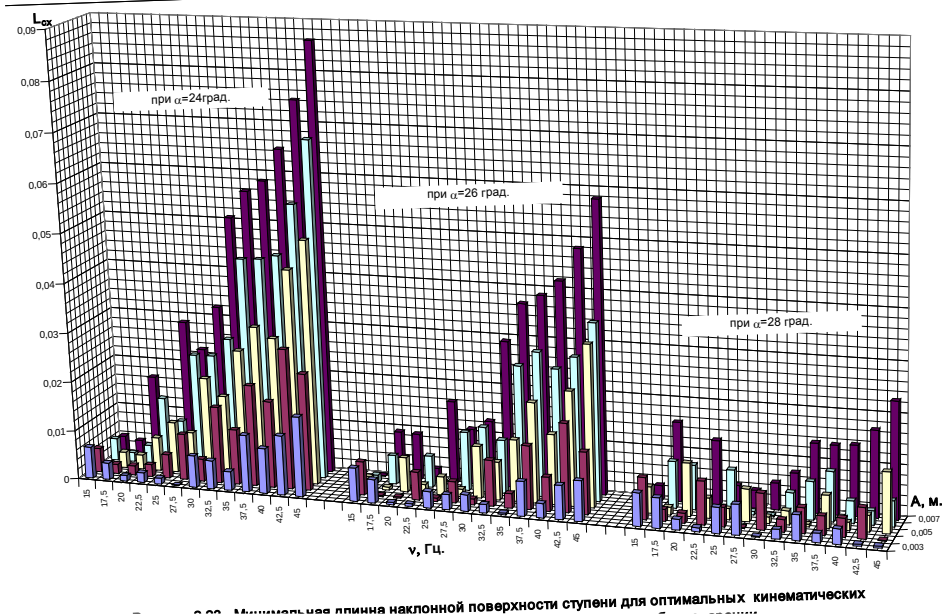


Рисунок 5 – Минимальная длина наклонной поверхности ступени для рациональных кинематических параметров, исходя из максимальной скорости процесса виброперемещения

В третьем разделе «Энергоэффективность горизонтальных вибрационных транспортеров со ступенчатым рабочим органом» исследуется энергоэффективность горизонтальных вибротранспортеров со ступенчатым рабочим органом.

Основными параметрами энергоэффективности любого рабочего процесса, в том числе и процесса перемещения зерновых продуктов, являются производительность и мощность. Перемещение некоторой зерновой массы  $m_m$  возможно только при колебательных движениях рабочего органа транспортера. Поэтому минимизация энергозатрат проводилась как:

$$\sum A_n = A_{m_m} + A_{m_p} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Сопоставление силовых и энергетических параметров проводилось для традиционного вибротранспортера и нового со ступенчатой поверхностью и горизонтальными вибрационными воздействиями.

Установлено, что соотношение усилий, необходимых для перемещения частицы зерновой массы традиционным виброконвейером  $P_\epsilon^B$  и с горизонтальными колебаниями  $P_\epsilon^O$ , таково

$$\frac{P_\epsilon^O}{P_\epsilon^B} = \frac{\cos^2 \alpha (\cos \alpha - \sin \alpha \mu)}{1 - \sin \alpha \cos \alpha \mu} \quad (5)$$

Необходимо отметить, что при углах наклона ступени  $\alpha$  до  $30^\circ$  и  $\beta = 30...45^\circ$  выигрыш в усилии составляет 57%. Установлено, что основной положительный

эффект предлагаемого технического решения имеет на снижении энергозатрат приведения в вибрационный режим рамы вибротранспортера. При этом энергетическая эффективность возрастает пропорционально массе рабочей рамы по следующей зависимости

$$\Delta N_{\partial \beta} = \frac{m_p g \sin \beta 4 A \omega}{2\pi}, \quad (6)$$

где  $\beta$  - угол силового воздействия традиционного виброконвейера.

При анализе принималось, что частотно-амплитудный режим в сравниваемых вариантах одинаков.

**В четвертом разделе «Экспериментальные исследования вибрационного транспортера со ступенчатым рабочим органом для зерновых масс»** доказана адекватность методики расчетов технологических параметров и режимов работы вибрационного транспортера со ступенчатым рабочим органом.

В состав экспериментального стенда входят следующие элементы: Универсальный стенд измерения вибрации ВЭДС-10А 1, который состоит из блока измерения вибрации 2, генератора частоты синусоидальных колебаний 3, усилителя механических колебаний и пульта управления СУПВ-0,1А 4, блока подмагничивания 5, блок фильтров 6; действующая модель вибрационного транспортера с универсальной декой 9. Контрольные приборы: генератор ГЗ-34 7, осциллограф С1-5 8. Стенд ВЭДС-10А серийно изготовлен на Таганрогском заводе «Виброприбор» (рис. 4).

Величина и направление вибросилы зависят от величины магнитной индукции в воздушном зазоре электромагнита, силы тока в подвижной катушке, длины проводника катушки. Когда синусоидальный ток пройдет по обмотке подвижной катушки, то частота колебаний вибровозбудителя будет определяться частотой этого тока. Амплитуда виброускорения, создаваемого вибровозбудителем, зависит от тока в подвижной катушке и нагрузки на стол вибровозбудителя.

