

На правах рукописи



Чернова Елена Николаевна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ КЛЕТОК
СОДЕРЖАНИЯ ПЛЕМЕННЫХ ТЕЛЯТ ОБОСНОВАНИЕМ
ПАРАМЕТРОВ СКРЕБКА И ЛЕНТОЧНОГО ПОДВИЖНОГО ПОЛА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Саратов 2017

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

Научный руководитель – **Старцев Александр Сергеевич**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Хмыров Виктор Дмитриевич,**
доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ,
профессор кафедры «Технологические
процессы и техносферная безопасность»
ФГБОУ ВО «Мичуринский
государственный аграрный университет»

Губейдуллин Харис Халеуллинович
доктор технических наук, профессор,
Технологический институт – филиал ФГБОУ
ВО «Ульяновская ГСХА им. П.А.
Столыпина», директор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение Всероссийский научно-
исследовательский институт механизации
животноводства (г. Москва)

Защита диссертации состоится _____ 2017 г. в _____ часов на
заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе ФГБОУ ВО
«Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по
адресу: 410056, г Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325 им. А.В. Дружкина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
Саратовский ГАУ и на сайте [www. sgau.ru](http://www.sgau.ru).

Отзывы направлять учёному секретарю диссертационного совета по адресу:
410012, г. Саратов, Театральная пл., 1. e-mail: chekmarev.v@yandex.ru.

Автореферат разослан « » _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Чекмарёв Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Начиная с 2001 г. в России производство мяса в убойной массе увеличилось более чем в два раза. Так, если в 2001 г. в России объем производства мяса составлял 4477 тыс. т, то в 2015 г. – 9484 тыс. т.

Увеличение объема производства мяса и молочных продуктов невозможно без качественного поголовья племенных животных, высокого уровня механизации и автоматизации технологических процессов содержания молодняка. Одним из важных условий содержания молодняка, предотвращения его заболеваемости и падежа является своевременная и качественная очистка клеток от экскрементов.

Уборка клеток, боксов и домиков для содержания телят является наиболее трудоемкой операцией, проводится в основном вручную и занимает во всем технологическом процессе содержания до 75 % от общей трудоемкости. Операции по уборке клеток проводятся до трех раз в сутки, требуют больших трудозатрат, вызывают стресс у животных, что в дальнейшем негативно сказывается на приросте живой массы теленка и его полноценном развитии.

Научные исследования, направленные на повышение эффективности средств механизации уборки экскрементов при содержании племенных телят в клетках и выращивание здорового молодняка, являются актуальными, а разработка технических средств, позволяющих исключить ручной труд при очистке полов клеток для содержания телят, является важной задачей.

Степень разработанности темы. Составлена классификация клеток для содержания животных. Разработана конструкция клетки для содержания телят с возможностью проведения моциона, оснащенная ленточным подвижным полом и скребком очищающим. Разработана конструктивно-технологическая схема очистки ленты подвижного пола от экскрементов телят, теоретически обоснованы закономерности, характеризующие влияние параметров ленты подвижного пола и скребка очищающего на количество остатка экскрементов телят на ленте подвижного пола, проведена экспериментальная проверка работы скребка очищающего.

Цель работы – снижение трудозатрат технологического процесса очистки клеток для содержания телят путем обоснования конструктивно-технологических параметров скребка очищающего и ленточного подвижного пола.

Объект исследований. Технологический процесс очистки скребком очищающим ленты подвижного пола клетки для содержания телят.

Предмет исследований. Влияние конструктивных, технологических параметров ленточного подвижного пола и скребка очищающего на очистку клетки от экскрементов телят.

Задачи исследований:

1. Провести анализ существующих конструкций клеток для содержания телят и обозначить перспективные направления, повышающие качество очистки.

2. Обосновать конструктивные параметры скребка очищающего и теоретически исследовать процесс очистки ленты подвижного пола от экскрементов телят.

3. Провести исследования физико-механических свойств экскрементов телят возрастом до года, выполнить экспериментальные исследования процесса очистки ленты подвижного пола скребком очищающим.

4. Провести производственные испытания и дать экономическую оценку эффективности использования скребка очищающего при его работе.

Научная новизна заключается в усовершенствовании технологического процесса очистки ленты подвижного пола клетки для содержания племенных телят скребком очищающим теоретическим обоснованием зависимостей содержания остатка экскрементов на ленте подвижного пола клетки от конструктивных параметров скребка.

Теоретическая и практическая значимость работы. На основе исследований разработан технологический процесс очистки ленты подвижного пола клетки для содержания телят скребком очищающим.

Предложены математические выражения для определения:

- силы прижатия ленты к рабочей поверхности скребка;
- зазора между рабочей кромкой скребка очищающего и поверхностью ленты подвижного пола клетки для содержания телят;
- остатка экскрементов телят на ленте подвижного пола после скребка очищающего.

Результаты исследований могут быть использованы при проектировании и совершенствовании средств очистки клеток и боксов для содержания телят. Применение предлагаемого скребка позволит обеспечить удаление экскрементов на 97,8 % от всей массы экскрементов, выделяемых теленком на ленту подвижного пола, и снизить затраты труда при очистке клетки на 92,3 %.

Проведены экспериментальные исследования клетки для содержания телят с очищающим устройством. Опытный образец клетки с очищающим устройством внедрен в ЗАО «Агрофирма «Волга» Марковского района Саратовской области и получен акт производственных испытаний.

Методология и методы исследований. В методологии исследований использован системный подход, позволяющий раскрыть целостность объекта исследований и взаимообусловленность связей между провисанием ленты подвижного пола, углом при вершине скребка очищающего, углом наклона рабочей кромки скребка к плоскости поверхности ленты. Теоретические исследования проведены методом математического анализа и использованием известных законов и методов механики. Экспериментальные исследования выполнены методом полного факторного эксперимента с применением теории вероятностей и математической статистики. Обработку результатов экспериментальных исследований выполняли в программе Microsoft Excel «Статистический анализ данных» с использованием ПК.

Научные положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема очистки ленты подвижного пола клетки для содержания телят скребком очищающим;
- математические выражения для определения силы прижатия ленты к рабочей кромке скребка, определения зазора между рабочей кромкой скребка очищающего и поверхностью ленты, определения остатка экскрементов телят на ленте подвижного пола;
- аналитические зависимости количества остатка экскрементов телят на ленте подвижного пола после скребка очищающего от конструктивных параметров скребка и ленточного подвижного пола.

Степень достоверности и апробация работы обеспечена достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных данных, проведенных по критерию Фишера – Снедекора, подтверждается методиками выполнения экспериментальных исследований с доверительной вероятностью 0,96, разработанных в соответствии с ГОСТами. Результаты исследований доложены и одобрены на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова (Саратов, 2006–2017 гг.); Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня рождения А.Г. Рыбалко (Саратов, 2006 г.); II конференции, посвященной 120-летию со дня рождения академика В.Л. Мосолова (Йошкар-Ола, 2008 г.); международных научно-практических конференциях «Вавиловские чтения», (Саратов, 2009–2010 гг.); XXIII Межгосударственном научно-техническом семинаре «Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания» (Саратов, 2010 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения В.Г. Кобы (Саратов, 2011 г.); III Международной научно-практической

конференции «Актуальные проблемы энергетики АПК» (Саратов, 2012 г.); VIII Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы» (Саратов, 2014 г.); международных научно-технических семинарах имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2011, 2013–2017 гг.); Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения А.Г. Рыбалко (Саратов, 2017 г.).

