

Лабораторные и производственные исследования устройства для механической обработки кожного покрова КРС

Ю.А. Хлопко, к.т.н., Оренбургский НЦ УрО РАН; Л.П. Карташов, д.т.н., профессор, М.С. Сеитов, д.б.н., профессор, А.М. Осипова, к.т.н., Л.Г. Нигматов, аспирант, ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ

Теоретическое обоснование необходимости механической обработки кожного покрова КРС [1] послужило основой для разработки и создания механического устройства для механической обработки кожного покрова КРС [2]. В результате рассмотрения силового взаимодействия очищающих элементов устройства с загрязнениями кожного покрова [3] были определены основные конструктивные и режимные параметры работы устройства.

Материалы и методы исследования. С целью подтверждения и уточнения теоретических зависимостей, а также оптимизации конструктивно-режимных параметров были проведены экспериментальные исследования конструкции устройства.

Исследования проводили в лабораторных и производственных условиях. Они включали в себя изыскания по определению энергетических и эксплуатационных параметров работы разработанного универсального устройства для механической обработки кожного покрова КРС.

Исследования состояли из нескольких этапов.

На начальном этапе необходимо было оценить возможность использования разработанного устройства на животноводческом предприятии, оборудованном доильной установкой. Для этого в лабораториях кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского ГАУ и лабораториях Оренбургского научного центра

УрО РАН разработаны методики и стенды для определения энергетических, эксплуатационных параметров и оценки качества работы устройства в лабораторных условиях.

На следующем этапе при реализации оптимальных конструктивных и эксплуатационных параметров, полученных на предыдущем этапе, в устройстве были проведены испытания в производственных условиях. Их цель — подтверждение работоспособности и эффективности использования устройства, а также определение реакции животного на регулярное механическое воздействие на кожный покров.

Производственные исследования проводили в хозяйствах Оренбургской области: ООО «Чапаева» Тюльганского района, ООО «Сфера» Саракташского района.

Результаты исследования. Для решения задач начального этапа исследований возникла необходимость в качественной оценке работы разработанного устройства в зависимости от различных конструктивных параметров. В лабораторных условиях эту задачу решали следующим образом: образцы кожного покрова, предварительно очищенные от загрязнения, взвешивали с точностью до 0,1 г на электронных лабораторных весах СВХ-12КН высокого класса точности (II), фиксировали массу M_0 . Затем на образцы наносили загрязнение, влажностью от 60 до 80% (что соответствовало влажности навоза). Образцы высушивали в течение двух сут., при этом наблюдалось образование панцирного налёта, аналогичного естественному загрязнению.

Образцы с загрязнением после высушивания подвергали повторному взвешиванию, фиксировали массу M_1 . На следующем этапе образцы очищали с помощью разработанного универсального устройства. После каждого прохода образец взвешивали (M_{21} , M_{22} , M_{23}).

Количественную оценку проводили с помощью коэффициента:

$$K_i = 1 - \frac{M_{2i} - M_0}{M_1 - M_0}, \quad (1)$$

где M_0 – масса чистого образца, кг;

M_1 – масса загрязнённого образца, кг;

M_{2i} – масса образца после i -го прохода универсального устройства, кг;

K_i – коэффициент качества обработки после i -го прохода универсального устройства.

Коэффициент качества обработки K_i находится в пределах от 0 до 1. Чем выше показатель, тем более качественно очищена поверхность от загрязнения.

Для определения расходных характеристик привода разработанного устройства, а также возможности его использования на доильных установках разработан стенд (рис. 1), позволяющий определять величину вакуума в рабочей камере устройства, частоту вращения вала, объём воздуха, затраченного на привод вала устройства на холостом и рабочем ходу.

Для проведения исследований были использованы следующие приборы и оборудование: электронные лабораторные весы СВХ-12КН, штатгенциркуль ШЦ-250-0.05, электронный тахометр digital photo tachometer, цифровая фотокамера «Canon Power Shot A 520», вакуумметры ВК-60; интегрирующий расходомер воздуха Shlumberger. Продолжительность работы устройства определяли цифровой фотокамерой.

Данные, полученные в результате исследований, обрабатывали методами вариационной статистики при использовании программных продуктов MathCAD 14, Microsoft Office Excel 2010, Statsoft STATISTIKA 10 [4, 5].

В результате определена зависимость расхода воздуха Q устройством от величины вакуума P в камере турбины устройства. Аппроксимация данных этого эксперимента позволила получить полином третьей степени:

$$Q = 1,291 - 0,026P + 9P^2 \cdot 10^{-4} - 2P^3 \cdot 10^{-5}, \quad (2)$$

где Q – расход воздуха, л/с;

P – величина вакуума, кПа.