Преобразователь пьезоэлектрический виброизмерительный ДН-4 преобразует механические колебания в электрические сигналы, которые усиливаются измерительным трактом до величины, необходимой для нормальной работы среднеквадратичного детектора, и затем поступают на показывающий прибор. Электрические сигналы, снимаемые с ДН-4, пропорциональны виброускорению колеблющегося объекта.

Электронный осциллограф С1-5 служит для контроля формы синусоидальных сигналов подаваемых генератором ГЗ-34, который в свою очередь контролирует работу блока СУПВ-0,1А. Блок фильтров имеет переключатель на 3 положения. В положении «5» фильтр выключен, в положении «200» частота среза фильтра равна 200 Гц, в положении «500» частота среза фильтра равна 500 Гц.

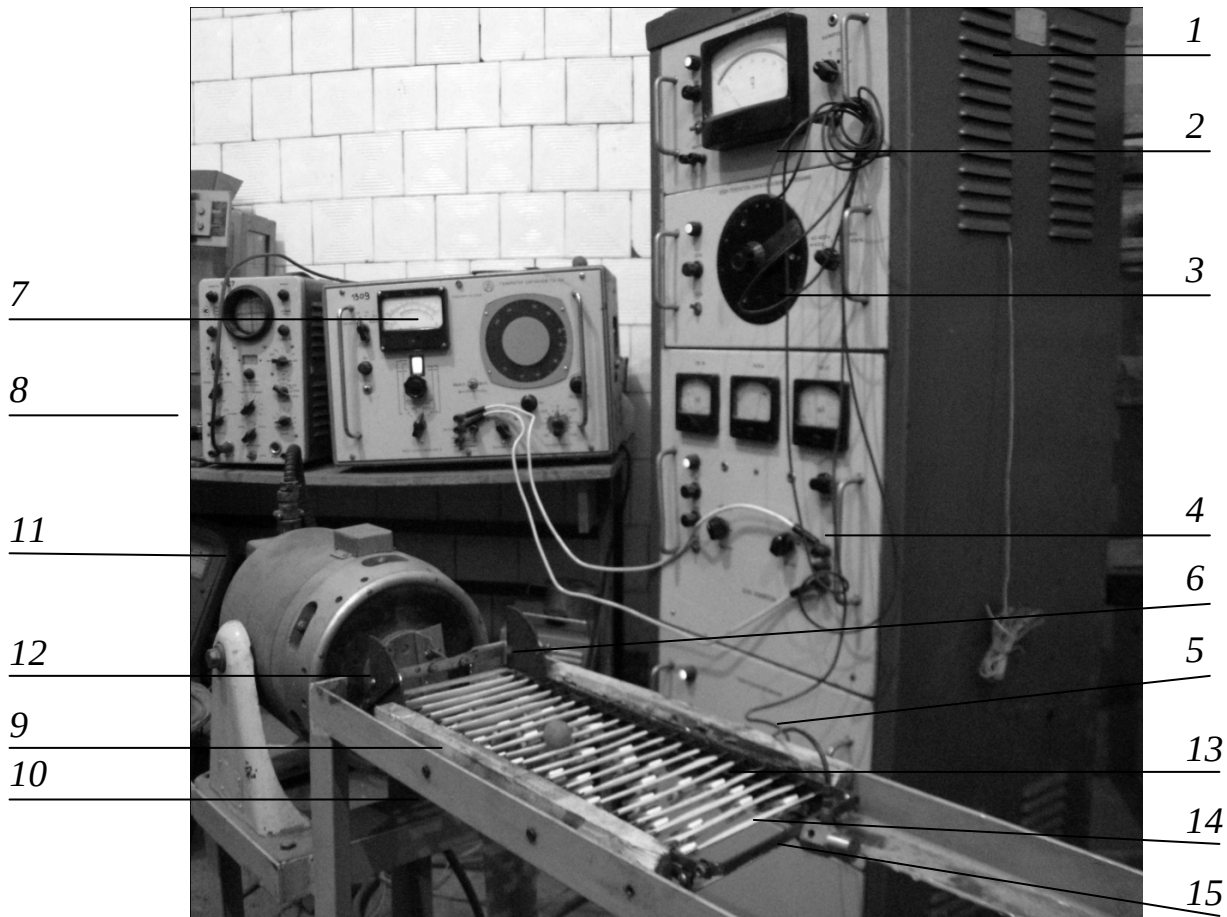


Рисунок 4 – Экспериментальный вибрационный стенд (дека на 20 накл. пластин):  
 1 – ВЭДС-10А; 2 – блок измерения вибрации; 3 – генератор частоты колебаний;  
 4 – усилитель колебаний; 5 – блок подмагничивания; 6 – блок фильтров;  
 7 – контрольный генератор; 8 – осциллограф; 9 – универсальная дека; 10 – рама  
 основание; 11 – вибровозбудитель; 12 – шток; 13 – направляющие пазы;  
 14 – наклонная пластина; 15 – пьезоэлектрический датчик.

