

На правах рукописи

ДМИТРИЕВ РОМАН СЕРГЕЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЗЧИКА
САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПУТЕМ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
КУЛАЧКОВО-ПЛАНЧАТОГО ПИТАТЕЛЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

Научный руководитель: **Хакимзянов Рустам Рафитович,**
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Мартынов Владимир Михайлович,**
доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО
«Башкирский ГАУ», профессор кафедры
«Безопасность жизнедеятельности и
технологическое оборудование»

Кузнецов Павел Николаевич,
кандидат технических наук, ФГБОУ ВО
«Мичуринский ГАУ», доцент кафедры
«Стандартизация, метрология и технический
сервис»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Пензенская государственная
сельскохозяйственная академия»

Защита диссертации состоится «26» декабря 2016 г. в 10.00 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 220.061.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская д. 60, ауд. 325 им. А.В. Дружкина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» и на сайте www.sgau.ru

Отзывы направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.

E-mail: chekmarev.v@yandex.ru

Автореферат разослан « ____ » _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Чекмарев Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Сахарная свекла является важнейшей сырьевой культурой для производства сахара. Потребление сахара в России к настоящему времени составляет 39,0–40,0 кг на человека в год. На территории России переработку сахарной свеклы осуществляют 30 сахарных заводов.

Одной из проблем, с которыми приходится сталкиваться при производстве сахара это малая пропускная способность сахарных заводов и отсутствие у производителя достаточного количества транспортных средств, способных обеспечить прямую доставку сахарной свеклы от уборочного комбайна к перерабатывающему пункту или заводу. Поэтому, на заводах и на местах уборки, организуются временные склады хранения – кагаты. Для погрузки сахарной свеклы из временных хранилищ в транспортные средства используются погрузчики непрерывного действия.

Современные импортные погрузчики, обладают высокой производительностью, но вместе с тем являются дорогостоящими и требуют больших затрат на техническое обслуживание. Отечественные погрузчики непрерывного действия не уступают по производительности своим зарубежным аналогам, но технологические процессы захвата и транспортирования груза у этих машин, обладают высокой энергоемкостью. Так, энергоемкость захвата и транспортирования сахарной свеклы питателем, в наиболее распространенном свеклопогрузчике СПС-4,2, составляет 223 Дж/кг или 39% от общей энергоемкости (570 Дж/кг) погрузчика. Поэтому задача исследования взаимодействия рабочих органов с сахарной свеклой, с целью снижения энергоемкости, является актуальной.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 717 от 14 июля 2012 г. «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы».

Степень разработанности темы. Для погрузки сахарной свеклы из временных хранилищ используются погрузчики непрерывного действия. Большинство погрузчиков, как зарубежных, так и отечественных, совмещают в себе про-

цессы погрузки, доочистки и транспортировки груза. Следствием этого, является высокая энергоемкость, большая часть которой приходится на питатель. Это связано с тем, что недостаточно исследованы процессы захвата, транспортирования и взаимодействия рабочих органов питателя с грузом.

Предлагаемая работа направлена на снижение энергоемкости погрузчика за счет определения оптимальных параметров питателя.

Цель работы: снижение энергоемкости технологического процесса погрузки сахарной свеклы путем разработки кулачково-планчатого питателя к погрузчику непрерывного действия.

Задачи исследования. В соответствии с поставленной целью были сформулированы задачи:

- на основе обзора конструкций существующих свеклопогрузчиков и анализа их энергоемкости, разработать классификацию их питателей и обосновать перспективную конструктивно-технологическую схему кулачково-планчатого питателя;
- исследовать теоретически процесс взаимодействия кулачково-планчатого питателя с кагатом сахарной свеклы, установить кинематические и силовые зависимости, получить аналитические выражения производительности, мощности на привод и энергоемкости;
- экспериментальными исследованиями получить уравнения регрессии и графические зависимости критериев оптимизации от режимных и конструктивных параметров кулачково-планчатого питателя;
- провести производственные испытания погрузчика сахарной свеклы с кулачково-планчатым питателем и дать технико-экономическую оценку его использования.

Объект исследований – технологический процесс погрузки сахарной свеклы погрузчиком непрерывного действия с кулачково-планчатым питателем.

Предмет исследований – закономерности изменения энергоемкости процесса погрузки сахарной свеклы погрузчиком непрерывного действия при различных параметрах кулачково-планчатого питателя.

Научная новизна. Предложена новая конструктивно-технологическая схема кулачково-планчатого питателя. Получена математическая модель процесса взаимодействия рабочих органов разработанного питателя с сахарной свеклой. Теоретическими и экспериментальными зависимостями производительности и потребляемой мощности кулачково-планчатого питателя, обоснованы основные режимные и конструктивные параметры питателя, обеспечивающие наибольшую производительность при минимальной энергоемкости.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты теоретических исследований являются основой для совершенствования конструкций рабочих органов питателей погрузчиков непрерывного действия, с учетом наименее энергоемких способов перемещения груза.

Разработан питатель к погрузчику корнеклубнеплодов непрерывного действия (патент на изобретение РФ №2513549), обоснованы его конструктивно-режимные параметры.

Производственные испытания опытного образца в КФХ «Агрос Красное знамя» и КФХ «ИП Н.А. Федюнин» Ртищевского района Саратовской области, показали, что производительность погрузчика с разработанным питателем достигает 55 кг/с, а энергоемкость составляет 479 Дж/кг.

Полученные результаты могут быть использованы конструкторскими и проектными организациями при разработке новых погрузчиков непрерывного действия для погрузки корнеплодов.

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследований составили методы математической статистики, системного анализа и классической механики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и производственных условиях на основе общепринятых методик с использованием измерительной аппаратуры, которые позволили обеспечить управляемость эксперимента и определить рациональные параметры процесса погрузки сахарной свеклы. Обработка результатов экспериментов выполнялась на ПЭВМ с использованием стандартных программ Microsoft Office.

Положения выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема кулачково-планчатого питателя;
- аналитические зависимости производительности, мощности затрачиваемой на привод и энергоемкости от конструктивных и режимных параметров кулачково-планчатого питателя;
- регрессионные модели, описывающие изменение энергоемкости от конструктивных и режимных параметров кулачково-планчатого питателя.

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность научных положений и выводов подтверждается результатами экспериментальных исследований, выполненных в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, их достаточной сходимостью с теоретическими исследованиями. Использованием современной контрольно-измерительной и вычислительной техники. Основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены на научных и научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (Саратов, 2011–2014), II Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» (Челябинск, 2012), 6-й Всероссийской научно-практической конференции (Саратов, 2012).