Основные положения диссертации опубликованы в 19 научных работах, в том числе 4 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Общий объем публикаций – 4,56 печ. л., из которых 3,07 печ. л. принадлежит лично соискателю.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы и приложений. Работа изложена на 193 страницах, содержит 77 рисунков, 13 таблиц, 8 приложений. Список литературы включает в себя 141 наименование, в том числе 11 – на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы степень ее разработанности, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Изложены методология и методы использования, положения, выносимые на защиту, цель и задачи исследования

В первой главе **«Состояние вопроса. Цель и задачи исследований»** рассмотрены технологические схемы содержания телят, проведен анализ конструкций клеток, домиков, боксов и вольеров, определены основные недостатки, составлена классификация клеток для телят. Установлено, что среди существующих аналогов клеток наиболее распространенной является клетка Эверса или ее производные. Процессы очистки клеток от экскрементов телят не механизированы и требуют затрат ручного труда до 75 % от всей трудоемкости содержания телят. Некачественная и несвоевременная очистка клеток способствует размножению бактерий, что приводит к возникновению заболеваний животных, осложняет их рост и полноценное развитие.

Исследованиями процесса очистки телятников, стойл от навоза КРС и МРС технологическими средствами занимались ученые: В.Н. Алексеев, В.П. Гриднев, Х.Х Губейдуллин, Ю.В. Гурьянова, Ю.А. Киров, В.А. Мухин, А.А. Овчинников, П.И. Павлов, Л.К. Садовская, В.Я. Спевак, И.К. Текучев, Н.А. Терентьев, Ю.В. Фаткудинова, В.Д. Хмыров, И.И. Шигапов и др.

Однако проведенные исследования преимущественно ориентированы на очистку помещений животноводческих ферм и комплексов для разведения

взрослых особей с применением подстилок или в случаях группового содержания телят.

Во второй главе «Теоретическое исследование рабочего процесса удаления экскрементов из клетки для содержания племенных телят» известными математическими методами обоснована усовершенствованная конструкция клетки для содержания телят. Установлено, что для качественного и продуктивного содержания телят необходима конструкция клетки с возможностью механизированной очистки пола от экскрементов, проведения моциона теленком, оснащенная датчиками контроля загрязнения пола.

Приведена конструкция клетки для содержания племенных телят, оснащенная подвижным полом и скребком очищающим (рисунок 1). Руководствуясь условиями содержания телят и габаритными размерами технологических помещений, обоснованы материал и конструктивные параметры ленты подвижного пола: ширина – 1,5 м, длина – 0,5 м. Получены математические выражения для силы прижатия ленты подвижного пола к рабочей кромке скребка очищающего, выражение для зазора между рабочей кромкой скребка и лентой подвижного пола, выражение для определения остатка экскрементов на ленте подвижного пола t после очистки скребком в зависимости от провисания ленты T , угла при вершине скребка β , угла наклона рабочей кромки скребка γ .

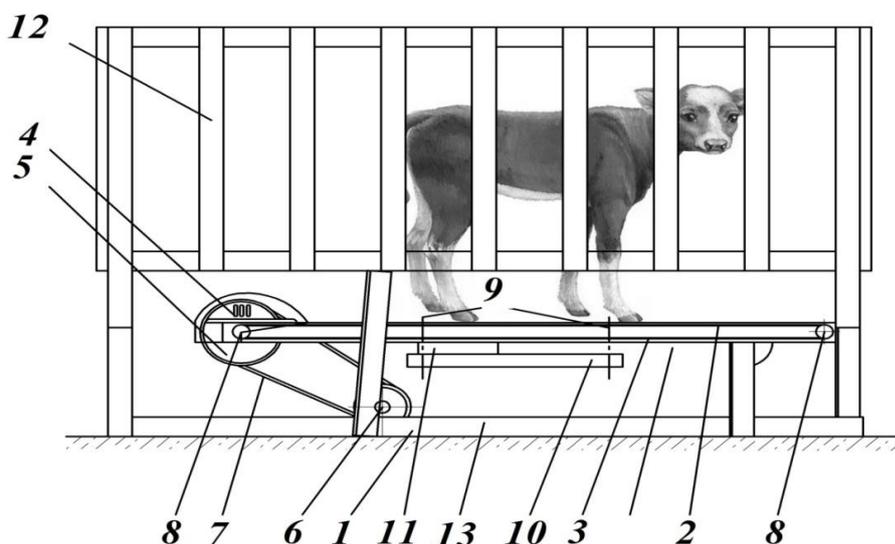


Рисунок 1 – Клетка для содержания телят: 1 – рама клетки; 2 – рама подвижной пола; 3 – подвижная лента; 4 – электродвигатель; 5 – ведущий шкив; 6 – ведомый шкив; 7 – ремень; 8 – натяжные ролики; 9 – шпильки; 10 – рамка; 11 – скребок очищающего устройства; 12 – деревянная клетка

Разработанная клетка состоит из рамы 1, сопряженной посредством болтовых соединений с рамой подвижного пола 2. На раме подвижного пола

2 установлена подвижная лента 3, привод которой осуществляется посредством электродвигателя 4 через ведущий и ведомый шкивы 5 и 6 и ремня 7. Движение подвижной ленты 3 происходит через натяжные ролики 8. Для очистки подвижной ленты 3 от экскрементов телят к раме клетки 1 на шпильках 9 установлена рамка 10, к которой закреплен скребок очищающий 11. На раме клетки 1 закреплена деревянная клетка 12.

В процессе очистки ленты подвижного пола от экскрементов он подвергается воздействию ряда сил, способствующих и препятствующих процессу очистки (рисунок 2):

- $F_{упр1}$ – упругая сила, образуемая от провисания ленты, на участке $A-A$;
- $F_{упр2}$ – упругая сила, на участке $B-B$;
- $F_{пр}$ – сила прижатия ленты к рабочей кромке скребка;
- $F_{тр}$ – сила трения резинового подвижного пола по рабочей кромке скребка;
- $F_{отр}$ – сила отрыва экскрементов от подвижного пола;
- F_0 – сила, возникающая от силы тяжести подвижного пола в максимальной точке провисания;
- F_G – вес подвижного пола и экскрементов, действующих на рабочую кромку скребка;
- $F_{дв}$ – движущая сила;
- Δq – распределяемая нагрузка от веса подвижного пола и экскрементов.

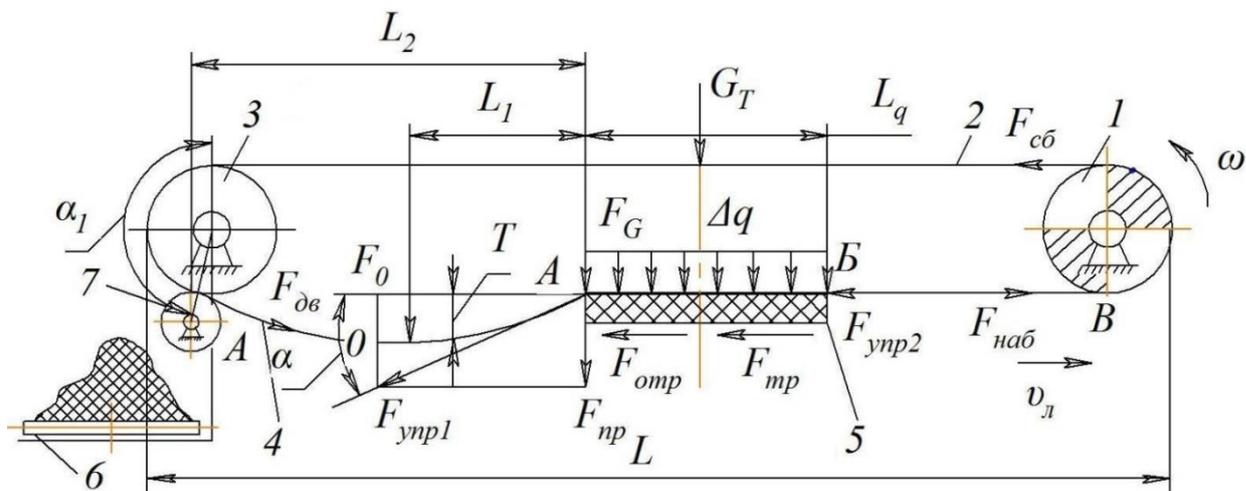


Рисунок 2 – Схема действия сил при движении ленты по скребку очищающему:

