

Обоснование силового взаимодействия очищающих элементов с загрязнениями кожного покрова

Л.П. Карташов, д.т.н., Л.Г. Нигматов, аспирант, Оренбургский ГАУ; Ю.А. Хлопко, к.т.н., ИКВС УроРАН; В.А. Салов, к.т.н., ОАО «Газпром газораспределение Оренбург»

Функциональное состояние кожного покрова во многом определяет продуктивность животного и качество получаемой продукции. Полноценное выполнение кожным покровом своих функций зависит от степени загрязнения. Установлено, что регулярная обработка кожного покрова КРС с целью очистки от загрязнений способствует более полному использованию генетического потенциала животного [1].

В ряде работ обоснована необходимость регулярной механической обработки поверхности кожного покрова КРС, определены основные требования, предъявляемые к механическим устройствам для обработки и очистки, разработана и предложена конструкция устройства для механической обработки кожного покрова КРС [2–4].

Для определения конструктивно-режимных параметров работы устройства возникла необходимость в систематизации загрязнений на поверхности кожного покрова КРС с целью определения усилия их удержания на различных участках кожи. Результаты систематизации представлены на рисунке 1.

Для обеспечения максимальной очистки кожного покрова механическим очищающим устройством необходимо определить усилие удержания загрязнения $F_{уд.загр.}$ на его поверхности. Для этого была разработана методика определения $F_{уд.загр.}$, которая заключается в суммировании усилий, прикладываемых для удаления загрязнения с определённой площади кожного покрова (рис. 2).

В процессе исследований выявили, что на различных участках тела животного величина $F_{уд.загр.}$

зависит от ряда параметров: толщины кожного покрова, густоты и длины волосяного покрова. Используя результаты Г.И. Кульчумовой и А.А. Бахарева [5, 6], а также собственных исследований, мы составили карту загрязнений кожного покрова КРС (рис. 3).

Анализируя полученные результаты, можно заключить, что большую часть загрязнений кожного покрова КРС составляет навоз (55%), при этом $F_{уд.загр.}$ находится в пределах от 15 до 40 Н в зависимости от влажности. Также к трудноудаляемым загрязнениям следует отнести семена сорных растений $F_{уд.загр.} = 35–39$ Н.

Таким образом, можно определить минимально необходимые усилия воздействия очищающих элементов предлагаемого устройства [4].

Также следует принять во внимание тот факт, что в процессе очистки кожного покрова ручными скребками животные испытывают болевые ощущения, которые могут привести к стрессовому состоянию, а следовательно, повлиять и на их продуктивность. Чтобы избежать этого, при силовом воздействии на кожный покров животного механическим устройством должно выполняться условие:

$$F_{уд.загр.}^{max} \leq F_{устр.} \leq F_{бол.ощ.}, \quad (1)$$

где $F_{уд.загр.}^{max}$ – максимальное усилие, затрачиваемое на удаление загрязнения с кожного покрова КРС, Н;

$F_{устр.}$ – усилие, создаваемое устройством при взаимодействии с кожным покровом животного, Н;

$F_{бол.ощ.}$ – усилие воздействия на кожный покров, при котором животное испытывает болевые ощущения, Н.

Цель исследований – обосновать необходимое усилие устройства, при котором будет происходить