Чтобы доказать рациональность выбранных значений ступенчатой поверхности  $L_{cm}$ , было изготовлено 9 комплектов пластин. Первые 3 комплекта пластин изготовлены в соответствии с размерами. Следующие 6 комплектов изготовлены с отличием от первых по размеру  $L_{cm}$ . Три комплекта из них имеют размер  $L_{cm}$  на 3 мм больше, и оставшиеся три комплекта имеют  $L_{cm}$  на 3 мм меньше. Такое различие в длине наклонной поверхности, позволит экспериментально подтвердить или опровергнуть рациональность выбранных значений. Для каждого комплекта пластин, был изготовлен комплект боковых держателей, с соответствующим размером  $H_{cm}$ .

Диапазон изменения угла  $\alpha$  находится в пределах от 15 до 55 градусов. Комплекты держателей рассчитаны на образование 30 ступеней с  $L_{cm} = 0,0194, 0,0204, 0,0234, 0,0264$  м, два на установку 40 ступеней с  $L_{cm} = 0,0157, 0,0164$  м, один на 45 с  $L_{cm} = 0,0134$  м, один на 50 ступеней с  $L_{cm} = 0,0127$  м, один на 60 ступеней с  $L_{cm} = 0,00927$  м. Количество полученных ступеней длиной 0,18 м. Размеры, при изготовлении контролировалась штангенциркулем.

Материал для покрытия пластин подбирался по коэффициенту внешнего трения зерновой массы по выбранному материалу так, чтобы  $\mu \approx 0,35$ , коэффициент трения определялся по методике, изложенной в подразделе 2.4.

Каждый опыт проводился с трехразовым повтором, после чего рассчитывался средний арифметический результат.

В качестве транспортируемой массы использовались отобранные зерна пшеницы по размеру  $V_{ст}$  для каждого угла  $\alpha$ . По приведенным значениям построены графические зависимости (рис. 5).

Экспериментальные исследования проводились на трех деках с неизменными геометрическими параметрами ступеней. Ступенчатая поверхность дек была изготовлена из монолитного куска пластика. Коэффициент внешнего трения зерновой массы по ступенчатой поверхности экспериментальный дек  $\mu=0,35$ , длина – 0,75 м, ширина – 0,15 м.

Геометрические параметры ступеней (таблица 1) выбраны из условия обеспечения максимальной скорости виброперемещения.

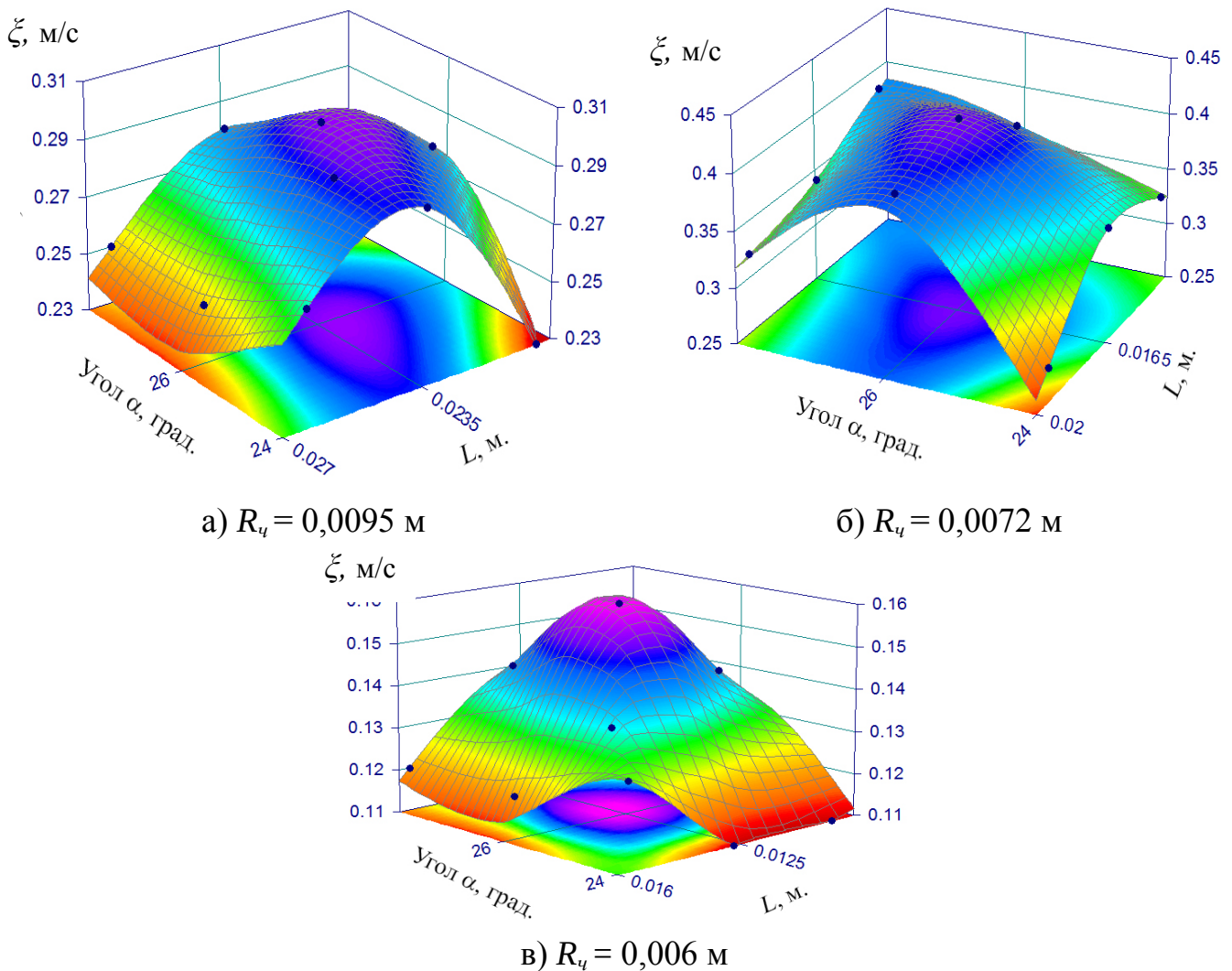


Рисунок 5 – Зависимость средней скорости виброперемещения зерновой массы от угла наклона и длины поверхности ступени