1 – ведущий барабан; 2 – рабочая ветвь ленты; 3 – натяжной барабан; 4 – холостая (нижняя) часть ленты; 5 – скребок; 6 – навозоуборочный транспортер; 7 – прижимной ролик; L – длина ленты; L_q – длина рабочей части скребка; L_1 – расстояние от вершины скребка т. A до максимальной точки провисания ленты т. O ; L_2 – расстояние от вершины скребка т. A до схода ленты с натяжного барабана т. A' ; α – угол действия упругой силы

$F_{упр1}$; T – величина провисания ленты

Скребок очищающий 5 (см. рисунок 2) одновременно является и неподвижной опорой подвижного пола, по которой происходит движение холостой ветви 4 подвижного пола. Качество очистки подвижного пола от экскрементов зависит от силы его прижатия к скребку $F_{\text{пр}}$. Сила прижатия подвижного пола к скребку определяется двумя составляющими. Первая составляющая – это упругая сила $F_{\text{упр}}$, возникающая в результате провисания пола на участке L_2 от т. A' – схода пола с натяжного барабана до т. A – контакта подвижного пола со скребком. Провисание подвижного пола происходит от его веса и веса прилипших экскрементов. Второй составляющей является вес подвижного пола F_G , действующий в месте контакта пола со скребком.

Величину упругой силы находят по выражению

$$F_{\text{упр}} = (m_n + m_3)Lg_e, \text{ Н}, \quad (1)$$

где m_n – масса 1 погонного метра подвижного пола, кг/м; m_3 – масса экскрементов на 1 погонном метре пола, кг/м; L – длина подвижного пола, м; g_e – ускорение свободного падения, м/см².

Для удобства записи, выражение (1) преобразуем в следующий вид:

$$F_{\text{упр}} = m_{\Sigma}Lg_e, \text{ Н}, \quad (2)$$

где $m_{\Sigma} = (m_n + m_3)$.

При определении второй составляющей силы прижатия введем допущение: вес ленты и экскрементов равномерно распределяется по площади контакта ленты со скребком. Таким образом выражение для определения второй составляющей примет следующий вид:

$$F_G = \Delta L_c m_{\Sigma} g_e, \text{ Н}, \quad (3)$$

где ΔL_c – элементарная площадь взаимодействия ленты со скребком, м².

Конечное выражение для определения силы прижатия пола к скребку принимает следующий вид:

$$F_{\text{упр}} = [m_{\Sigma}g_e(L_2 \sin \alpha + \Delta L_c)] \text{ Н}. \quad (4)$$

Так как величина силы F_G незначительна, то в дальнейших расчетах ей можно пренебречь: $F_G = F_0$. Из выражения следует, что сила прижатия скребка к поверхности ленты при прочих равных условиях зависит от длины провисающей части ленты L_2 , а также угла ее провисания α , который характеризуется величиной максимального провисания $T_{\text{пр. max}}$.

Очевидно, что количество остатков экскрементов на поверхности пола после ее очистки скребком зависит от величины зазора S (рисунок 3) между полом и скребком.

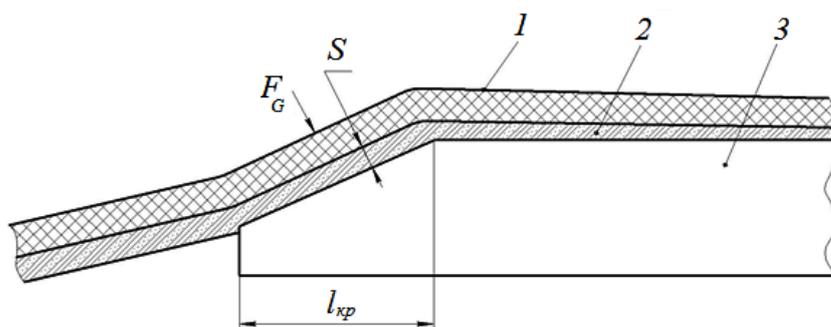


Рисунок 3 – Схема взаимодействия ленты со скребком: 1 – лента; 2 – основное количество экскрементов; 3 – скребок; $l_{кр}$ – длина рабочей кромки скребка; S – величина зазора; F_G – усилие прижатия ленты подвижного пола к рабочей кромке скребка

Величина зазора в свою очередь определяется усилием прижатия ленты подвижного пола к рабочей кромке скребка F_G . При незначительном прижатии возникает явление «масляного клина», который и определяет величину зазора и неудовлетворительную очистку ленты пола. С увеличением усилия прижатия величина зазора уменьшается, качество очистки ленты улучшается и при определенном зазоре экскременты начинают выполнять функцию смазки. В этом случае, когда $S \rightarrow 0$, происходит сухое трение, при котором возможны деформация подвижного пола и его повреждение.

Усилие прижатия к рабочей кромке скребка определяется не только величиной провисания подвижного пола, но также геометрией скребка (рисунок 4), которая характеризуется углом β и углом γ отклонения скребка от горизонтали (рисунок 5).

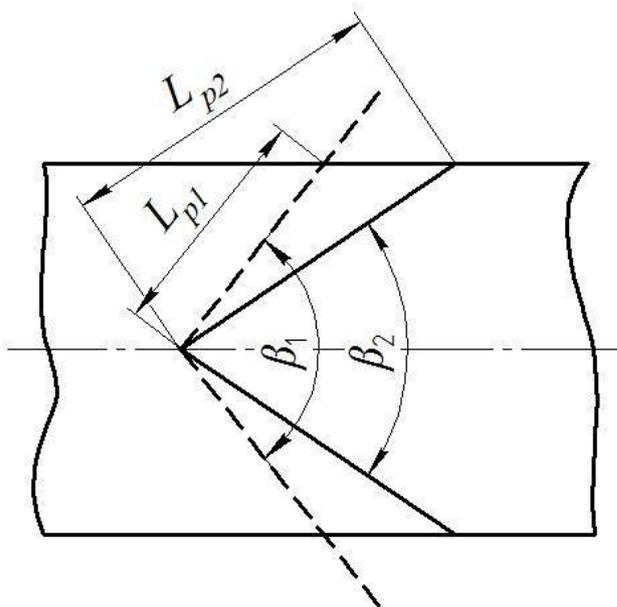


Рисунок 4 – Геометрия скребка при изменении угла при вершине β

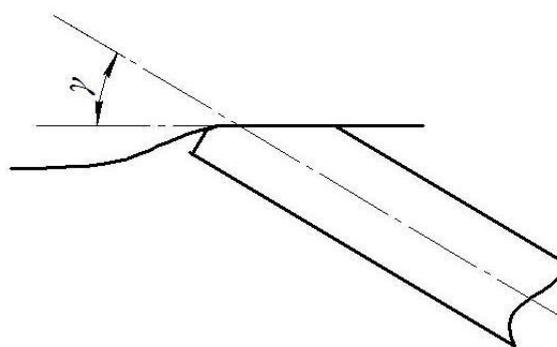


Рисунок 5 – Угол отклонения скребка от горизонтали γ

Величина провисания ленты подвижного пола перед скребком T описывается следующим известным выражением:

$$T = \frac{L_{p2} \cos \alpha}{2}, \text{ мм.} \quad (5)$$

При этом усилие натяжения подвижного пола F_0 будет определяться из выражения

$$F_0 = m_{\Sigma} g_e \frac{L_{p2} \cos \alpha}{2S}, \text{ Н.} \quad (6)$$

Так как при определении силы F_0 невозможно определить (замерить) угол α , целесообразно использовать следующее выражение:

$$F_0 = m_{\Sigma} g_e \frac{L_{p2}}{2}, \text{ Н.} \quad (7)$$

Следовательно, при увеличении провисания ленты подвижного пола соответственно возрастает сила прижатия, которая будет способствовать уменьшению зазора и пропорциональна своему численному значению; она описывается следующим известным выражением:

$$S = \frac{\mu k_{\text{пов}} k_{\text{лип}} S_{\text{ст}}}{(F_{\text{упр1}} + F_{\text{пр}} - F_{\text{упр2}}) k_{\text{отр}}}, \text{ мм/Н,} \quad (8)$$