Второй важный параметр – частота вращения рабочего вала устройства в зависимости от расхода воздуха Q и вакуума P .

Рабочий вал устройства начинал вращаться только при расходе воздуха $Q > 0,55$ л/с и величине вакуума $P < 39$ кПа. Регрессионный анализ позволил получить аналитическую зависимость $\omega = f(Q, P)$ угловой скорости вращения (рад/с) от расхода воздуха Q и величины вакуума P :

$$\omega = 380,77 + 6,006Q - 8,77P. \quad (3)$$

Анализ полученных результатов позволил получить значения параметров Q и P , при которых наблюдалась стабильная работа устройства. Так, при величине вакуума 20–25 кПа вал устройства вращался со скоростью 155–235 рад/с на рабочем ходу, при этом расход воздуха составил 0,98–1,04 л/с, что соответствует примерно 3,5–3,75 м³/ч (примерно соответствует расходу воздуха одним доильным аппаратом).

Исследования на этом этапе показали, что расходные характеристики незначительно зависят от диаметра очищающих элементов, их количества на гибком валу и материала изготовления.

Для определения затрат энергии исполнителя и качества работы устройства использовали методику и стенд [6], проведя его небольшую доработку.

На стенде определяли затраты энергии исполнителя на различных эксплуатационных режимах, изменяли также и конструктивные параметры: материал очищающих элементов, их количество на гибком валу устройства, а также моделировали усилие прижатия устройства к обрабатываемой

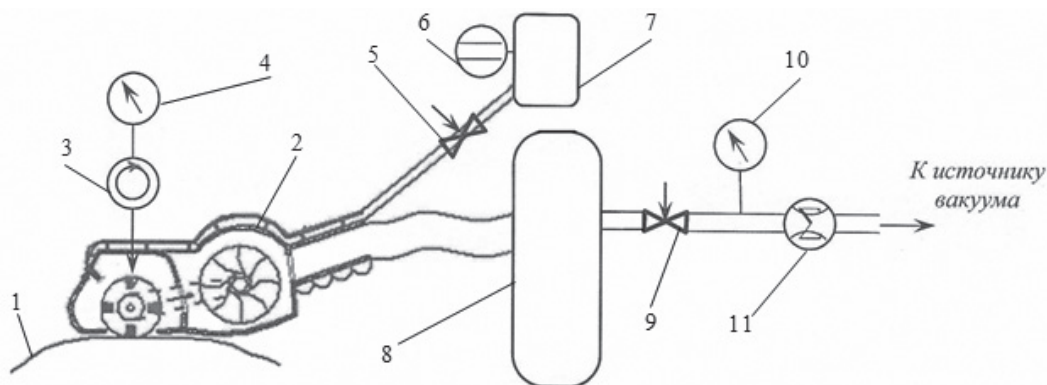


Рис. 1 – Схема стенда для определения расходных характеристик устройства:

1 – обрабатываемый образец; 2 – устройство; 3 – электронный тахометр; 4, 10 – вакуумметры; 5, 9 – краны; 6 – указатель уровня жидкости в ёмкости; 7 – ёмкость с жидкостью; 8 – пылегрязесборник; 11 – интегрирующий расходомер

поверхности (величину прогиба очищающих элементов δ_c). Для работы использовали расходные характеристики устройства, полученные ранее (частота вращения гибкого вала устройства, величина вакуума, расход воздуха).

В стенде реализована возможность регулирования эксплуатационных параметров: скорости перемещения по кожному покрову животного, усилия прижатия устройства к обрабатываемой поверхности, величины вакуума и расхода воздуха (так регулировалась частота вращения вала с очищающими элементами). Для исследований на стенде изменялись конструктивные параметры устройства: длина, диаметр, материал очищающих элементов. Выходными параметрами, полученными на стенде, были затраты мощности N на перемещение устройства по обрабатываемой поверхности и коэффициент качества обработки K .

Результаты этих исследований показали, что после первого прохода устройства по обрабатываемой поверхности образца удалялось порядка 40–45% нанесённого загрязнения, после второго прохода – 80–90% от первоначально нанесённых загрязнений. После третьего прохода – 85–95%. Поэтому было принято, что целесообразно ограничиться двойным проходом устройства по обрабатываемой поверхности.

Мощность, затрачиваемую на перемещение устройства по обрабатываемой поверхности, суммировали по результатам двух проходов.

K и N оценивали по двум группам факторов: конструктивным и режимным. Это позволило получить оптимальные конструктивные параметры устройства, а также определить наиболее эффективные режимы работы устройства.