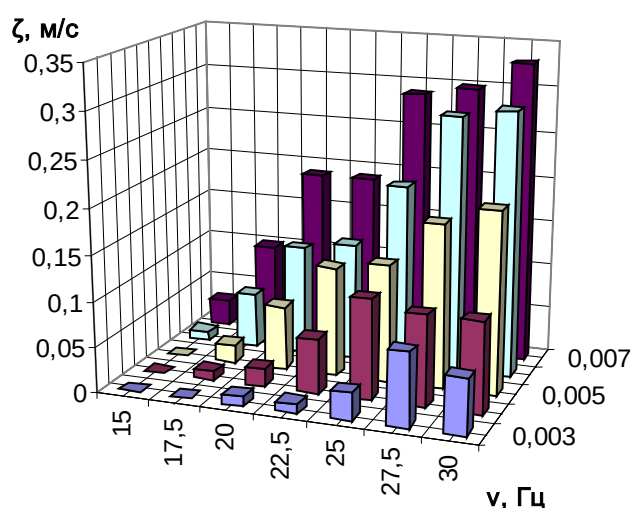


Представленные поверхности (рис. 5а, б, в) подтверждают не только рациональность:  $L_{cm}$ ,  $V_{cm}$ ,  $\alpha$ , при заданных кинематических параметрах и аналитические исследования диссертационной работы по определению скорости зерновой массы.

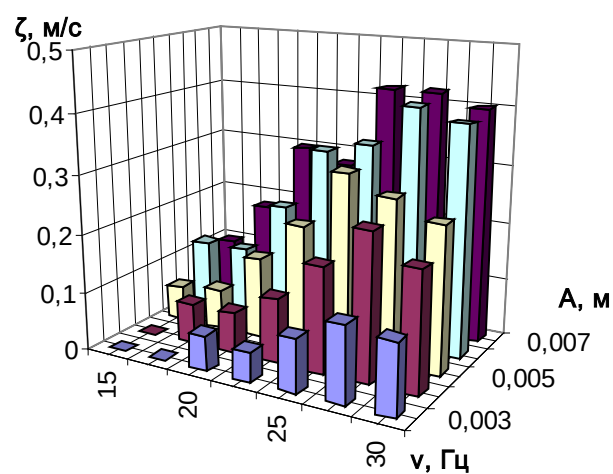
Таблица 1 – Геометрические параметры текстолитовых ступеней дек.

|        | $L_{cm}$ , м. | $V_{cm}$ , м. | $H_{cm}$ , м. | $\alpha$ , град. |
|--------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| Дека 1 | 0,0234        | 0,0095        | 0,0214        | 24               |
| Дека 2 | 0,0164        | 0,0072        | 0,0147        | 26               |
| Дека 3 | 0,0127        | 0,006         | 0,0112        | 28               |

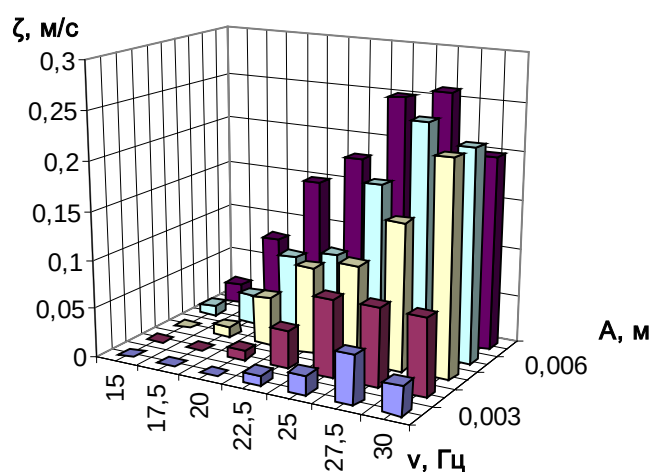
Результаты значений скорости виброперемещения зерновой массы на каждой деке представлены графическими зависимостями на рис. 6.



а) при  $\alpha = 24$  град



б) при  $\alpha = 26$  град



в) при  $\alpha = 28$  град

Рисунок 6 – Экспериментальная средняя скорость виброперемещения зерновой массы по пластиковой поверхности в зависимости от кинематических параметров

Разница между экспериментальными значениями скоростей виброперемещения с соответствующими значениями аналитических исследований не превышает допустимую погрешность при проведении эксперимента (9,31%).

Результаты научных исследований позволяют рассчитывать все необходимые параметры для создания вибрационных транспортеров для транспортировки зерновых масс с деками, имеющими ступенчатую поверхность. Практические эксперименты подтверждают зоны рациональных параметров с допустимой погрешностью.