где μ – коэффициент упругости (Пуассона); $\mu = 0,4 \dots 0,5$; $k_{\text{пов}}$ – коэффициент, учитывающий выпуклости поверхности; $k_{\text{пов}} = 0,43$; $k_{\text{лип}}$ – коэффициент липкости эксcrementов; $k_{\text{лип}} = 4,25$ кПа; $S_{\text{ст}}$ – статический зазор, мм; $k_{\text{отр}}$ – коэффициент, учитывающий отрыв массы эксcrementов от поверхности подвижного пола.

$$F_{\text{упр1}} = F_0 E, \text{ Н,} \quad (9)$$

где E – коэффициент жесткости ленты подвижного пола, Н/м.

$$F_{\text{упр2}} = F_0 E + F_{\text{тр}}, \text{ Н;} \quad (10)$$

$$F_{\text{eghl}} = F_G f_{\text{тр}}, \text{ Н;} \quad (11)$$

$$S_{\text{ст}} = \frac{a L_{\text{скр}} b k k_{\text{пов}}}{F_{\text{пр}}}, \quad (12)$$

где a – ширина рабочей кромки скребка; b – зазор между лентой подвижного пола и скребком при $F_{\text{пр}}=0$.

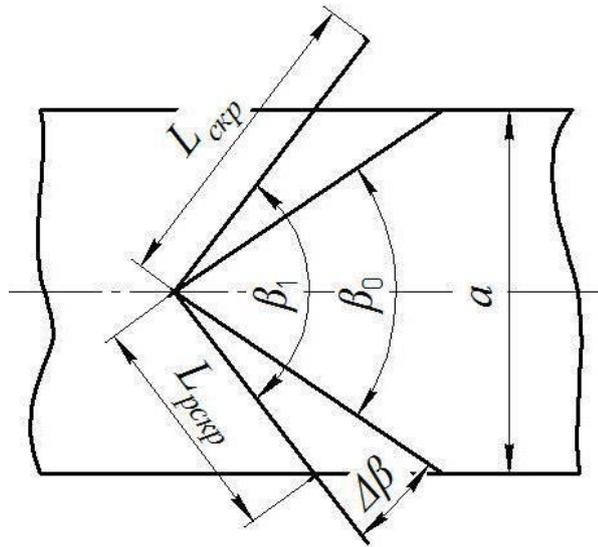


Рисунок 6 – Схема взаимодействия скребка с лентой подвижного пола при различных углах β : a – ширина ленты; $L_{скр}$ – длина скребка; $L_{рскр}$ – длина рабочей части скребка

Рабочая длина скребка определяется следующим выражением:

$$L_p = L_{скр} \cos \frac{\beta_1}{2}, \text{ м}, \quad (13)$$

или

$$L_p = L_{скр} \cos \left(\frac{\beta_0 + \Delta\beta}{2} \right), \text{ м}, \quad (14)$$

где β_0 – угол, при котором вся длина скребка является рабочей при $\beta_0=60^\circ$, $L_{скр}=L_p$; $\Delta\beta$ – увеличение угла β .

Величину силы прижатия подвижного пола к рабочей поверхности скребка находят по следующему выражению:

$$F_{пр\beta} = \frac{F_{пр}}{L_{скр} \cos \frac{\beta_1}{2}}, \text{ Н}, \quad (15)$$

где $F_{пр}$ – сила прижатия скребка к ленте подвижного пола при угле β_0 ; $F_{пр}$ – сила прижатия скребка к ленте подвижного пола при угле $\beta_0+\Delta\beta$.

$$\Delta F_{пр\beta} = \frac{F_{пр}}{L_{скр} \cos \frac{\beta_1}{2}} - F_{пр}, \text{ Н}; \quad (16)$$

$$\Delta F_{\text{пр}\beta} = F_{gh} \left(\frac{1 - L_{\text{скр}} \cos \frac{\beta_1}{2}}{L_{\text{скр}} \cos \frac{\beta_1}{2}} \right), \text{ Н.} \quad (17)$$

В связи с тем, что поверхность ленты неоднородна, с целью недопущения ее повреждения рабочая кромка скребка имеет определенный профиль (рисунок 7).

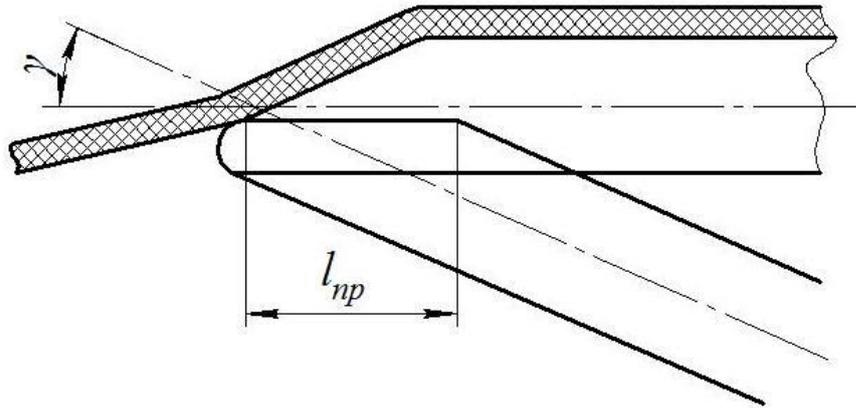


Рисунок 7 – Взаимодействие рабочей кромки скребка и ленты подвижного пола

При горизонтальном расположении скребка прилегание к полу происходит по всей длине профиля скребка $L_{\text{пр}}$. При отклонении оси скребка от горизонтали величина контактной поверхности уменьшается

$$L_{\text{пр}\gamma} = L_{\text{пр}} \cos k_{\gamma}, \text{ Н.} \quad (18)$$

Последнее приводит к увеличению удельной нагрузки $F_{\text{уд}}$ пола на скребок и снижению зазора S .