К первому фактору были отнесены следующие параметры: длина очищающих элементов L (м), диаметр очищающих элементов d (м) и модуль упругости материала, из которого изготовлены очищающие элементы E (МПа).

Ко второму фактору – частота вращения рабочего вала устройства ω (рад/с) (можно регулировать величиной вакуума), величиной прогиба очищающих элементов δ_c (м) отражающая усилие прижатия очищающих элементов к обрабатываемой поверхности и скорость перемещения устройства по обрабатываемой поверхности v (м/с).

По результатам исследований была построена поверхность отклика и получена зависимость искомых параметров от группы факторов (формулы 4–7), анализ которых позволил определить оптимальные значения конструктивных и режимных параметров.

Зависимость коэффициента качества работы устройства от указанных конструктивных параметров $K=f(d, L, E)$ определяется выражением:

$$K = 0,54 - 87,825d + 22,334L - 0,0001E. \quad (4)$$

Регрессионный анализ обусловил получение математической модели, описывающей влияние

режимных параметров на качество работы устройства, $K=f(\delta_c, \omega, v)$:

$$K = 0,758 + 21\delta_c - 0,0004\omega - 0,107v. \quad (5)$$

Зависимость мощности, затрачиваемой на проход разработанного универсального устройства от конструктивных параметров, отражена математической моделью $N=f(d, L, E)$:

$$N = 40,79 + 43951,1d - 1410,37L + 0,07E. \quad (6)$$

Регрессионная модель зависимости N от режимных параметров описывается выражением $K=f(\delta_c, \omega, v)$:

$$N = 112,76 + 1359,36\delta_c - 0,042\omega + 13,33v. \quad (7)$$

Проверку адекватности вышепредставленных моделей проводили по F-критерию. Расчётные значения критерия Фишера оказались меньше табличных, при 5-процентном уровне значимости, что свидетельствует об адекватности полученных моделей.

Основываясь на вышеизложенном, определены оптимальные параметры конструктивных и режимных параметров:

$d = 1,3\text{--}1,5$ мм; $L = 12\text{--}18$ мм;

$E = 380\text{--}420$ МПа; $\delta_c = 1,8\text{--}2,3$ мм;

$\omega = 210\text{--}235$ рад/с; $v = 0,15\text{--}0,21$ м/с.

На заключительном этапе исследований, после обработки результатов лабораторных исследований, изготовленный натурный образец универсального вычёсывающего устройства был подвержен испытанию в производственных условиях. Цель производственных исследований – определение работоспособности предложенного универсального устройства, реакции животного на механическую обработку его кожного покрова. Следует отметить, что в производственных исследованиях были использованы оптимальные конструктивные и режимные параметры устройства, полученные после проведения лабораторного этапа исследований.

Производственные исследования включали в себя две стадии.

Первая стадия – отбор животных и формирование двух групп. Животных отбирали по возрастным параметрам, лактации, продуктивности, составу молока. В частности, отбирали животных 3-й и 4-й лактаций, с суточным удоем 12–13 кг молока, жирностью молока 3,5–3,6%. Всего было отобрано 10 гол., они были разделены на две группы по 5 гол. Коров контрольной гр. обслуживали согласно принятой на животноводческом предприятии технологии. Кожный покров животных опытной гр. подвергался механической обработке разработанным устройством ежедневно на первой неделе, три раза на второй неделе и два раза на третьей.

Вторая стадия – сбор данных по двум группам животных. Ежедневно фиксировали значения продуктивности каждого животного, жирность полученного молока (использовали прибор «Кле-