По результатам исследований опубликовано 7 печатных работ, в т.ч. 5 в рецензируемых научных изданиях; 1 патент на изобретение РФ. Общий объем публикаций – 1,96 п.л., из которых 0,87 п.л. принадлежат лично соискателю.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем 168 страниц машинописного текста, который включает в себя основной текст и приложений. Основной текст изложен на 144 страницах, содержит 16 таблиц и 72 рисунка. Список использованной литературы включает 83 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» пред-

ставлен обзор конструктивно-технологических схем погрузчиков сахарной свеклы по основным техническим характеристикам и проведен анализ их энергоемкости. Это позволило сделать вывод о том, что большинство погрузчиков, совмещают в себе процессы захвата, транспортировки и доочистки груза. Энергоемкость процесса погрузки рассмотренных погрузчиков непрерывного действия составляет 500 Дж/кг и выше. Высокая энергоемкость обусловлена значительными затратами мощности на привод рабочих органов (27,9 кВт – 29 кВт), что сказывается на себестоимости продукции. Составлена классификация питателей погрузчиков сахарной свеклы.

Рассмотрены физико-механические свойства свёклы и методики определения травмируемости корнеплодов различными рабочими органами свеклоуборочной техники. Исследованиями взаимодействия рабочих органов с корнеплодами при машинной уборке и при прохождении через различные рабочие органы занимались: А.И. Бжезовская, В. Васин, Н.И. Верещагин, И.Н. Горячкина, Н.А. Гречишкин, А.В. Диколенко, М.Н. Ерохин, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, Г.Д. Петров, А.Н. Шапошников и др.

Несмотря на имеющиеся исследования, отсутствуют рекомендации по режимным и конструктивным параметрам питателей погрузчиков непрерывного действия обеспечивающих высокую производительность и низкую энергоемкость, а также отсутствуют исследования связанные с совмещением функций захвата и транспортировки сахарной свеклы при погрузке из кагата.

Во второй главе «Теоретические исследования и основы расчета рабочего процесса кулачково-планчатого питателя» приведены предлагаемая конструктивно-технологическая схема кулачково-планчатого питателя, теоретический анализ рабочего процесса и обоснование основных параметров оптимизации.

Питатель (рисунок 1) состоит из рамы 1 с опорными колесами 2, вала 3 с установленными на нем кулачками 4, цепного транспортера с планками 5 выполненные в виде прутков круглого сечения, шнеков 6 и 7, обеспечивающие движение свеклы к центру питателя. Привод рабочих органов осуществляется через вал 11, редуктор 10 и цепные передачи 8 и 9.

При работе (рисунок 2) погрузчик с кулачково-планчатым питателем движется фронтально в направлении кагата сахарной свеклы. Вал с кулачками захватывает сахарную свеклу и подает её на цепной транспортер с планками, который переносит груз к другим рабочим органам погрузчика.

Кинематическое исследование позволило установить законы движения рабочих органов питателя и получить исходные данные для определения производительности, потребляемой мощности и энергоемкости.

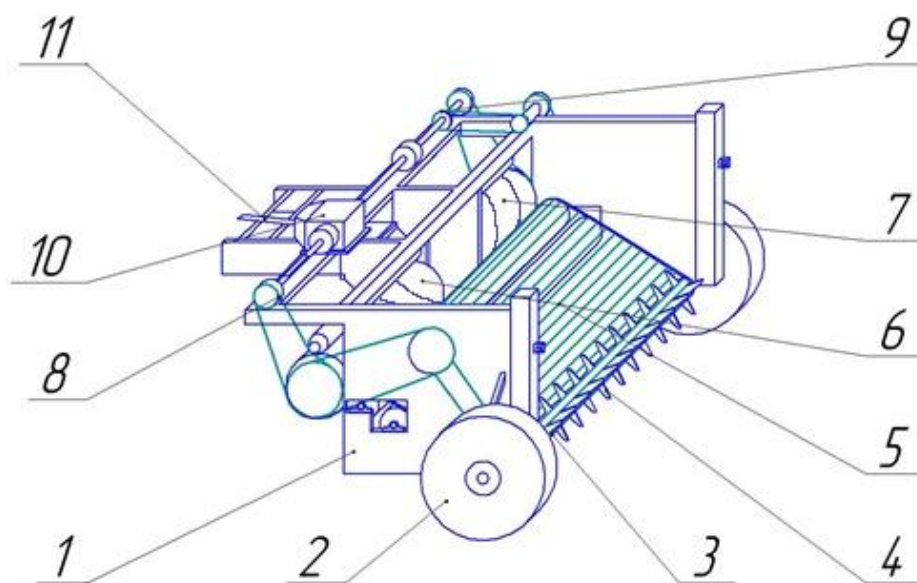


Рисунок 1 – Конструктивно технологическая схема кулачково-планчатого питателя
1 – рама; 2 – опорные колеса; 3 – вал; 4 – кулачки; 5 – цепной транспортер с планками; 6 и 7 – шнеки; 8 и 9 – цепные передачи; 10 – редуктор; 11 – вал

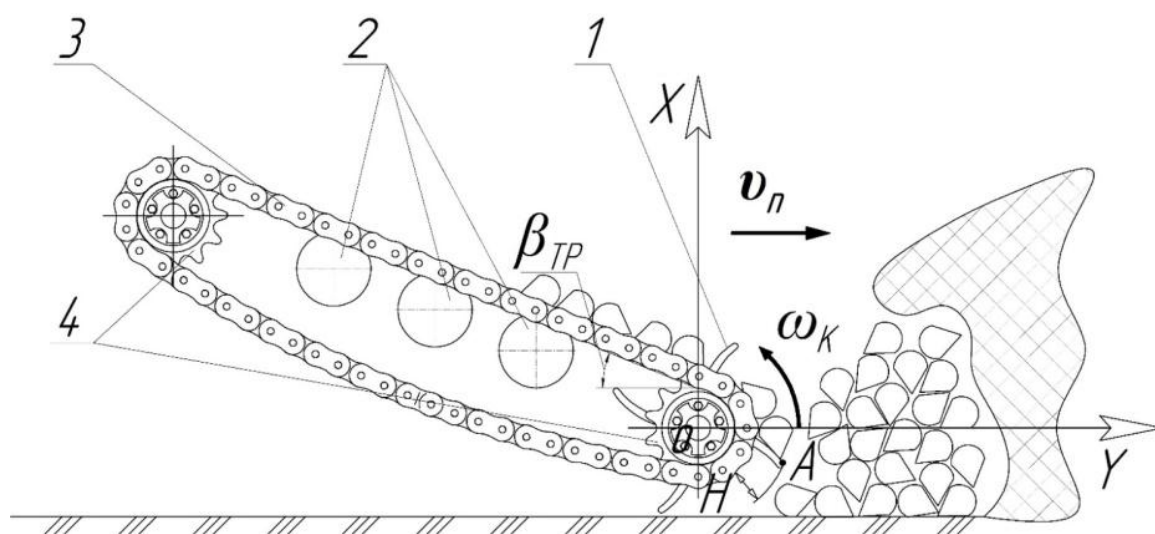


Рисунок 2 – Схема к кинематическому исследованию кулачково-планчатого питателя
1 – кулачки вала; 2 – поддерживающие ролики; 3 – цепной транспортер с планками; 4 – звездочки цепного транспортера

Если рассматривать систему в плоскости xOy , то точка A , отмеченная на поверхности кулачка, будет совершать вращательное движение вокруг оси питателя. Параметрические уравнения движения точки A в координатной форме при перемещении погрузчика и вращении вала будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} x &= v_n t + \frac{D_k}{2} \cos \varphi \\ y &= \frac{D_k}{2} \sin \varphi \end{aligned} \right\} \varphi = \varphi_0 + \omega_k t, \quad (1)$$

где D_k – диаметр вала с кулачками, м; φ – угол поворота кулачка, град; φ_0 – начальный угол поворота кулачка, град; t – время перемещения точки A на угол φ , с; v_n – скорость погрузчика, м/с; ω_k – угловая скорость вала с кулачками, рад/с.

