Т. А. Непарко¹, В. Б. Ловкис¹, Н. Н. Быков¹, Э. В. Дыба², Л. И. Трофимович²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: mta_mtp@bsatu.by

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: dibua-18@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНОГО ВАЛКОВАТЕЛЯ

Аннотация. В статье рассмотрены факторы, влияющие на качество заготавливаемых кормов: погодные условия; оптимальные сроки уборки трав; высота скашивания; продолжительность полевой сушки или провяливания скошенной массы до кондиционной влажности; качество сгребания провяленной травяной массы; степень измельчения закладываемой массы; качество закладываемого сенажа и силоса; быстрое уплотнение травяных кормов до требуемой величины; процесс ферментации; качественное хранение и выемка с минимальным окислением; а также проведены теоретические исследования основных эксплуатационно-технологических параметров ленточного валкователя.

Ключевые слова: фактор, качество, корм, прокос, ворошение, валкователь, параметры, валок.

T. A. Neparko¹, V. B. Lovkis¹, N. N. Bykov¹, E. V. Dyba², L. I. Trofimovich²

¹EI “Belarusian State Agrarian Technical University”,
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: mta_mtp@bsatu.by

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”,
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: dibua-18@mail.ru

THEORETICAL RESEARCH OF OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL BELT ROLLER PARAMETERS

Abstract. The article identifies factors influencing the quality of prepared feed: weather conditions; optimal timing for harvesting herbs; cutting height; duration of field drying or drying of the mown mass to the required humidity; quality of raking of dried grass mass; degree of grinding of the applied mass; quality of laid haylage and silage; rapid compaction of grass feed to the required size; fermentation process; high-quality storage and retrieval with minimal oxidation; Theoretical studies of the main operational and technological parameters of the belt rake were carried out.

Keywords: factor, quality, feed, swathing, tedding, rake, parameters, windrow.

Введение

Качество сена во многом зависит от сырья. В качестве корма лучшими являются бобовые и злаковые травы, менее ценны растения из семейства осоковых и разнотравье. Более полноценным по содержанию питательных веществ является сено, заготовленное из смеси различных трав. Например, у бобовых трав в смеси со злаками лучше сохраняются при сушке цветочные головки и листья, которые содержат в два раза больше белковых и минеральных веществ, а каротина в 10–15 раз больше, чем стебли, переваримость питательных веществ в них выше на 40 %. В настоящее время наиболее распространенной и экономически состоятельной технологией является заготовка сена методом естественной полевой сушки в рассыпном или прессованном виде. При заготовке сена в рассыпном виде потери сухого вещества достигают 35–50 %, прессование

сена позволяет снизить эти потери до 30–35 %, при этом обеспечивается полная механизация процесса заготовки.

Качество травяных кормов, получаемых из скошенных трав, зависит от множества факторов, основным из которых является скорость их сушки (проявления) до кондиционной влажности. Однако неустойчивые погодные условия, характерные для нашей республики, в период сенокоса значительно усложняют эту задачу. Так, исследованиями доказано, что при сушке в хорошую погоду общие потери сухого вещества травы колеблются от 10 до 30 %, а при неблагоприятных погодных условиях они достигают 50 % и больше, при этом значительны потери протеинов и других питательных веществ [1]. В настоящее время при высоких урожаях зеленой массы в мировой практике, в частности в Западной Европе, практикуется скашивание и укладка в прокос, а не в валок, для ускорения процесса сушки, поэтому все большее количество уборочных комплексов и косилок скашивают убираемую массу в широкие прокосы с последующим их ворошением. Этот прием позволяет ускорить процесс полевой сушки на 25–35 %. В условиях республики скашивание в прокос и интенсивное ворошение прокоса позволяют получить травяные корма кондиционной влажности в более короткие сроки. Соответственно, качество такого корма высокое, в нем максимально сохраняется каротин, протеин, углеводы и другие питательные и витаминные комплексы, влияющие на его энергетическую ценность. Дальнейшее досушивание и сохранение энергетической ценности травяных кормов во многом зависит от качества их сгребания в валки [2].