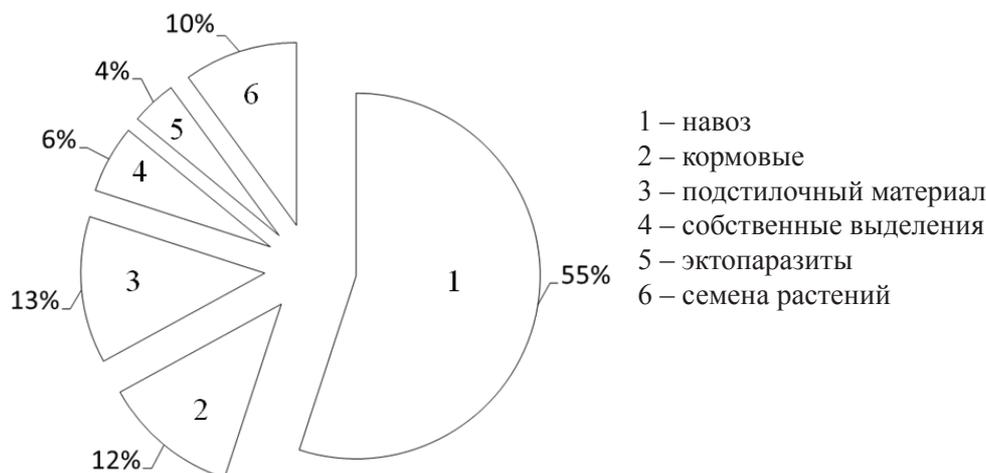


Рис. 1 – Виды и структура загрязнений кожного покрова КРС

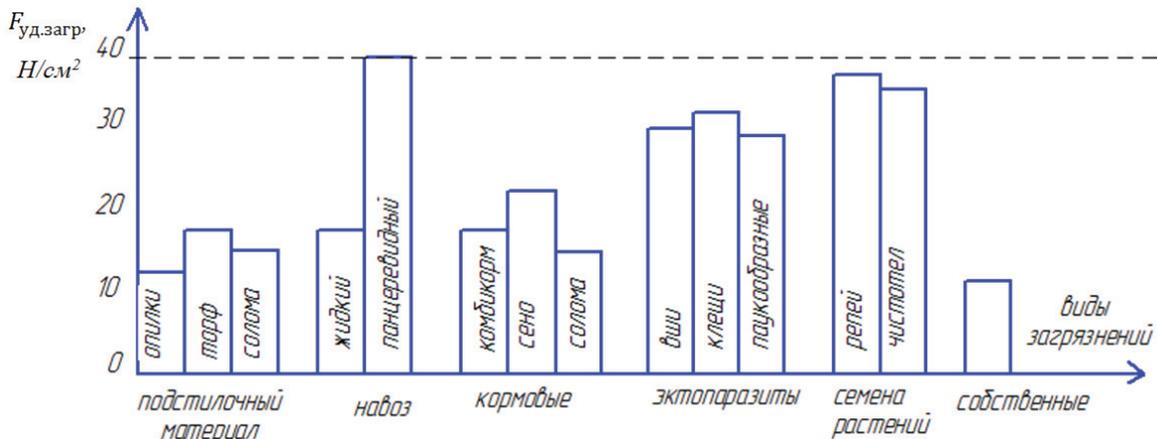


Рис. 2 – Усилие удержания загрязнений на поверхности кожного покрова КРС (усреднённые данные)