Влияние угла наклона рабочей кромки на эффективность очистки ленты подвижного пола также характеризуется коэффициентом эффективности

$$F_{\text{пр}\gamma} = \frac{F_{\text{пр}}}{L_{\text{пр}\gamma} \cos \gamma E}, \text{ Н.} \quad (19)$$

Изменение силы прижатия скребка к ленте от угла γ будет определяться из выражения

$$\Delta F_{\text{пр}\gamma} = F_{\text{пр}\gamma} - F_{\text{пр}}, \text{ Н;} \quad (20)$$

$$\Delta F_{\text{пр}\gamma} = \frac{F_{\text{пр}}}{L_{\text{прскр}} \cos \gamma k_{\gamma}}, \text{ Н;} \quad (21)$$

$$\Delta F_{\text{пр}\gamma} = F_{\text{пр}} \left(\frac{1 - L_{\text{прскр}} \cos \gamma k_{\gamma}}{L_{\text{прскр}} \cos k_{\gamma}} \right), \text{ Н.} \quad (22)$$

Таким образом на величину зазора S , который определяет степень очистки ленты подвижного пола от экскрементов, оказывают влияние величина провисания ленты T , сила F_0 , которая может изменяться натяжным механизмом, предусмотренным конструкцией, и углами установки скребка β

и γ , которые оказывают влияние на площадь контактной поверхности между лентой и скребком, а следовательно, на усилие прижатия:

$$F_{\text{пр}} = F_0 + \Delta F_{\beta} + \Delta F_{\gamma}, \text{ Н}; \quad (23)$$

$$F_{\text{пр}} = m \sum g \frac{L_2}{2 \cos \alpha} \left(1 + \frac{1 - L_{\text{скр}} \cos \frac{\beta}{2}}{L_{\text{скр}} \cos \frac{\beta}{2}} + \frac{1 - L_{\text{пр}} \cos \gamma k_3}{L_{\text{пр}} \cos \gamma k_3} \right). \quad (24)$$

Величина зазора в зоне контактной поверхности лента–скребок в конечном итоге определяет остаточную массу экскрементов и степень очистки ленты подвижного пола.

На основании вышеизложенных математических предпосылок было установлено, что на остаток экскрементов на подвижном полу влияют зазор и параметры скребка очищающего – угол при вершине β , угол наклона режущей кромки скребка к плоскости подвижного пола γ , сила прижатия ленты к рабочей кромке скребка:

$$m_{\text{ост}} = m_0 (l_{\text{пр}} l_{\text{скр}} \cos \beta \mu k k_{\text{пов}}) - m_0 \left(\frac{F_{\text{пр}} E}{S \sin \gamma} \right) - m_0 \frac{T F_0}{S_{\text{ст}} F_{\text{упр}}} k, \text{ г}, \quad (25)$$

где $m_{\text{ост}}$ – остаточная масса экскрементов, г; m_0 – первоначальная масса экскрементов; $S_{\text{ст}}$ – первоначальный зазор в статическом положении ленты подвижного пола.

Следуя теоретическим предпосылкам, наименьшее количество остатка экскрементов достигается при провисании ленты подвижного пола перед скребком $T=10$ мм, угле при вершине скребка $\beta=90^\circ$ и угле наклона рабочей кромки скребка $\gamma=70^\circ$.

На основании проведенного анализа клеток, боксов и домиков для содержания телят и руководствуясь изложенными теоретическими предпосылками, был изготовлен макет клетки для содержания племенных телят с подвижным полом и транспортной лентой в масштабе 1:25 (рисунок 8).



Рисунок 8 – Макет клетки для содержания племенных телят с подвижным полом

В третьей главе «Методика проведения экспериментальных исследований и производственных испытаний» обоснованы факторы, влияющие на количество остатка экскрементов телят на ленте подвижного пола. Составлен план проведения исследований, выбрана методика обработки опытных данных.

В качестве факторов были выбраны: величина провисания ленты подвижного пола перед скребком очищающим T , угол при вершине скребка β , угол наклона рабочей кромки скребка γ . Лабораторные исследования были проведены на экспериментальной установке (рисунок 9), которая по своему конструктивному исполнению отображала взаимодействие скребка очищающего с лентой подвижного пола. В соответствии с условиями содержания телят была обозначена скорость перемещения ленты $v_d=1,39$ м/с.

Были обоснованы шаги варьирования технологического параметра подвижного пола:

– провисания ленты T : 5, 10, 15 и 20 мм.

Конструктивные параметры скребка очищающего:

– угол β : 60, 90, 120 и 150°;

– угол γ : – 30, 50, 70 и 90°.

Для замеров и контроля результатов использовали серийную измерительную аппаратуру и оборудование: влагомер, электронные весы, штангенциркуль, секундомер и другие приборы.

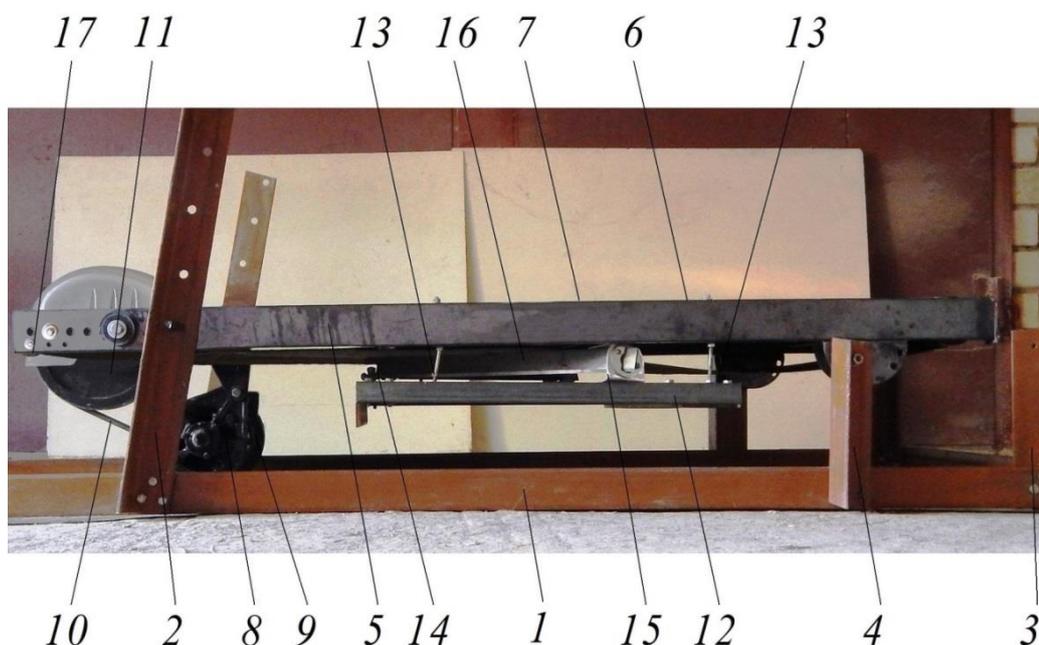


Рисунок 9 – Экспериментальная установка: 1 – основание; 2, 3, 4 – стойки; 5 – рама; 6 – направляющие; 7 – лента подвижного пола; 8 – электродвигатель; 9 – ведущий шкив; 10 – ременная передача; 11 – ведомый шкив; 12 – рамка; 13 – шпильки; 14, 15 – регулировочные кронштейны; 16 – скребок очищающий; 17 – регулировочный ролик

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены лабораторные опыты, в результате которых были изучены и уточнены физико-механические свойства телят возрастом до года: плотность ρ , влажность W , липкость по стали $\sigma_{сп}$, липкость по резине σ_{h} .

Представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных в соответствии с разработанными методиками, дан их анализ (рисунки 10, 11).