Практическое осуществление перемещения зерновых масс по ступенчатой деке, расширит область применения процессов вибрационного перемещения зерновых масс, так как изложенный принцип перемещения имеет неоспоримые преимущества.

**В пятом разделе** «Техническая реализация результатов исследований» приведено обоснование основных направлений конструирования вибрационных транспортеров, разработаны конструкции ступенчатых дек вибротранспортера для зерновых масс.

В основу разработки нового способа виброперемещения сыпучих масс [25] нами была поставлена задача достижения повышения производительности вибротранспортирования с применением более простых и дешевых горизонтальных колебаний, за счет изменения конструкции рабочей поверхности.

Решение поставленной задачи нами было достигнуто благодаря тому, что механические колебания в горизонтальной плоскости, которые совершает рабочий орган имеет ступенчатую поверхность. На способ транспортировки по ступенчатой поверхности при гармонических синусоидальных колебаниях в плоскости горизонта нами получен патент [25].

Для реализации данного способа виброперемещения зерновых масс на ступенчатых поверхностях нами было разработано и запатентовано несколько конструкций оборудования, что было зафиксировано в трёх патентах на полезные модели:

1. Вибрационный конвейер для транспортировки сыпучего пищевого сырья [26133];
2. Вибрационный конвейер-классификатор [10.04.2009, Бюл.№ 7, 2009 г.];
3. Вибрационный конвейер для транспортировки сыпучего пищевого сырья с повышенной влажностью [000 40740];

При разработке новых конструктивных решений вибрационного транспортера для достижения максимального значения скорости транспортирования зерновой массы и энергопотребления нами учитывалось направление колебаний рабочего органа, а также определялись в соответствии с методикой расчета, приведенной в четвертом разделе, рациональные геометрические и кинематические параметры для различных зерновых масс.

Для предложенных конструкций нами разработаны четыре типа ступенчатых рабочих органов.



Первый рабочий орган совмещен с виброрамой и имеет ступенчатую поверхность с постоянными геометрическими параметрами ( $\alpha = const$ ,  $H_{cx} = const$ ,  $L_{cx} = const$ ,  $V_{cx} = const$ ) из текстолита. Возможность регулировки угла наклона ступеней такого рабочего органа отсутствует. Вибрационные транспортеры такого типа найдут широкое применение при транспортировке зерновых масс с частицами определенного размера. Они просты в изготовлении и обслуживании, в процессе эксплуатации не требуют наладки и регулировки, надежны и энергоэффективны. Конструкция транспортера с таким рабочим органом нами запатентована [24].

Второй рабочий орган имеет раму 1 и съемную ступенчатую поверхность из текстолита с постоянными геометрическими параметрами ( $\alpha = const$ ,  $H_{cx} = const$ ,  $L_{cx} = const$ ,  $V_{cx} = const$ ). Такая конструкция не позволяет производить регулировку, однако в случае необходимости, имеется возможность замены рабочей ступенчатой поверхности с заданными геометрическими параметрами, что было нами запатентовано [24].

В третьем случае ступенчатая поверхность рабочего органа образуется из наборных металлических пластин. В этой конструкции, прямоугольная пластина имеет на всех четырех концах прямоугольные выступы, которые с натягом вставлены в отверстия четырех боковых держателей. Боковые держатели закреплены между собой жестко и неподвижно зафиксированы. Отверстия в боковых держателях, сделаны через одинаковые промежутки. При такой конструкции геометрические параметры деки всегда остаются постоянными ( $\alpha = const$ ,  $H_{cx} = const$ ,  $L_{cx} = const$ ,  $V_{cx} = const$ ).

Вибрационные транспортеры с конструктивной схемой такого типа найдут широкое применение при транспортировке зерновой массы с частицами определенного размера. Они достаточно просты в изготовлении и обслуживании, в процессе эксплуатации не требуют наладки и регулировки, надежны и энергоэффективны. На рабочем органе такой конструкции есть возможность транспортировки зерновых масс с повышенной влажностью, что было нами запатентовано [22, 23]. Но при изменении транспортируемого продукта, размера его зерен и свойств невозможно будет обеспечить максимальную производительность и минимально энергопотребление без замены сменного комплекта рабочего органа, состоящего из наборных металлических пластин.

В четвертом случае ступенчатая поверхность рабочего органа сконструирована таким образом, чтобы наклон рабочих граней ступеней мог плавно меняться и жестко фиксироваться под необходимым углом.

Испытания на ООО «ПК «МЛИН» конвейера-классификатора для транспортировки и классификации сыпучих продуктов на запатентованных нами ступенчатых рабочих органах такого типа [22-24], дали положительные рекомендации к внедрению на предприятиях пищевой промышленности. Экономические расчеты по результатам внедрения двух таких машин на ООО «ПК «МЛИН» показали, что удельная экономическая прибыль составит 27 486 грн.

Экономические расчеты внедрения в крупяном цеху на ПТК «ШАХТЕР» двух вибрационных машин со ступенчатым рабочим органом такого типа показали, что удельная экономическая эффективность составит 7 270 грн.