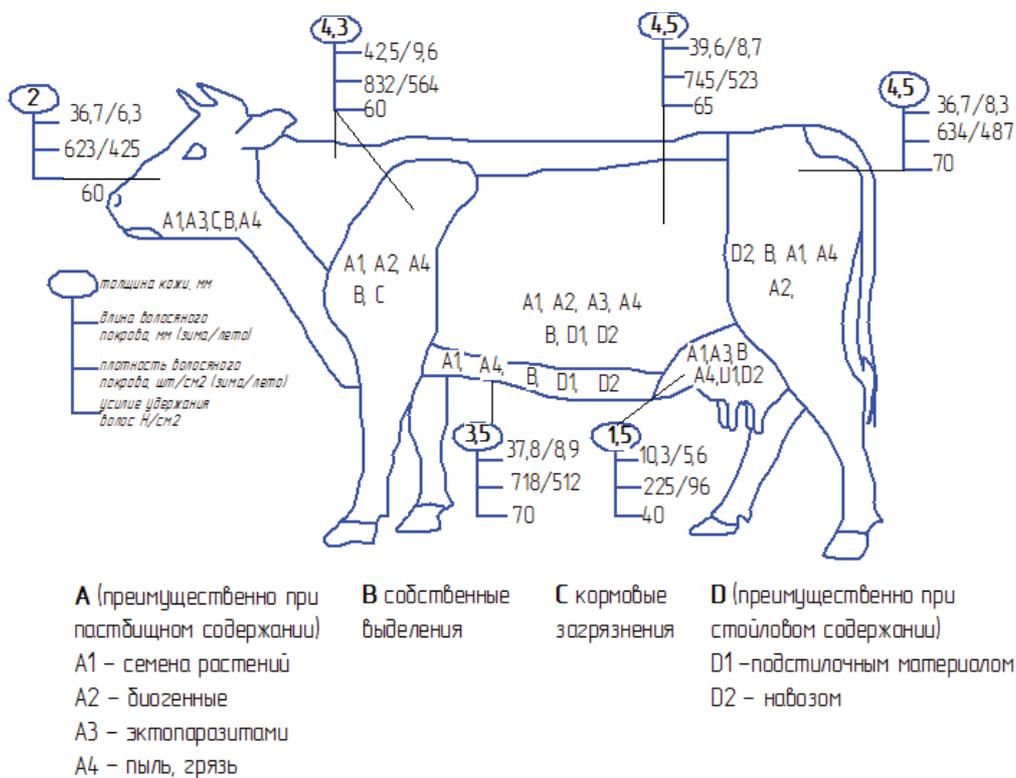


Рис. 3 – Карта загрязнений кожного покрова КРС

очистка кожного покрова, но животное не будет испытывать болевых ощущений. Опираясь на конструкцию устройства [4], нужно рассмотреть силы, возникающие при взаимодействии очищающих элементов с загрязнением кожного покрова (рис. 4).

Так как очищающий элемент вращается с определённой угловой скоростью, то при контакте с загрязнением он изгибается под действием силы упругости, проникая при этом в загрязнение, и разрушает его. Поверхность загрязнения разрушается, а изогнутый во время контакта очищающий элемент стремится занять свою первоначальную форму, т.е. выпрямляется, унося с собой частички разрушенного загрязнения.

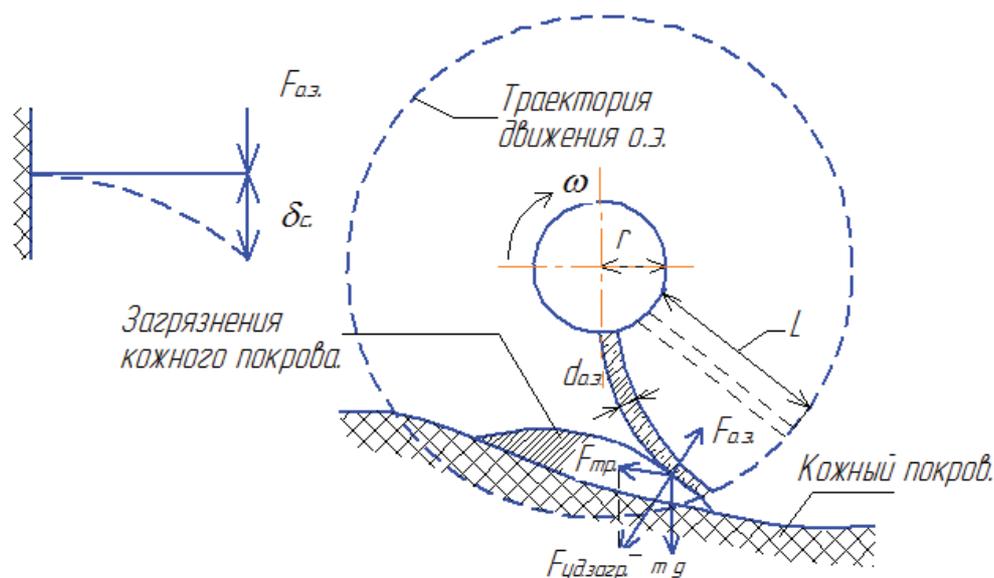
Конструкцией устройства предусмотрено, что в зоне контакта потоком воздуха создаётся раз-

ряжение, благодаря чему оторванные частички загрязнения эвакуируются в пылегрязесборник.