Для исследования процесса взаимодействия питателя с массой корнеплодов на участке забора, необходимо было определить объем, захватываемый и перемещаемый валом с кулачками, который зависит от длины траектории движения кулачка в массиве сахарной свеклы

$$V_k = l S_{\pi} B = l \vartheta_{\pi} t B, \quad (2)$$

где l – длина траектории кулачка, м; S_{π} – расстояние пройденное погрузчиком, м; B – ширина захвата питателя, м.

Длина траектории движения кулачка определится по выражению

$$l = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{(x'_t)^2 + (y'_t)^2} dt, \quad (3)$$

где t_1 и t_2 – соответственно время контакта кулачка с массивом корнеплодов и разгрузки кулачка, с.

Подставив в выражение(3) параметрическое уравнение для y и значение производной от x , получим

$$l = \frac{2(v_n + r_k \omega_k)}{\omega_k} k_{\vartheta} - \frac{4v_n r_k \omega_k}{v_n + r_k \omega_k} [-\cos(\varphi_0 + \omega_k t_2) + \cos(\varphi_0 + \omega_k t_1)], \quad (4)$$

где r_k – радиус вала с кулачками, м; k_{ϑ} – параметр, зависящий от соотношения угловой и поступательной скоростей, определяемый при решении параметрических уравнений.

Выражение(2) в исходном виде можно использовать при высоте кагата $H \leq 1,5 \dots 2,0 D_k$, т.к. груз, поступающий от кулачков, в том же объеме, будет захватываться транспортером. Учитывая то, что угловая скорость вала с кулачками ω_k

равна угловой скорости звездочки привода транспортера $\omega_{зв}$, получим

$$Q_k = Q_{тр} = Q_{пит}, \quad (5)$$

где $Q_{тр}$, $Q_{пит}$ – производительность отгрузочного транспортера и питателя, кг/с.

При работе с кагатом корнеплодов на работу машины существенно влияет осыпание кагата. Выбирая сахарную свеклу (рисунок 3) из основания кагата высотой H с углом естественного откоса $\varphi_{е.о.}$, по мере удаления корнеплодов из слоя, в кагате образуется откос предельного равновесия с углом $\varphi_{пр.р.}$. Этот откос неустойчив, и при дальнейшей работе машины часть его отделяется от кагата и осыпается, располагаясь по линии с углом $\varphi_{ос} < \varphi_{е.о.}$.

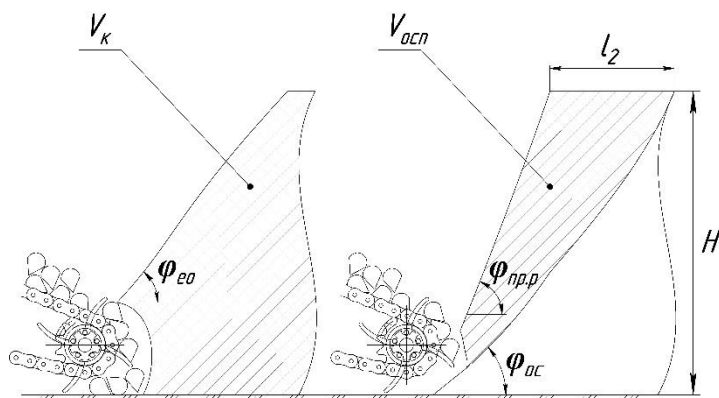


Рисунок 3 – Возникновение откосов в кагате клубней сахарной свеклы

$V_{осп}$ - осыпавшийся объем корнеплодов, m^3 ; l_2 - ход питателя до осыпания, м

В этом случае к объему, поступающему на транспортер от вала с кулачками V_k добавляется объем осыпавшегося материала $V_{осп}$.

Работа погрузчика с предлагаемым питателем будет носить циклический характер, и включать два этапа. На первом этапе погрузчик движется фронтально, на пи-

татель поступает материал объемом V_k , до образования откоса предельного равновесия $\varphi_{пр.р.}$. Далее питатель внедряется в откос и происходит его осыпание, машина останавливается и выбирает осыпавшиеся корнеплоды. Объем осыпавшегося материала $V_{осп}$, с учетом угла естественного откоса в движении φ_d вычисляется

$$V_{осп} = \frac{\pi H}{12} [H^2 ctg^2 \varphi_d + H ctg \varphi_d (1 + l_2 + 1,5B) + 2Bl_2]. \quad (6)$$

Производительность питателя составит

$$Q_{пит} = \frac{(V_k + V_{обп})\rho}{t}, \quad (7)$$

где ρ – плотность груза, kg/m^3 .

Производительность зависит от количества материала, который осыпается на транспортер, определяется углами предельного равновесия и естественного от-

коса в движении.

Объем корнеплодов поступающий от вала с кулачками далее транспортируется отгрузочным цепным транспортером. Основными параметрами транспортера являются: ширина полотна $B_{тр}$, скорость движения цепи $v_{тр}$, длина $L_{тр}$.

Производительность транспортера $Q_{тр}$ (кг/с) определим по известному выражению

$$Q_{тр} = A_{тр} v_{тр} \rho K_{\beta} K_{\Pi}, \quad (8)$$

где $A_{тр}$ – площадь поперечного сечения слоя сахарной свеклы, m^2 ; $K_{\beta}=1 \dots 0,75$ – коэффициент, учитывающий осыпание материала при угле наклона транспортера от 0 до 20 градусов; K_{Π} – коэффициент производительности.

Отличительной особенностью кулачково-планчатого питателя является размещение вала с кулачками внутри цепного планчатого транспортера, с возможностью кулачков проходить между планками, тем самым без лишних воздействий на сахарную свеклу переносить её с одного рабочего органа на другой.

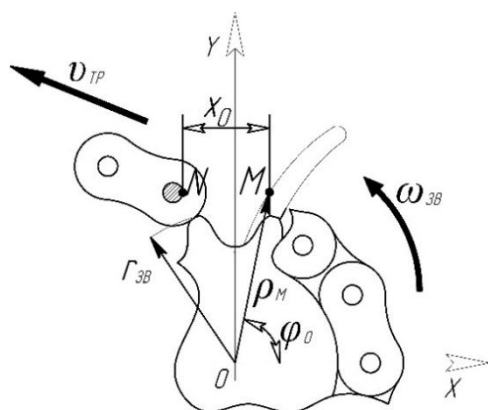


Рисунок 5 – Схема перемещения кулачка и планки

Для устранения защемления сахарной свеклы при разгрузке ее на транспортер, а также для исключения защемления компонентов вороха и наматывания растительности на вал, кулачки выполнены по профилю логарифмической спирали.