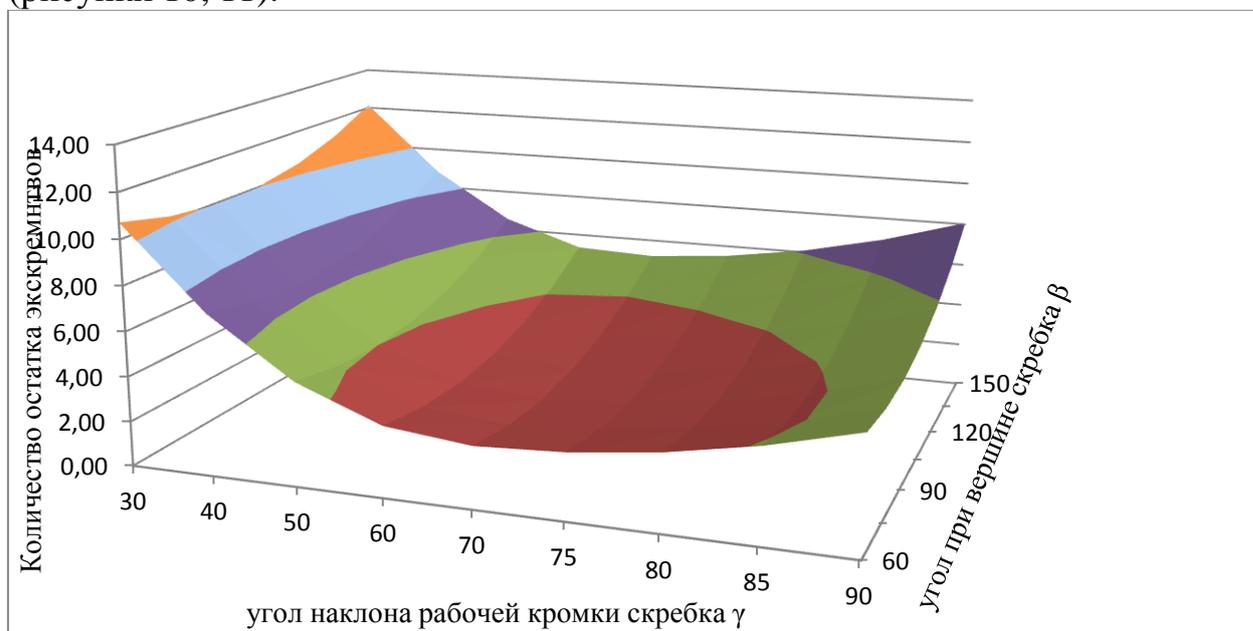


Рисунок 10 – Поверхность отклика содержания остатка экскрементов на ленте подвижного пола при фиксированном значении провисания $T=10$ мм

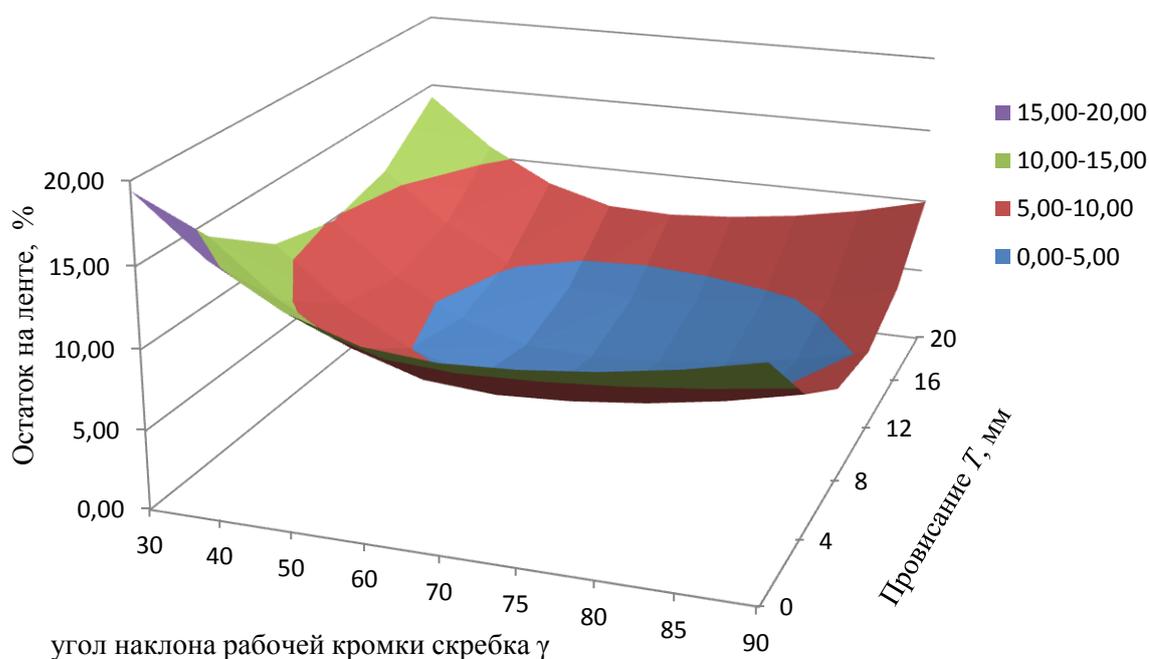


Рисунок 11 – Поверхность отклика содержания остатка экскрементов на ленте подвижного пола при фиксированном значении угла при вершине скребка $\beta=120^\circ$

Полученное аналитическое выражение для поверхности отклика имеет следующий вид:

$$m = 17,4\gamma^2 - 43,4\gamma + 0,07T^2 - 1,35T + 2,29\beta^2 - 6,54\beta + 0,94\gamma\beta + 0,06\gamma T + 0,14\beta T + 17,4. \quad (26)$$

По результатам полного факторного эксперимента установлено, что все факторы влияют на количество остатка эксcrementов на ленте подвижного пола. Из графических зависимостей следует, что минимальное количество остатка эксcrementов телят $m=2,2$ % на ленте подвижного пола достигается при провисании ленты $T=11$ мм, угле при вершине скребка $\beta=90^\circ$ и угле наклона рабочей кромки $\gamma=68^\circ$, что очень близко к теоретически предсказанным. Анализ зависимостей подтверждает теоретические предпосылки того, что на снижение остатка эксcrementов на подвижном полу клетки для содержания телят способно влиять провисание ленты подвижного пола T , угол при вершине скребка β и угол наклона рабочей кромки скребка к плоскости поверхности пола.

Выполнено сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей, из анализа которых следует, что максимальное количество остатка эксcrementов на ленте подвижного пола $m=16,2$ % наблюдается при угле при вершине скребка $\beta=150^\circ$ и провисании $T=5$ мм (см. рисунок 12).

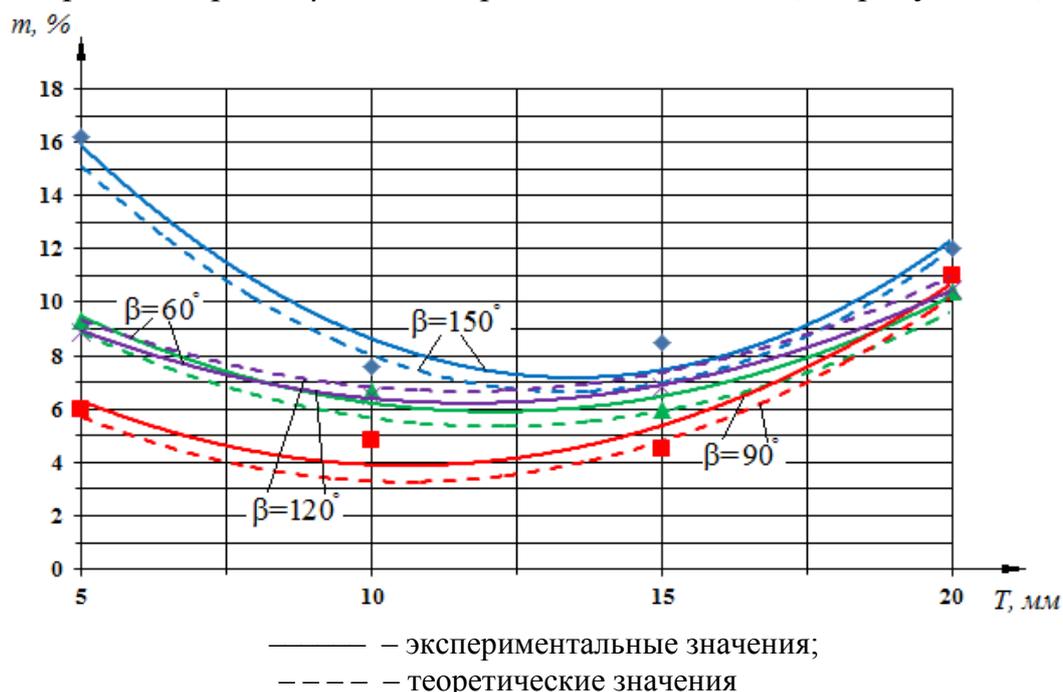


Рисунок 12 – Зависимости содержания остатка эксcrementов телят на ленте подвижного пола m , %, от угла при вершине скребка β° и провисания T , мм, при угле рабочей кромки скребка $\gamma=30^\circ$