Экономические расчеты внедрения на Днепропетровском пивоваренном заводе «ДНЕПР» двух вибрационных конвейеров-сепараторов для отделения зерна от ростков со ступенчатыми рабочими органами такого типа показали, что удельная экономическая эффективность составляет 46 988 грн.

Во всех четырех разработках достигается основная цель работы: снижение энергопотребления при обеспечении технологической эффективности прохождения процесса перемещения на ступенчатой деке вибрационного транспортера за счет ее колебательных движений в горизонтальной плоскости.

## ВЫВОДЫ

1. Системным анализом результатов исследований различных вибропитателей, вибротранспортеров и конвейеров установлено, что ступенчатые рабочие органы используются в некоторых конструкциях для сепарации зерновых масс, но исследования процессов целенаправленного перемещения зерновых масс вибрационным транспортером со ступенчатой рабочей поверхностью и горизонтальной возмущающей силой пока отсутствуют.

2. Впервые разработана математическая модель целенаправленного перемещения зерновых масс ступенчатым рабочим органом, который получает внешнее горизонтальное вибрационное воздействие, позволяющая оценивать влияние режимных параметров вибрационного воздействия, а также конструктивных параметров ступенчатого органа на виброскорость, мощность и производительность.

3. Полученные аналитические зависимости позволяют анализировать режимы работ вибрационного транспортера со ступенчатым рабочим органом при транспортировании различных зерновых масс (зерна, гороха, фасоли и др.).

4. Обоснована и реально доказана возможность использовать универсальный стенд ВЭДС-10А для исследования процессов перемещения зерновых масс на специальных моделях ступенчатых рабочих органов.

5. Разработанная методика экспериментальных исследований позволяет не только изменять параметры горизонтальных колебаний ступенчатого рабочего органа, но и изменять конструктивные параметры ступеней, материалы с различными коэффициентами трения, а также перемещаемые материалы.

6. На базе установленных закономерностей, рекомендованы следующие рациональные параметры вибрационных транспортеров со ступенчатым рабочим органом. Длина наклонной поверхности ступени  $L_{cx} = 0,023$  м, угол ее наклона к горизонту  $\alpha = 24^\circ$ , при этом вибрационные характеристики должны быть  $A = 0,007$  м;  $\omega = 27,5$  Гц, а при  $\alpha = 26^\circ$ ;  $L_{cx} = 0,012$  м;  $A = 0,007$ ;  $\omega = 25$  Гц.

7. Разработанные с непосредственным участием автора конструкции вибротранспортеров со ступенчатым рабочим органом обладают новизной, защищены патентами. Производственные испытания конструкций вибротранспортеров со ступенчатым рабочим органом на Днепропетровском пивоваренном заводе «Днепр», на предприятиях ОО «ПК МЛИН» и ПТК «Шахтер» показали их работоспособность, высокую технологичность и энергоэффективность.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

### Публикации в научных изданиях из перечня ВАК:

1. Фалько, Л.Г. Штучний режим вібропереміщення сипких подріблених продуктів нагору по нахилах горизонтальних коливних площин / Л.Г. Фалько, **А.В. Коваленко** // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2006. – Вип. 14. – С. 103–108.
2. Фалько, Л.Г. Штучний режим вібропереміщення сипких подріблених продуктів нагору по нахилах горизонтальних коливних площин / Л.Г. Фалько, **А.В. Коваленко** // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2006. – Вип. 15. – С. 247–252.
3. Заплетніков, І.М. Теоретичні дослідження вібропереміщення сипкої харчової сировини по ступінчатому робочому органу, що коливається у горизонтальній площині / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко** // Обладнання та технології харчових виробництв / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2007. – Вип. 17, т. 2. – С. 25–32.
4. Фалько, О.Л. Експериментальні дослідження вібропереміщення сипкої харчової сировини по ступінчатому робочому органу, який піддається продовжним коливанням у горизонтальній площині / О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко** // Обладнання та технології харчових виробництв / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2007. – Вип. 16. – С. 127–133.
5. Заплетніков, І.М. Теоретичне дослідження нового способу вібротранспортування харчових мас / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко**, С.О. Певцова // Обладнання та технології харчових виробництв / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2008. – Вип. 18, т. 2. – С. 179–188.
6. Фалько, О.Л. Визначення фазових кутів етапів руху для часток продукту на східчастій поверхні деки вібротранспортера / О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко** // Обладнання та технології харчових виробництв / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2009. – Вип. 20. – С. 65–75.
7. Фалько, О.Л. Теоретичне визначення оптимальних геометричних параметрів сходинок деки для частинок сипких мас різних розмірів / О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко** // Обладнання та технології харчових виробництв / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2009. – Вип. 22. – С. 301–307.
8. Фалько, О.Л. Аналітичне визначення оптимальних геометричних параметрів сходинок робочого органу / О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко**, О.З. Ємельянов // Праці

Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т. 1. – С. 107–113.

9. **Коваленко, А.В.** Разработка механизма ступенчатой деки для транспортировки сыпучих продуктов с изменяющейся геометрией / **А.В. Коваленко**, Н.А. Миронова // Оборудование и технологии пищевых производств : темат. сб. науч. работ / М-во образования и науки Донец. Нар. Респ., Донец. нац. ун-т экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского. – Донецк, 2018. – Вып. 4 (37). – С. 10–15.