Рассматривая очищающий элемент в виде жёстко закреплённого с одной стороны балки, воспользовавшись теорией упругости [7, 8] при взаимодействии очищающего элемента с загрязнением, можно определить величину прогиба очищающего элемента:

$$\delta_c = \frac{L^3 \cdot F_{o.z.}}{3 \cdot E \cdot J_x} \Rightarrow F_{o.z.} = \frac{\delta_c^3 \cdot E \cdot J_x}{L^3}, \quad (2)$$

где δ_c – прогиб очищающего элемента, м;
 E – модуль упругости материала Па;
 J_x – момент инерции очищающего элемента, м⁴; $J_x = \frac{\pi d_{o.z.}^4}{64}$;



$F_{o.з}$ – усилие, создаваемое одним очищающим элементом, Н
 $F_{тр}$ – сила трения очищающего элемента о загрязнения, Н
 m – масса загрязнения, кг

Рис. 4 – Силы при взаимодействии очищающего элемента с загрязнением на кожном покрове КРС

L – длина очищающего элемента, м;
 $d_{o.з.}$ – диаметр очищающего элемента, м.

Очищающий элемент вращается с определённой угловой скоростью ω , что создаёт динамический удар по загрязнению, который можно учесть динамическим коэффициентом удара k_d :

$$k_d = \sqrt{1 + \frac{v_1^2 + v_2^2}{g \cdot \delta_c}}, \quad (3)$$

где v_1 – линейная скорость на конце очищающего элемента, м/с, $v_1 = \omega \cdot (L + r)$;
 v_2 – скорость перемещения насадки устройства; м/с [4];
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 r – радиус барабана, на котором жёстко закреплены очищающие элементы, м.

С учётом преобразования можно получить усилие, создаваемое одним очищающим элементом:

$$F_{o.з.} = \frac{\delta_{cm} 3E\pi d_{o.з.}^4}{64L^3} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\omega \cdot (L + r))^2 + v_2^2}{g \cdot \delta_c}}. \quad (4)$$

Зная усилие на кожном покрове, можно определить количество очищающих элементов $n_{o.з.}$, необходимое для удаления загрязнения:

$$n_{o.з.} = \frac{F_{уд.загр.} K_3}{F_{o.з.}}, \quad (5)$$

где K_3 – коэффициент запаса $K_3 = 1,1$.

Тогда усилие, создаваемое механическим очищающим устройством, можно рассчитать по формуле:

$$F_{устр.} = F_{o.з.} \cdot n_{o.з.} \quad (6)$$

Таким образом, проведённые теоретические исследования позволили определить, что при изгибе очищающего элемента $\delta_c = 2$ мм, выполненного из полиэтилена $E = 300$ МПа, диаметром $d_{o.з.} = 0,5$ мм, длиной $L = 15$ мм, вращающегося с угловой скоростью $\omega = 312$ рад/с⁻¹, усилие, создаваемое устройством $F_{устр.}$, составит 54 Н/см² при пороге болевых ощущений в 60 Н/см², т.е. процесс очистки кожного покрова КРС будет для животного безболезненным. Лабораторные и производственные исследования предложенной конструкции устройства для механической обработки кожного покрова КРС подтвердили достоверность полученных теоретических результатов.

Литература

1. Хлопко Ю.А., Осипова А.М. Обоснование и перспективы развития механической обработки кожного покрова животных // Вестник ВНИИМЖ. 2012. № 4 (8). С. 124–128.
2. Хлопко Ю.А., Осипова А.М., Нигматов Л.Г. Совершенствование очищающих устройств для механической обработки кожного покрова // Вестник ВНИИМЖ. 2013. № 3 (11). С. 202–206.
3. Хлопко Ю.А., Нигматов Л.Г. Обоснование механической обработки кожного покрова крупного рогатого скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 3 (41). С. 99–103.
4. Хлопко Ю.А., Нигматов Л.Г. Устройство для механической обработки кожного покрова КРС // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 2 (46). С. 62–63.
5. Кульчумова Г.И., Заднепрятский И.П. Методические рекомендации по изучению кожного покрова и качества кожевенного сырья крупного рогатого скота. Оренбург, 1988. 32 с.
6. Бахарев А.А. Особенности волосяного покрова мясных пород скота в условиях Северного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2011. № 12-2 (92).
7. Александров А.В. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 2003.
8. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. М.: Высшая школа, 1990.