Это объяснимо тем, что усилие, образуемое провисанием ленты, стремится приподнять ее над рабочей кромкой скребка и образовать зазор между ними, что в свою очередь приводит к проскальзыванию ленты по рабочей кромке скребка вместе с частью эксcrementов. При этом же угле при увеличении провисания T до 10 мм количество эксcrementов m снижается до

7,6 % и возрастает при увеличении провисания. Так, при $T=15$ мм количество остатка m составляет 8,5 %, при $T=20$ мм – 12 %

Представленные зависимости (рисунки 13, 14) показывают, что уменьшение остатка экскрементов на ленте подвижного пола происходит с уменьшением угла при вершине скребка β с 150° до 120° и составляет:

- при $T=5$ мм и $\beta=150^\circ$ $m=8,3$ %;
- при $T=10$ мм и $\beta=150^\circ$ $m=4,1$ %;
- при $T=15$ мм $\beta=150^\circ$ $m=4,8$ %;
- при $T=20$ мм $\beta=150^\circ$ $m=9$ %;
- при $T=5$ мм и $\beta=120^\circ$ $m=7,6$ %;
- при $T=10$ мм и $\beta=120^\circ$ $m=3,9$ %;
- при $T=15$ мм и $\beta=120^\circ$ $m=4,5$ %;
- при $T=20$ мм и $\beta=120^\circ$ $m=7,4$ %.



Рисунок 13 – Остаток экскрементов телят на ленте подвижного пола

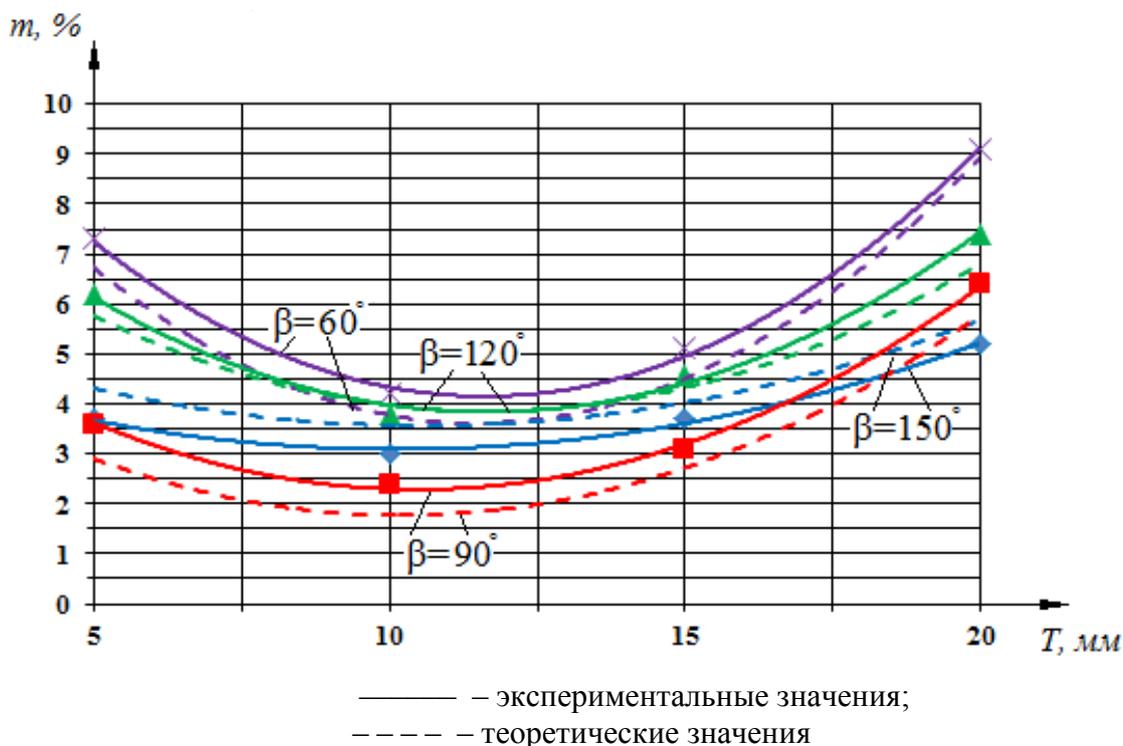


Рисунок 14 – Зависимости содержания остатка экскрементов телят на ленте подвижного пола m , %, от угла при вершине скребка β° и провисания T , мм, при угле рабочей кромки скребка $\gamma=70^\circ$

Наименьший остаток экскрементов на ленте подвижного пола наблюдается при угле при вершине скребка $\beta=90^\circ$ при всех значениях γ .

- при $T=5$ мм и $m=3,6$ %;
- при $T=10$ мм $m=2,2$ % %;
- при $T=15$ мм $m=3,0$ %;
- при $T=20$ мм $m=6,1$ %.

В пятой главе «**Результаты производственных испытаний клетки для содержания телят**» была проведена технико-экономическая проверка клетки с подвижным полом и скребком очищающим. Испытания проходили в ЗАО «Агрофирма «Волга» Марковского района Саратовской области в период с 9 марта по 12 июня 2013 г. на выращивании зимне-весеннего молодняка коров преимущественно голштинской породы (рисунок 15).



Рисунок 15 – Содержание телянка в клетке

Результаты производственных испытаний показали, что годовая экономия эксплуатационных затрат составила 125 941 руб. за счет снижения затрат труда на 92,3 %. Срок окупаемости капитальных вложений – 0,2 года. Остаток экскрементов телянка на ленте подвижного пола после скребка очищающего составил 2,2 % от всей массы экскрементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа литературных источников, в которых рассматривались вопросы содержания телят в клетках и уборки экскрементов, установлено, что большинство конструкций не предусматривает автоматического контроля за загрязнением пола клетки экскрементами телят с последующей механизированной уборкой и дезинфекцией.

2. На основании выполненного анализа конструкций клеток составлена классификация и предложена конструкция клетки для содержания телят с автоматизированным контролем за загрязнением ленты подвижного пола и очищающим устройством. Новизна устройства подтверждена патентами на полезные модели № 75135 и № 81039 (РФ) и изобретение № 2490873 (РФ).

3. Теоретическими исследованиями получены аналитические выражения силы прижатия ленты подвижного пола к рабочей поверхности

скребка, зазора между рабочей кромкой скребка и поверхностью ленты подвижного пола клетки для содержания телят, остатка экскрементов телят на ленте подвижного пола m после очистки скребком очищающим в зависимости от провисания ленты T , угла при вершине скребка β , угла наклона рабочей кромки скребка к плоскости поверхности ленты подвижного пола. Обоснованы конструктивные параметры транспортной ленты: ширина – 1,5 м, скорость движения – 5 км/ч, мощность на привод – 0,92 кВт.