10. **Коваленко, А.В.** Экспериментальное определение коэффициента внешнего трения зерновой массы по различным поверхностям / **Коваленко А.В.**, Соколов С.А. // Оборудование и технологии пищевых производств : темат. сб. науч. работ / М-во образования и науки Донец. Нар. Респ., Донец. нац. ун-т экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского. – Донецк, 2018. – Вып. 5 (38). – С. 58–63.

11. О.Л. Фалько Дослідження нового способу вібротранспортування сипких харчових мас / О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко** // Рибне господарство України : наук.-виробн. журн. – Керч, 2009. – Спец. вип.: Морські технології: проблеми та рішення. – С. 42–45.

#### Публикации в других научных изданиях.

12. **Коваленко, А.В.** Визначення оптимальних геометричних параметрів робочого органа для транспортування сипких харчових продуктів / **А.В. Коваленко** // Обладнання та технології харчових виробництв : тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф., м. Святогірськ, 10–12 верес. 2009 р. / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2009.

13. **Коваленко, А.В.** Експериментальна конструкція механізму для визначення оптимальних геометричних параметрів східчастої деки / **А.В. Коваленко** // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т. 3. – С. 146–151.

14. Корнійчук, В.Г. Вібраційний конвеєр для транспортування сипкої харчової сировини із ступінчастим робочим органом / В.Г. Корнійчук, **А.В. Коваленко**, В.А. Черепов // Збірник тез доповідей студентів за підсумками науково-дослідної роботи за 2006 рік, 25 квіт. 2007 р. / Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2007. – Вип. 9, т. 1.

15. Фалько, О.Л. Вібраційний конвеєр для транспортування сипкої харчової сировини із ступінчастим робочим органом / О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко**, В.А. Черепов // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : програма і матеріали 73-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 23–24 квіт. 2007 р. / Нац. ун-т харчових технологій. – Київ, 2007. – Ч. 2. – С. 55.

16. Фалько, Л.Г. Створення нового режиму вібропереміщення для транспортування сипких продуктів догори по нахилах ступінчастого робочого органу / Л.Г. Фалько, **А.В. Коваленко**, В.О. Черепов // Збірник тез доповідей студентів за підсумками науково-дослідної роботи за 2005 рік, 19 квіт. 2006 р. / М-во освіти і науки України, Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2006. – Вип. 8. – С. 14.

17. Фалько, О.Л. Теоретичне дослідження нового способу вібротранспортування харчових мас / О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко**, С.О. Певцова // Техніка та технологія харчових виробництв : зб. тез студент. наук. пр. / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2008. – Вип. 2. – С. 21–23. – (Технічна серія).

18. Фалько, О.Л. Теоретичне дослідження нового способу вібротранспортування харчових мас / О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко**, С.О. Певцова // Інноваційні енерго- й ресурсозберігаючі технології та обладнання в хлібопекарській, кондитерській, макаронній, харчоконцентратній галузях харчової промисловості : міжнар. наук.-практ. конф., 3–6 черв. 2008 р. / Нац. ун-т харчових технологій. – Київ, 2008. – С. 23.

19. Фалько, О.Л. Створення і експериментальні дослідження нового режиму вібропереміщення сипкої харчової сировини по ступінчастому робочому органу / О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко** // Техника и технология пищевых производств : тез. докл. V Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов, 23–25 мая 2007 г., Могилев / Могилев. гос. ун-т продовольствия. – Могилев, 2008. – С. 21–23.

20. Решетько, М.А. Создание и экспериментальные исследования нового режима виброперемещения сыпучего пищевого сырья по ступенчатому рабочему органу / **А.В. Коваленко** // Научно-техническое творчество студентов по процессам и оборудованию пищевых производств : междунар. науч.-практ. интернет-конф., 20–21 окт. 2016 г. / М-во образования и науки Донец. Нар. Респ., Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2016. – С. 64.

21. **Коваленко, А.В.** Исследование нового режима виброперемещения сыпучего сырья по ступенчатому рабочему органу виброконвейера / **Коваленко А.В.** // Молодёжный форум: технические и математические науки : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технологий. – Воронеж. – 2015. – № 8, ч. 2 (19-2). – С. 214–218.

22. **Коваленко, А.В.** Определение начального угла скольжения частицы сыпучей пищевой массы при исследовании нового способа вибротранспортирования / **Коваленко А.В.** // Образование, наука и молодёжь – 2017 : сб. избр. ст. участников Межвуз. науч.-практ. конф. / Федер. агентство по рыболовству, Керч. гос. морской технолог. ун-т. – Керчь, 2017. – Ч. 2. – С. 217–223.

23. Аналітичне визначення фазового кута відрива часток харчових мас при дослідженні нового способу вібротранспортування / Ємеянов О.З., Наконечний О.Г., Фалько О.Л., **Коваленко А.В.** // Техніка та технологія харчових виробництв / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2009. – Вип. 4. – С. 21–22. – (Технічна серія).

24. Аналітичне визначення початкового кута ковзання часток харчових мас при дослідженні нового способу вібротранспортування / Ємеянов О.З., Фоменко О.Л., Фалько О.Л., **Коваленко А.В.** // Техніка та технологія харчових виробництв / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк, 2009. – Вип. 4. – С. 22–24. – (Технічна серія).