Для обеспечения работоспособности питателя определялось расстояние между планками позволяющее кулачкам проходить между ними.

Для этого было рассмотрено перемещение двух точек – M , принадлежащая поверхности кулачка и N , принадлежащая ленте конвейера (рисунок 5). Точка N совершает прямолинейное движение со скоростью $v_{тр}$. Точка M совершает криволинейное движение с постоянной угловой скоростью $\omega_{зв}$ по окружности с радиусом логарифмической спирали ρ_M

$$\rho_M = a e^{b\varphi_0}, \quad (9)$$

где a и b – действительные числа (a расстояние между витками логарифмической

спирали, а b – шаг витков).

Условие работы транспортера можно сформулировать в виде неравенства

$$ae^{b\varphi_0} \cos(\varphi_0 - \omega_{зв}t) < x_0 + v_{тр}, \quad (10)$$

где x_0 – расстояние между точками M и N вдоль оси x в начале движения.

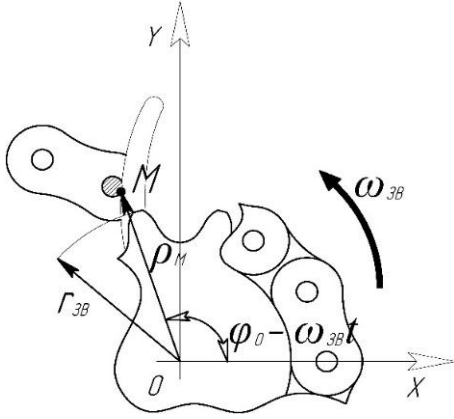


Рисунок 6 – Момент пересечения кулачком траектории движения планки

Встреча точек M и N при их совместном движении наиболее вероятна при пересечении точкой M траектории движения точки N (рисунок 6).

Тогда время t_B , при котором наиболее вероятна встреча точек M и N будет равно

$$t_B = \frac{1}{\omega_{зв}} \left(\varphi_0 - \arcsin \frac{r_{зв}}{\rho_M} \right), \quad (11)$$

где $r_{зв}$ – радиус звездочки цепного транспортера, м.

Минимальное расстояние между двумя соседними планками, выполненными в виде прутков круглого сечения, определится

$$S > 2ae^{b\varphi_0} \cos(\varphi_0 - \omega_{зв}t_B) - r_{зв}\omega_{зв}t_B. \quad (12)$$

Для свободного перемещения корнеплодов между кулачком и транспортером без травмирования, должно выполняться условие

$$\alpha \geq \varphi_c, \quad (13)$$

где φ_c – максимальный угол заземления, для корнеплодов $\varphi_c = 40^\circ$.

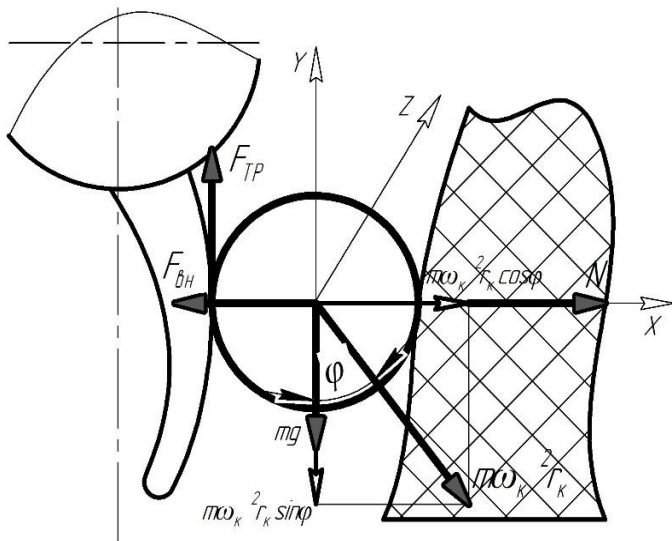


Рисунок 7 – Схема сил действующих на кулачек при захвате

При погрузке можно выделить процессы захвата корнеплодов кулачками, транспортирования в массиве и разгрузки на отгрузочный транспортер.

При захвате кулачками после начала движения (рисунок 7) на сахарную свеклу действуют сила тяжести mg , центробежная сила $m\omega_K^2 r_K$. Со стороны корне-

плодов в кагате будет иметь место сопротивление внедрению кулачка $F_{\text{вн}}$.

При захвате сахарной свеклы она будет стремиться скатиться с криволинейной поверхности, поэтому между кулачком и корнеплодом будет возникать сила трения качения $F_{\text{тр}}$. Угловая скорость, при которой сахарная свекла будет оставаться на поверхности кулачка без проскальзывания, определится по формуле

$$\omega_{\text{к}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{f[\tau]}{\rho l} + fg \sin\varphi - g \cos\varphi\right)}{r_{\text{к}}}}, \quad (14)$$

где $[\tau]$ – удельное сопротивление внедрению, кПа.

Объединив процессы захвата, транспортирования корнеплодов в кагате и разгрузки на транспортер суммарное сопротивление движению будет складываться из силы тяжести mg , сопротивления внедрению питателя $F_{\text{вн}}$, сопротивления сдвига корнеплодов $F_{\text{сдв}}$ и сил инерции $F_{\text{и}}$.

Масса груза m выражается через объем, захватываемый валом с кулачками и плотность сахарной свеклы

$$mg = \rho V_{\text{к}} g. \quad (15)$$

Сопротивление внедрению кулачков в кагат зависит от их количества, геометрических параметров и расположения на валу, и определяется по формуле

$$F_{\text{вн}} = \frac{\left(270 - \frac{\beta_{\text{тр}}}{360}\right) B k h b [\tau]}{b + b_1}, \quad (16)$$

где $\beta_{\text{тр}}$ – угол установки транспортера, град; b – толщина кулачка, м; b_1 – расстояние между кулачками, м; k – количество рядов кулачков питателя, шт; h – высота кулачков, м.

Сопротивление сдвига порции груза

$$F_{\text{сдв}} = \sigma B \left[\frac{\left(\frac{2(\vartheta_{\text{п}} + r_{\text{к}} \omega_{\text{к}})}{\omega_{\text{к}}}\right) k_{\text{э}} - \frac{4\vartheta_{\text{п}} r_{\text{к}} \omega_{\text{к}}}{(\vartheta_{\text{п}} + r_{\text{к}} \omega_{\text{к}})} \times}{\times [-\cos(\varphi_0 + \omega_{\text{к}} t_2) + \cos(\varphi_0 + \omega_{\text{к}} t_1)]} \right], \quad (17)$$

где σ – удельное сопротивление сдвигу, кПа.