4. Проведенные исследования физико-механических свойств экскрементов телят в возрасте до года показали, что плотность экскрементов телят составляет 930–1080 кг/м³, влажность 84–86 %, липкость к стали 2,35–2,80 Н/м², липкость к резине 3,85–4,28 кПа.

5. Экспериментальными исследованиями установлены зависимости содержания остатка экскрементов m на транспортной ленте подвижного пола от величины провисания ленты T , от угла при вершине скребка β и угла наклона рабочей кромки скребка к плоскости поверхности ленты подвижного пола γ . Минимальное содержание остатка экскрементов на ленте подвижного пола $m=2,2$ % от всей массы достигается скребком очищающим при угле при вершине $\beta=90^\circ$, провисании ленты $T=10$ мм и угле наклона рабочей кромки скребка γ к поверхности ленты 70° .

6. Производственными испытаниями клетки с подвижным полом и скребком очищающим в ЗАО «Агрофирма «Волга» Марковского района Саратовской области при содержании телят голштинской породы было установлено, что остаток экскрементов на ленте после скребка очищающего составил 2,2 % от всей массы экскрементов, затраты труда снижены на 92,3 %. Годовая экономия эксплуатационных затрат составила 125 941 руб. Срок окупаемости капитальных вложений – 0,2 года.

Рекомендации производству

1. Рекомендовать сделать боковые стенки клетки сплошными, взамен решетчатых, скорость ленты должна составлять 0,5 м/с².

2. Рекомендовать использовать клетку для содержания телят до полугода, при содержании телят другого возраста провести новые исследования.

Перспективы дальнейшей разработки темы

1. Совершенствование предлагаемой конструкции клетки за счет введения новых функций: гидросмыв ленты, изменение угла наклона ленты подвижного пола для регулирования физической нагрузки теленка и введение системы контроля за его физическим состоянием.

2. Исследовать различные материалы ленты подвижного пола, а также процессы ее взаимодействия с другими средствами удаления экскрементов.

3. Доведение опытного образца клетки до промышленного. Организация серийного производства.

**Основные положения диссертации
опубликованы в следующих работах**

Публикации в рецензируемых научных изданиях и журналах

1. Чернова, Е.Н. Реализация генетического потенциала теленка при индустриальной технологии содержания / А.А. Овчинников, Е.Н. Чернова // Вестник Алтайского ГАУ. – 2012. – № 6 (92). – С. 54–57 (0,56/0,28 печ. л.).
2. Чернова, Е. Н. Выбор эффективного, по совокупности критериев, варианта клетки для содержания телят / Е.Н. Чернова // Научное обозрение. – 2013. – № 3. – С. 13–19 (0,86/0,43 печ. л.).
3. Чернова, Е.Н. Возможности автоматизации клетки для телят с подвижным полом / Е.Н. Чернова // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 12. – С. 49–51 (0,24/0,12 печ. л.).
4. Чернова, Е. Н. Теория очистки подвижной ленты клетки для содержания телят скребком очищающим / А.С. Старцев, Е.Н. Чернова, Г.Е. Шардина // Научное обозрение. – 2015. – № 16. С. 44–54 (1,3/0,43 печ. л.).

Публикации в других изданиях

5. Чернова, Е.Н. Экспериментальная установка для содержания телят / А.А. Овчинников, Е.Н. Чернова // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения академика В. Л. Мосолова. – Йошкар-Ола, 2008. – С. 295–296 (0,16/0,08 печ. л.).
6. Чернова, Е.Н. Ресурсосберегающая клетка для содержания животных / А.А. Овчинников, Е.Н. Чернова // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: сб. науч. тр. – Саратов, 2010. – С. 83–84 (0,12/0,06 печ. л.).
7. Чернова, Е.Н. Некоторые вопросы энергосбережения в животноводстве / А.А. Овчинников, Е.Н. Чернова // Вавиловские чтения – 2009: сб. науч. тр.; СГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2009. – С. 317(0,16/0,08 печ. л.).
8. Чернова, Е.Н. Теоретические основы формирования производственной среды и ее влияние на качество выращивания телят / А.А. Овчинников, Ю.Н. Глубокий, Е.Н. Чернова // Вавиловские чтения – 2010: Саратов, 2010. – С. 320–322 (0,12/0,06 печ. л.).
9. Чернова, Е.Н. Выращивание здорового молодняка / Е.Н. Чернова // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения профессора В.Г. Кобы; СГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2011. – С. 252–243 (0,32 печ. л.).
10. Чернова, Е.Н. Технология уборки навоза / Е.Н. Чернова // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники в АПК: сб. науч. тр. – Саратов, 2011. – С. 64–66 (0,12 печ. л.).

11. Чернова, Е.Н. Применение критериального подхода для выбора конструкций клеток / Е.Н. Чернова // Актуальные проблемы энергетики АПК. – Саратов, 2012 г. – С. 287–289 (0,125 печ. л.).

12. Чернова, Е.Н. Методика проведения экспериментальных исследований очистки клетки для содержания животных скребком-очистителем / А.С. Старцев, Е.Н. Чернова // Аграрная наука в VIII веке: проблемы и перспективы. – Саратов, 2014. – С. 121–125. (0,3/0,15 печ. л.).

13. Чернова, Е.Н. Физико-механические свойства навоза, влияющие на качество очистки ленты клетки для содержания животных / А.С. Старцев, Е.Н. Чернова // Аграрная наука в VIII веке: проблемы и перспективы. – Саратов, 2014. – С. 125–126. (0,15/ 0,075 печ. л.).

14. Чернова, Е.Н. Экспериментальная зависимость содержания остатка экскрементов на транспортной ленте клетки для содержания телят от угла наклона скребка очищающего к плоскости ленты / А.С. Старцев, Е.Н. Чернова // Научная мысль: сб. науч. трудов. – Саратов, 2015. – С. 222–227 (0,44/0,22 печ. л.).

15. Чернова, Е.Н. Результаты экспериментальных исследований по определению остатка экскрементов на транспортной ленте клетки для содержания телят в зависимости от скорости движения ленты / А.С. Старцев, Е.Н. Чернова // Научная мысль: сб. науч. трудов. – Саратов, 2015. – С. 228–231 (0,28/0,14 печ. л.).

16. Чернова, Е.Н. Математическое выражение для провисания подвижной ленты клетки для содержания телят / А.С. Старцев, Е.Н. Чернова // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко. – Саратов, 2016. – С. 70–85 (0,76/0,38 печ. л.).

Патенты

17. Пат. 75135 Российская Федерация, МПК А 01К 29/00. Клетка для содержания животных / Овчинников А. А., Шкуратов А. В., Чернова, Чугунова Ю. О.; заявитель и патентообладатель Саратовский ГАУ имени Н.И. Вавилова. – № 2008109328/22; заявл. 11.03.2008; опубл. 27.07.2008, Бюл. № 21. – 1 с.

18. Пат. 81038 Российская Федерация, МПК А 01К 1/01, А01К 29/00. Устройство автоматической очистки клетки для содержания животных / Шкуратов А. В., Чернова Е. Н., Бугарь А. В., Рокитянская Е. Г.; заявитель и патентообладатель Саратовский ГАУ имени Н.И. Вавилова. – № 2011152959/13; заявл. 23.12.2011; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24. – 6 с.

19. Пат. 2490873 Российская Федерация, МПК А 01К 29/00. Клетка для содержания животных / Шкуратов А. В., Овчинников А. А., Чернова, Чугунова Ю. О.; заявитель и патентообладатель Саратовский ГАУ имени Н.И. Вавилова. – № 2008109328/22; заявл. 11.03.2008; опубл. 27.07.2008, Бюл. № 21. – 1 с.