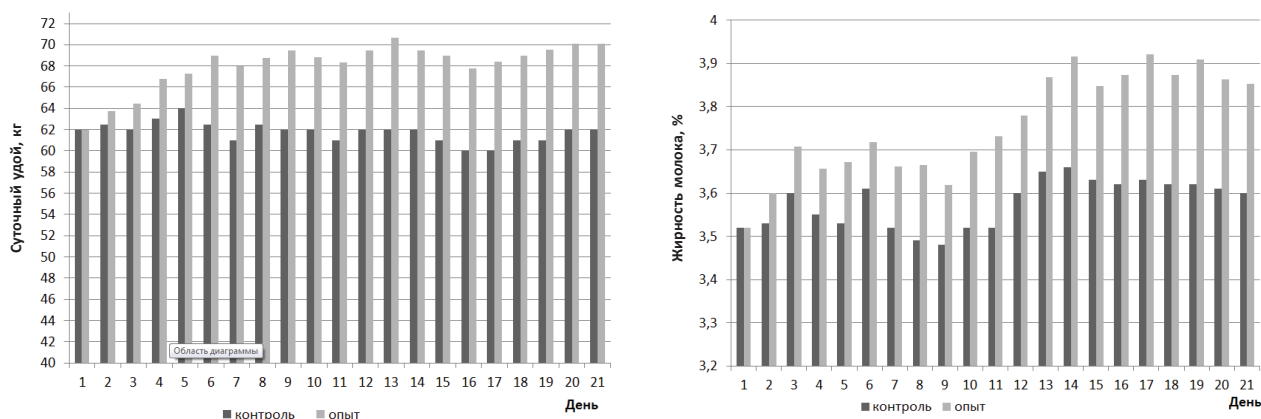


Рис. 2 – Суточный удой животных и изменение жирности молока в опытной и контрольной группах

вер-2»), делали пробы на микробное обсеменение молока (использовали резазуриновую пробу). Жирность полученного молока и пробу на микробное обсеменение определяли согласно общепринятым рекомендациям и требованиям [7, 8].

С целью итогового сравнения эффективности применения устройства для механической обработки кожного покрова были выбраны показатели: суточный удой (по группе), жирность молока (по группе), бактериальная обсеменённость молока (по группе).

По суточному удою получены следующие результаты наблюдений: животные отреагировали на проведение механической обработки кожного покрова на второй день исследований, при этом регистрировали увеличение суточного надоя у коров опытной гр. на 1–2% в день по сравнению с показателями контрольной гр. Увеличение суточного удоя с этой интенсивностью продолжалось до 10-го дня эксперимента, затем интенсивность увеличения суточного удоя снизилась. К окончанию эксперимента суточный удой у животных опытной гр. превышал на 12,5–13% показатель в контрольной группе (рис. 2).

За всё время эксперимента суточный удой коров опытной группы превысил аналогичный показатель контрольной группы в среднем на 10,2%, что позволило получить дополнительно 132,5 кг молока.

Заметное изменение жирности молока, полученного от животных опытной группы, отмечено на 4–5-й день использования устройства.

В среднем за время проведения эксперимента отмечено увеличение жирности молока животных опытной группы на 1,8 абс %, с 3,57 до 3,76%.

До начала эксперимента молоко коров контрольной и опытной групп соответствовало II классу чистоты по микробной обсеменённости, а качество оценивалось как удовлетворительное. Резазуриновая проба показывала наличие в 1 мл молока от 500 тыс. до 4 млн бактерий. На 10-й день эксперимента в опытной группе у четырёх

из 5 коров, резазуриновая проба показала, что количество бактерий в 1 мл молока менее 500 тыс., что соответствует молоку хорошего качества и I классу чистоты. Начиная с 12-го дня исследований бактериальная обсеменённость молока у животных опытной группы соответствовала I классу чистоты, в то время как молоко животных контрольной группы содержало от 500 тыс. до 4 млн бактерий в 1 мл и соответствовало II классу чистоты.

Вывод. Таким образом, лабораторные исследования позволили получить математические модели, описывающие зависимость качества обработки кожного покрова и требуемую мощность на проход устройства от конструктивных и режимных параметров устройства. Производственный этап исследований показал, что применение разработанной конструкции устройства способствует увеличению суточного удоя молока на 10,2%, увеличению жирности молока с 3,57 до 3,76%, сокращению бактериальной обсеменённости молока.

Литература

1. Хлопко Ю.А., Нигматов Л.Г. Обоснование механической обработки кожного покрова крупного рогатого скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 3. С. 99–103.
2. Хлопко Ю.А., Нигматов Л.Г. Устройство для механической обработки кожного покрова крупного рогатого скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 2. С. 62–63.
3. Карташов Л.П., Хлопко Ю.А., Нигматов Л.Г., и др. Расчёт силового взаимодействия очищающих элементов с поверхностью кожного покрова КРС // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6. С. 58–60.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Высш. школа, 2000. 479 с.
5. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Изд-во ин-та математики, 1999. 270 с.
6. Хлопко Ю.А., Осипова А.М. Стенд для определения энергетических параметров стригальной машинки // Сб. науч. трудов всерос. науч.-исслед. и проект.-технол. института механизации животноводства. Подольск, 2008. Т. 18. Ч. 2. С. 180–184.
7. Боровяков М.Ф., Фролов В.П., Серко С.А. Ветеринарно-санитарная экспертиза с основами технологии и стандартизации продуктов животноводства. СПб.: «Лань», 2011. 480 с.
8. ГОСТ 8218-89 Молоко. Метод определения чистоты. М.: Стандартинформ, 2009. 4 с.