Усилие, необходимое для сообщения корнеплоду скорости, определяется из основного уравнения динамики, исходя из условия равенства импульса силы и

сообщаемого им количества движения

$$F_{и} = m\omega_{к}^2 r_{к} = V_{к}\rho\omega_{к}^2 r_{к}. \quad (18)$$

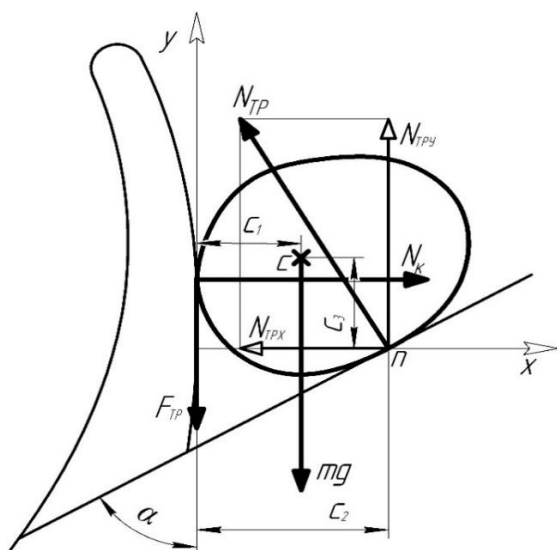


Рисунок 8 – Взаимодействие корнеплода с кулачком и полотном транспортера
x и y, получим

При взаимодействии кулачка с полотном транспортера со стороны корнеплода будут действовать следующие силы (рисунок 8): F_{TP} – сила трения корнеплода о поверхность кулачка, Н; $N_{TP}, N_{к}$ – реакции поверхностей транспортера и кулачка соответственно, Н.

Суммируя моменты относительно точки n и проекцию всех сил на оси

$$N_{к} = \frac{N_{TP}C_2 - mgC_1 \sin\alpha}{C_2 \cos\alpha + C_3 \sin\alpha}, \quad (19)$$

где α – угол защемления корнеплода между кулачком и транспортером; C_1 и C_3 – расстояния от центра тяжести корнеплода до поверхности кулачка и до проекции реакции опоры по оси x , м; C_2 – расстояние от точки контакта корнеплода с поверхностями кулачка и транспортера по оси x , м.

Окончательно, суммарное усилие захвата, перемещения и разгрузки корнеплодов, запишется

$$F_{\Sigma} = \rho V_{к}g + \frac{\left(270 - \frac{\beta_{TP}}{360}\right) Bkhb[\tau]}{b+b_1} + \sigma B \left[\begin{aligned} & \left(\frac{2(\vartheta_{п} + r_{к}\omega_{к})}{\omega_{к}} \right) k_3 - \frac{4\vartheta_{п}r_{к}\omega_{к}}{(\vartheta_{п} + r_{к}\omega_{к})} \times \\ & \times [-\cos(\varphi_0 + \omega_{к}t_2) + \cos(\varphi_0 + \omega_{к}t_1)] \end{aligned} \right] + \\ + V_{к}\rho\omega_{к}^2 r_{к} + \frac{N_{TP}C_2 - mgC_1 \sin\alpha}{C_2 \cos\alpha + C_3 \sin\alpha}. \quad (20)$$

Суммарная мощность потребляемая кулачково-планчатым питателем

$$P = P_{к} + P_{TP}, \quad (21)$$

где $P_{к}$ – мощность на привод вала с кулачками, Вт; P_{TP} – мощность потребляемая цепным транспортером с планками, Вт.

Мощность потребляемая валом с кулачками

$$P_k = \left(\rho V_k g + \frac{\left(270 - \frac{\beta_{\text{ТР}}}{360} \right) B k h b [\tau]}{b + b_1} + \sigma B \left[\left(\frac{2(\vartheta_{\text{П}} + r_k \omega_k)}{\omega_k} \right) k_{\text{Э}} - \frac{4\vartheta_{\text{П}} r_k \omega_k}{(\vartheta_{\text{П}} + r_k \omega_k)} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times [-\cos(\varphi_0 + \omega_k t_2) + \cos(\varphi_0 + \omega_k t_1)] \right] + \right. \\ \left. + V_k \rho \omega_k^2 r_k + \frac{N_{\text{ТР}} C_2 - m g C_1 \sin \alpha}{C_2 \cos \alpha + C_3 \sin \alpha} \right) \times \sqrt{v_{\text{П}}^2 + (\pi n_k D_k)^2 + 2v_{\text{П}} \pi n_k D_k \cos(\varphi - \beta_{\text{ТР}})} \quad (22)$$

где n_k – частота вращения вала с кулачками, с^{-1} .

Мощность затрачиваемая на привод цепного транспортера с планками

$$P_{\text{ТР}} = F_{\text{Т}} v_{\text{ТР}}, \quad (23)$$

где $F_{\text{Т}}$ – расчетное тяговое усилие (окружная сила) на ведущей звездочке, Н; $v_{\text{ТР}}$ – скорость движения ветви транспортера, м/с.

Энергоемкость питателя корнеплодов определится по формуле

$$E = \frac{P_k + P_{\text{ТР}}}{Q_{\text{пит}}}. \quad (24)$$

Расчетные формулы позволили получить зависимости производительности, потребляемой мощности и энергоемкости кулачково-планчатого питателя от режимных и конструктивных параметров (рисунок 9).