25. Фалько, О.Л. Енергозберігаюча схема роботи вібраційного транспортера з декою нової конструкції / Фалько О.Л., **Коваленко А.В.** // Проблеми харчових

технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку : тез доп. VII Міжнар. наук.-практ. конф., 7–9 верес. 2011 р., Донецьк–Святогірськ / М-во освіти і науки, молоді та спорту України та [ін.]. – Донецьк, 2011. – С. 196–197.

26. **Коваленко, А.В.** Экспериментальное определение оптимальной геометрии ступеней деки / **Коваленко А.В.**, Громов С.В., Степанов Д.В. // Рыбное хозяйство Украины : науч.-виробн. журн. – Керч, 2012. – Вип. 2 (79). – С. 33–36.

#### Патенты.

27. Пат. 40740 Україна, ПМК (2009) B65G 27/00. Вібраційний конвеєр для транспортування сипкої харчової сировини з підвищеною вологістю / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко** ; заявник і власник Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – № u200813003 ; заявл. 10.11.2008 ; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8. – 4 с. : іл.

28. Пат. 40430 Україна, МПК (2009) B07B 1/12. Вібраційний конвеєр-класифікатор / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко** ; заявник і власник Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – № u200812452 ; заявл. 23.10.2008 ; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7. – 4 с. : іл.

29. Пат. 26133 Україна, МПК (2007) B65G 27/00. Вібраційний конвеєр для транспортування сипкої харчової сировини / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько, **А.В. Коваленко** ; заявник і власник Донецьк. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – № u200702634 заявл. 12.03.2007 ; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14. – 4 с. : іл..

30. Пат. 96293 Україна, МПК (2011) B65G 27/12, B65G 27/32, B06B 1/02, B65G 27/18, A01F 25/18, A01F 25/20. Спосіб вібропереміщення сипких харчових мас / Фалько О.Л., **Коваленко А.В.** ; заявник і власник Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – № a200813697 ; заявл. 27.11.2008 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20. – 10 с. : іл.

### АННОТАЦИЯ

Коваленко А. В. Процесс вибротранспортирования зерновых масс и предложения по его технической реализации.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств» - ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», Донецк, 2020.

В работе исследован процесс виброперемещения зерновых масс по ступенчатым поверхностям рабочего органа, совершающего синусоидальные гармонические колебания в плоскости горизонта.

Дано обоснование возможности осуществления нового режима виброперемещения зерновых масс на ступенчатом рабочем органе при его горизонтальных колебаниях. Обоснована возможность энергосбережения при использовании продольных колебаний ступенчатого рабочего органа в горизонтальной плоскости при угле направленности колебаний  $\beta = 0$ .

На основании разработанной нами математической модели проведены аналитические исследования виброперемещения частицы продукта по ступенчатой поверхности при вибрации деки в горизонтальной плоскости. Получены: уравнение движения частицы продукта по ступенчатой поверхности; уравнение средней скорости ее виброперемещения; выражение для определения производительности; выражения для определения геометрических параметров ступени. Установлена зависимость средней скорости виброперемещения от кинематических параметров рабочего органа при различных углах наклона ступени.

Получены новые научные данные о рациональных рабочих параметрах процесса виброперемещения зерновых масс по ступенчатой поверхности дек. Разработаны и запатентованы способ виброперемещения сыпучих пищевых масс и конструкции вибрационных машин со ступенчатыми рабочими органами для его осуществления с учетом полученных теоретических и экспериментальных данных. Разработана инженерная методика проектного расчета промышленного вибрационного транспортирующего оборудования для зерновых масс.

**Ключевые слова:** вибротранспортирование, вибротранспортеры, виброперемещение, ступенчатая поверхность.

## ABSTRACT

Kovalenko A.V. Optimal parameters of vibro-transporter operation for grain masses.

Thesis for the degree of candidate of technical Sciences in the specialty 05.18.12 - "Processes and apparatus of food production" - "Donetsk national University of Economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky", Donetsk, 2020.

The paper investigates the process of vibration displacement of grain masses on the stepped surfaces of the working body, performing sinusoidal harmonic oscillations in the plane of the horizon.

The substantiation of the possibility of implementation of a new regime of vibration displacement of grain masses on a step working body at its horizontal oscillations is given. The possibility of energy saving when using longitudinal oscillations of the step working body in the horizontal plane at the angle of vibration  $\beta=0$  is substantiated.

On the basis of the mathematical model developed by us analytical researches of vibration displacement of a particle of a product on a stepped surface at vibration of a soundboard in a horizontal plane are carried out. Obtained: the equation of motion of the product particle on the stepped surface; the equation of the average velocity of its vibration displacement; expression to determine the performance; expression to determine the geometric parameters of the stage. The dependence of the average speed of vibration displacement on the kinematic parameters of the working body at different angles of inclination of the stage is established.

New scientific data on the rational operating parameters of the process of vibration displacement of grain masses on the stepped surface of the deck are obtained. The method of vibration displacement of bulk food masses and the design of vibration machines with stepped working bodies for its implementation, taking into account the theoretical and experimental data, have been developed and patented. The engineering method of design calculation of industrial vibrating conveying equipment for grain masses is developed.

**Key words:** vibrating transportation, vibrating conveyors, vibrating moving, step surface.