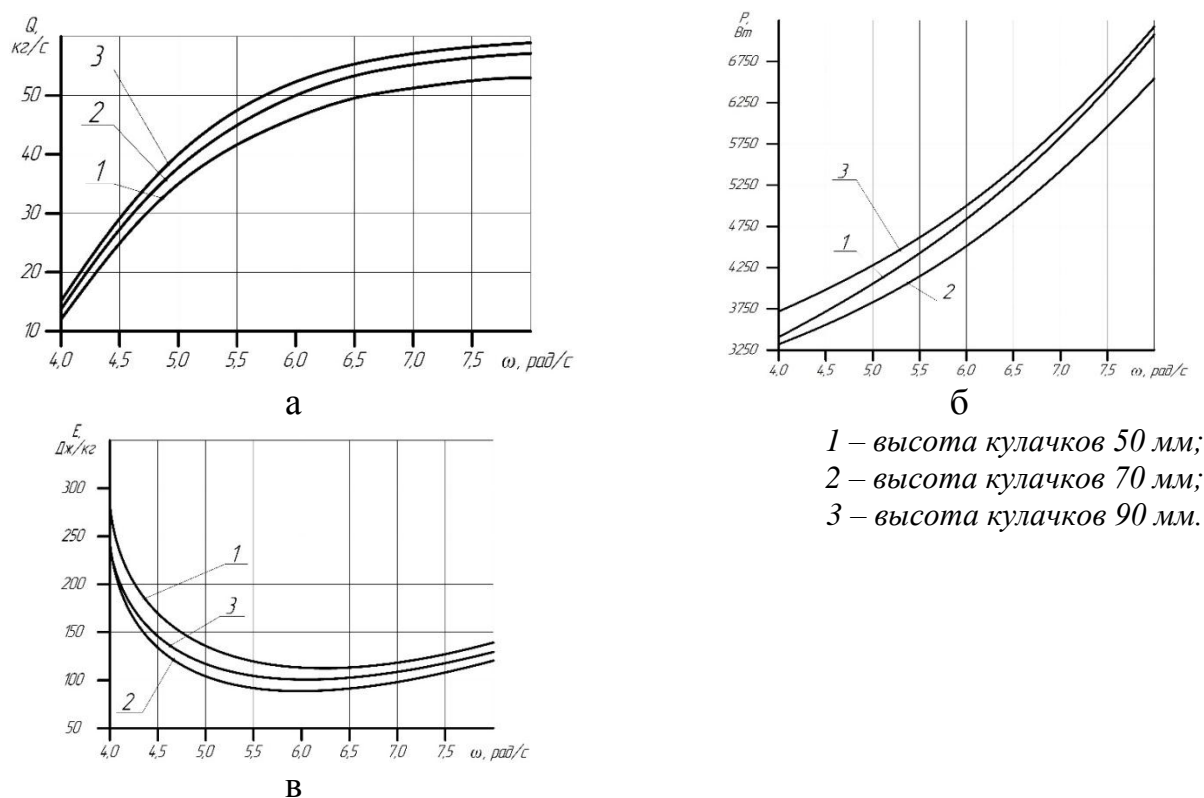


Рисунок 9 – Зависимости производительности Q (а), мощности на привод P (б) и энергоемкости E (в) кулачково-планчатого питателя от его угловой скорости ω_k

Анализируя полученные зависимости видно, что энергоемкость питателя с высотой кулачков 50 мм наибольшая (рисунок 9в), так как при данной высоте кулачков происходит скапливание материала перед питателем, возрастает усилие внедрения в кагат и потребляемая мощность (рисунок 9б).

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» разработана программа и методика экспериментальных исследований, которая включала в себя: исследование физико-механических свойств сахарной свеклы, проверку работоспособности и эффективности конструктивно-технологической схемы кулачково-планчатого питателя, исследование влияния режимных и конструктивных параметров рабочих органов на критерии оптимизации, проверку достоверности теоретических положений и аналитических выражений, полученных во второй главе, экспериментальное определение оптимальных режимных и конструктивных параметров кулачково-планчатого питателя.

Лабораторные исследования проводили на экспериментальной установке (рисунок 10), позволяющей моделировать рабочий процесс и изменять в заданных пределах режимные и конструктивные параметры питателя.

Экспериментальная установка была оснащена регистрирующей и измерительной аппаратурой: тензодатчиками для измерения крутящего момента на валу питателя и усилия внедрения, датчиками частоты вращения приводных валов рабочих органов, усилителем УС-3-01 и осциллографом GOS 620FG. За критерии оптимизации были приняты крутящий момент на приводном валу T и усилие внедрения питателя F_H .

Экспериментальные исследования проводили на сорте сахарной свеклы «Сесвандархаве Манон» через три дня после уборки. При проведении лабораторно-полевых исследований руководствовались методиками изложенными в ГОСТ Р 52647 – 2006 «Свекла сахарная. Технические условия.», ГОСТ 20578-85. «Свекла сахарная. Термины и определения.» и ГОСТ Р 53036-2008. «Свекла сахарная. Методы испытаний.».

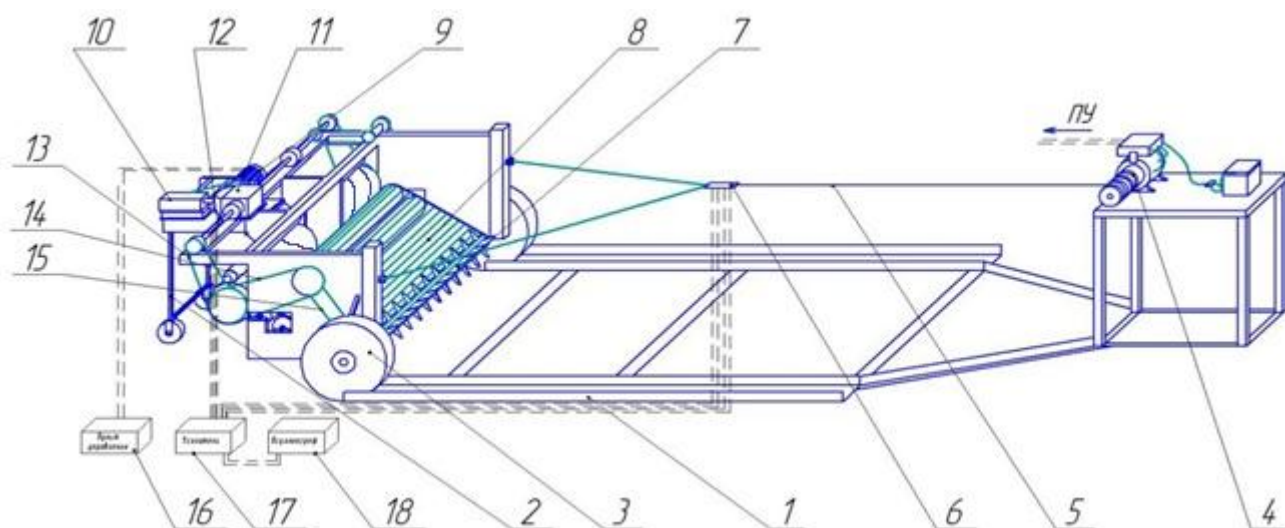


Рисунок 10 – Схема экспериментальной установки

1 – рама; 2 – тележка; 3 – опорные колеса; 4 – электрическая лебедка; 5 – тяговый канат; 6 – тензометрическое звено; 7 – вал с кулачками; 8 – цепной транспортер с планками; 9 – электрический двигатель постоянного тока; 10 – угловой редуктор; 11 – центральный редуктор; 12 – тензометрический вал; 13, 14, 15 – цепные передачи; 16 – пульт управления; 17 – усилитель; 18 – осциллограф

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты исследований физико-механических свойств сахарной свеклы, лабораторно-полевых исследований и производственных испытаний кулачко-планчатого питателя.

Установлено влияние режимных и конструктивных параметров на показатели работы кулачко-планчатого питателя. Получены уравнения регрессии и соответствующие им графические зависимости, описывающие изменения критериев оптимизации от высоты кулачков, угловой скорости вала с кулачками и поступательной скорости питателя.

Зависимость крутящего момента на приводном валу питателя от исследуемых факторов представлена уравнением

$$T = 4812,9 - 863,0\omega_k - 13815,6v_{\text{п}} - 29,0H + 1326,0\omega_k v_{\text{п}} + 2,2\omega_k H + 46,0v_{\text{п}} H + 50,3\omega_k^2 + 32868,8v_{\text{п}}^2 + 0,095H^2. \quad (25)$$

Для получения координат оптимума и изучения свойств поверхности отклика в окрестностях оптимума проводили каноническое преобразование полученной математической модели. Поверхность отклика исследовали с помощью двумерных сечений (рисунок 11).

Анализ показывает, что величина крутящего момента на приводном валу питателя имеет минимальное значение $T = 741$ Нм при следующих параметрах: высота кулачков $H = 50 \dots 70$ мм, поступательная скорость $v = 0,03 \dots 0,18$ м/с. Увеличение или уменьшение значений исследуемых факторов приводит к росту энергозатрат на рабочий процесс.

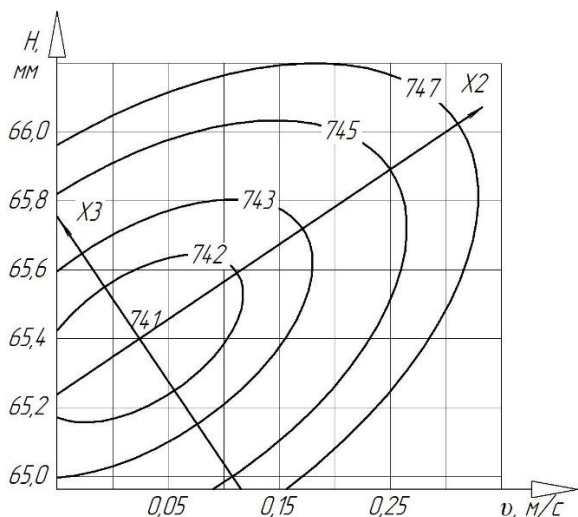


Рисунок 11 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость крутящего момента на валу питателя от поступательной скорости погрузчика и высоты кулачков

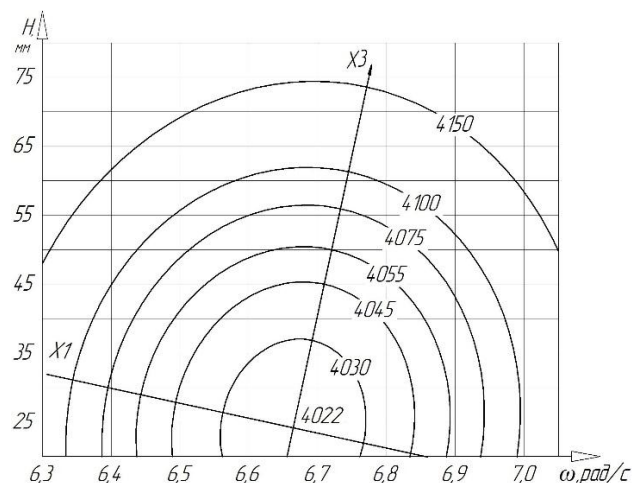


Рисунок 12 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость усилия внедрения питателя от высоты кулачков и угловой скорости вала с кулачками

В результате экспериментальных исследований получена зависимость усилия внедрения питателя от исследуемых факторов:

$$F_H = 34654,6 - 9693,8\omega_k + 16671,6v_{\Pi} + 79,9H - 4292,0\omega_k v - 11,6\omega_k H - 107,0v_{\Pi} H + 769,7\omega_k^2 + 137462,0v_{\Pi}^2 + 0,097H^2. \quad (26)$$

Двумерное сечение поверхности отклика представлено на рисунке 12.

Оптимальные значения факторов, при которых критерии оптимизации имеют минимальное значение составят: угловая скорость вала с кулачками $\omega_k = 6,3 \dots 7,1$ рад/с; поступательная скорость питателя $v_{\Pi} = 0,03 \dots 0,14$ м/с; высота кулачков $H = 65 \dots 67$ мм. Крутящий момент на приводном валу питателя при данных значениях составит $T = 741$ Нм, усилие внедрения питателя $F_H = 4022$ Н.

Сходимость теоретических и экспериментальных зависимостей основных показателей работы кулачково-планчатого питателя при оптимальных режимных и конструктивных параметрах представлена на рисунке 13.

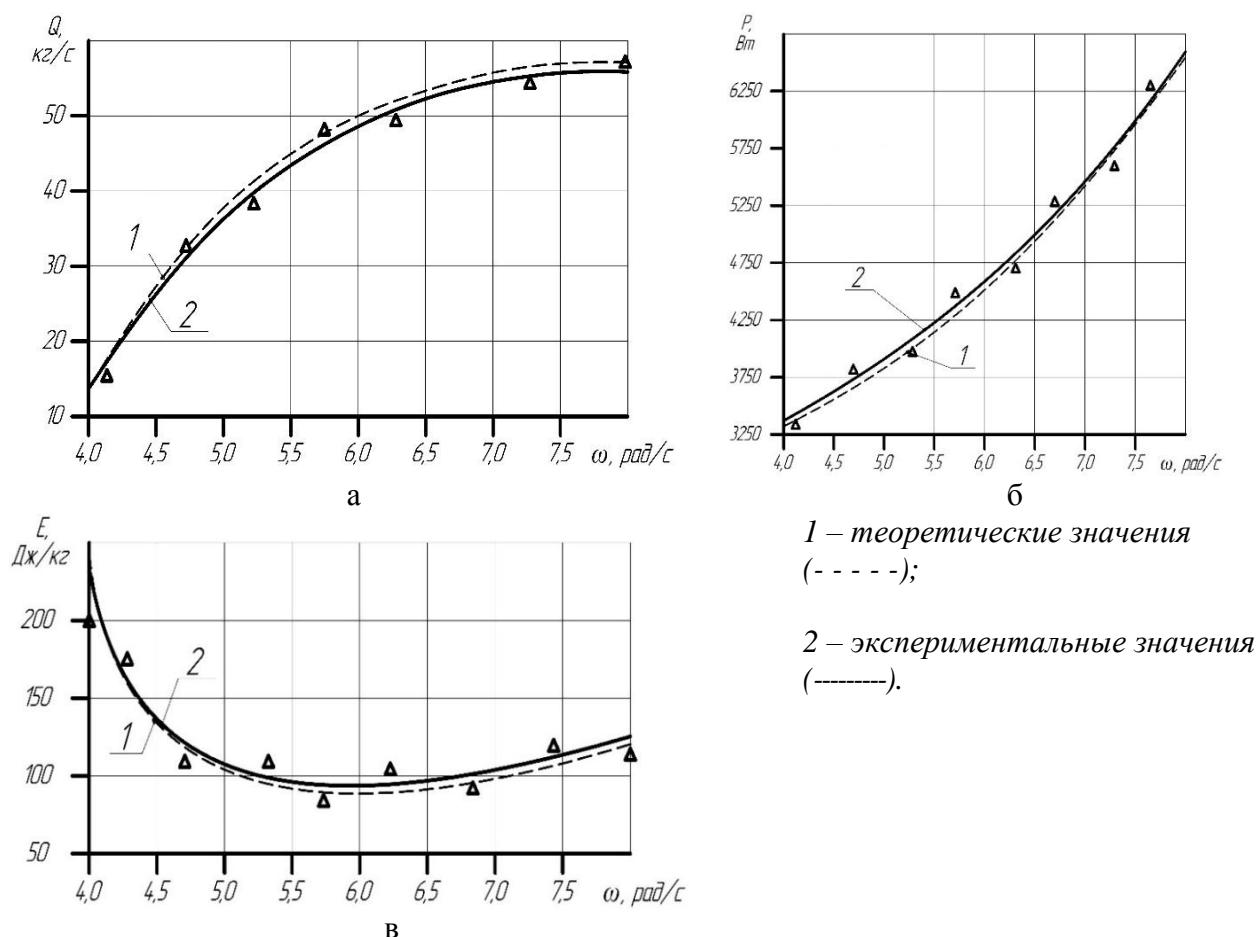


Рисунок 13 – Графики сходимости теоритических и экспериментальных зависимостей производительности Q (а), мощности P (б) и энергоемкости E (в) от угловой скорости ω_k

Производственные испытания погрузчика с кулачково-планчатым питателем были проведены в КФХ «Агрос Красное знамя» и КФХ «ИП Н.А. Федюнин» Ртищевского района Саратовской области на площадке временного хранения сахарной свеклы. В результате энергоемкость предлагаемого кулачково-планчатого питателя, при оптимальных режимных и конструктивных параметрах составила 131 Дж/кг, а производительность 55-57 кг/с. Повреждаемость сахарной свеклы находилась в пределах допустимых и соответствовала агротехническим требованиям (ГОСТ Р 52647 – 2006).

В пятой главе «Технико-экономическое обоснование» приведен расчет экономической эффективности погрузчика непрерывного действия с кулачково-планчатым питателем в сравнении с серийным погрузчиком СПС-4,2.

Использование кулачково-планчатого питателя на погрузчике непрерывного действия позволяет уменьшить прямые затраты на 13,16% и получить годовой экономический эффект 83253,67 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенного анализа литературных источников и научных работ, связанных с вопросами технологий производства сахарной свеклы, установлено, что энергоемкость существующих свеклопогрузчиков при погрузке сахарной свеклы из кагатов составляет 500 Дж/кг и выше. Разработана классификация питателей свеклопогрузчиков непрерывного действия. Предложена новая конструктивно-технологическая схема кулачково-планчатого питателя (патент на изобретение № 2513549), обеспечивающая объединение функций захвата клубней из кагата и последующее их транспортирование на тяговом органе, что позволяет снизить энергоемкость процесса.
2. Теоретические исследования рабочего процесса позволили выявить кинематические и силовые зависимости, на основании которых получены аналитические выражения производительности, мощности на привод и энергоемкости кулачково-планчатого питателя, учитывающие конструктивные и режимные параметры питателя и физико-механические свойства груза.
3. По результатам экспериментальных исследований получены регрессионные модели и соответствующие им графические зависимости, описывающие изменение критериев оптимизации в зависимости от конструктивных и режимных параметров кулачково-планчатого питателя. Зависимости носят квадратичный характер по исследуемым параметрам. Экспериментальные исследования позволили установить оптимальные значения параметров, соответствующие минимальным величинам крутящего момента $T=741 \text{ Нм}$ и усилия внедрения $F_n = 4022 \text{ Н}$: высота кулачков 65...67 мм, поступательная скорость 0,03...0,14 м/с и угловая скорость вала с кулачками 6,3...7,1 рад/с.
4. Производственные испытания позволили установить эффективность погрузчика непрерывного действия с кулачково-планчатым питателем при работе с кагатами сахарной свеклы, при этом производительность питателя составила 55 кг/с, энергоемкость – 131 Дж/кг, энергоемкость погрузчика в целом – 479 Дж/кг. Внедрение предлагаемого погрузчика с разработанным питателем по сравнению с погрузчиком СПС-4,2 позволяет снизить прямые затраты на 13,16% и получить

годовой экономический эффект 83253,67 руб., срок окупаемости – 2,11 года.

Рекомендации. Применение разработанного питателя к погрузчику непрерывного действия позволит понизить затраты при погрузке сахарной свеклы.

Полученные результаты могут быть использованы конструкторскими и проектными организациями при разработке новых погрузчиков непрерывного действия для погрузки корнеплодов, в учебном процессе – студентами, аспирантами и научными сотрудниками.

Перспектива дальнейшей разработки темы: дальнейшее исследование технологического процесса погрузки сахарной свеклы с целью снижения энергоемкости.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Дмитриев, Р.С. Роторно-планчатый питатель к погрузчику / Р.Р. Хакимянов, Р.С. Дмитриев, В.С. Тюкалин // Сельский механизатор. – 2014. - №7. – С. 38-40.
2. Дмитриев, Р.С. Результаты экспериментальных исследований кулачкового планчатого питателя к погрузчику непрерывного действия / Р.Р. Хакимянов, Р.С. Дмитриев, А.А. Леонтьев // Научное обозрение –2014. – №12. – С. 43-47.
3. Дмитриев, Р.С. Ресурсосберегающий фрезерно-барабанный питатель к погрузчику / Р.Р. Хакимянов, В.С. Тюкалин, Р.С. Дмитриев // Сельский механизатор – 2015. - №1. - С. 41-43.
4. Дмитриев, Р.С. Влияние параметров кулачкового планчатого питателя на усилие внедрения погрузчика / Р.Р. Хакимянов, Р.С. Дмитриев // Аграрный научный журнал - 2015. - №8. – С.60-62.
5. Дмитриев, Р.С. Теоретическое исследование параметров, определяющих производительность кулачкового-планчатого питателя погрузчика непрерывного действия / Р.Р. Хакимянов, Р.С. Дмитриев // Научное обозрение –2016. – №9.

Патент на изобретение

6. Патент №2513549 Российская Федерация, МПК А01D51/00 Питатель к погрузчику корнеклубнеплодов непрерывного действия / Хакимзянов Р.Р., Дмитриев Р.С.; № 2012146209/13; заявл. 29.10.2012; опубл. 20.04.2014, бюл. № 11.- 5 с.: ил.

Публикации в других изданиях

7. Дмитриев, Р.С. Конструктивно-технологическая схема погрузчика свеклы / Р.Р. Хакимзянов, Р.С. Дмитриев // Аграрная наука в 21 веке: проблемы и перспективы: Сборник статей 6-й Всероссийской научно-практической конференции. Часть 2./Под ред. И.Л. Воротникова. – Саратов: Издательство «КУБиК», 2012. – 252 с.

8. Дмитриев, Р.С. Результаты исследований конструктивных и режимных параметров питателя к погрузчику непрерывного действия / Р.Р. Хакимзянов, А.А. Леонтьев, Р.С. Дмитриев // Материалы II международной научно-технической конференции «Достижения науки - агропромышленному производству»/ под. ред. докт. техн. наук, проф. Н.С. Сергеева. – Челябинск : ЧГАА, 2012. – Ч. IV. – 212 с. 154-159 с.