Основная часть

Факторы, влияющие на качество заготавливаемых кормов. *Первый фактор* – сроки начала заготовки. Злаковые травы начинают скашивать при достижении ими высоты 40–50 см. В это время колос только собирается выйти наружу. Заканчивают убирать злаковые не позже, как три четверти массива зацветет. К скашиванию бобовых приступают в фазе начала бутонизации и завершают в фазе цветения. В практике заготовки кормов скашивание в основном начинают в более поздние стадии вегетации растений для так называемого набора массы. Опоздание с началом уборки на одну неделю равно потере 3,6 единиц переваримости корма, что равносильно дополнительным затратам 1,5 кг комбикорма на голову в день. Если растение переросло и полегло, то потеря составит уже 9 единиц переваримости.

Важна еще и высота среза растений. Скашивание культур производят на высоте не ниже 8 см от поверхности. Это увеличивает отрастание и урожайность следующего укоса. На практике она составляет 5 ± 2 см. Отклонение от рекомендуемой высоты среза вызвано, во-первых, привычкой с советских времен заготавливать тонны и кормовые единицы, а не обменную энергию; во-вторых, для качественного среза на высоте 8–10 см нужна высокая плотность травостоя, в противном случае косилка «затирает» растения, а не косит. Для решения этой задачи требуется особый подход к севу люцерны – идеальная схема, когда растения расположены на расстоянии 8–10 см друг от друга. В большинстве случаев люцерну сеют с междурядьем 15–19 см, без уплотнения посева за счет поперечного сева или смещения сеялки в междурядье, что возможно только при использовании навигации.

Высота среза, выровненность поля плюс способность подвески косилок поддерживать заданную высоту среза, а также применение ленточных валкообразователей – условия, соблюдение которых обеспечивает снижение загрязнения корма почвой и количества находящихся в ней патогенных бактерий.

Второй фактор – качество закладываемого сенажа и силоса, которое зависит от ряда других факторов, в первую очередь от процента содержания сухого вещества. Высокая влажность сырья повышает буферную емкость, что мешает быстрому закислению массы (таблица 1).

Необходимо помнить, что из валков испарение влаги из 1 т зеленой массы составляет около 20 л/час, а из расстеленной массы – 100 л. Кроме того, высокое содержание протеина также повышает буферную емкость закладываемой массы.

Третий фактор – степень измельчения закладываемой массы. Для кукурузного силоса оптимальная степень измельчения 4–10 мм, для силоса из злаковых и злаково-бобовых смесей – 20–

40 мм, сенажа люцерны – 30–50 мм, зернового сенажа – 5–15 мм. Длина резки на кормоуборочном комбайне влияет на качество корма, так как от нее зависит скорость трамбовки. Для управления ею требуется система автоматического изменения длины резки в зависимости от влажности растений: при снижении влажности длина резки должна уменьшаться.

Таблица 1 – Буферная емкость силосуемых и сенажируемых кормов

Культура	Буферная емкость (мэк NaOH на 1 кг СВ)
Кукуруза на силос	200
Ежа сборная	300
Райграсс многолетний	350
Люцерна	520

Четвертый фактор – быстрое уплотнение до требуемой величины. Основная ошибка, не позволяющая получить качественный корм, – чрезмерная толщина слоя. Большинство технологов считает, что трамбовка происходит только тогда, когда слой укладываемой массы составляет 15–20 см, но не толще 30 см. Практические тесты в США показали, что при толщине слоя 30 см при оптимальной влажности удается достичь плотности до 500 кг/м³, а при уменьшении толщины трамбуемого слоя до 10 см плотность увеличивается в 1,5 раза при том же темпе заготовки. Если плотность будет ниже 600 кг/м³, то потери за время хранения могут составить до 20–25 %. Как показывает практика, большая часть заготовленного в Республике Беларусь сенажа и силоса имеет плотность от 400–600 и только у самых передовых сельскохозяйственных предприятий – до 650 кг/м³. Для получения качественного силоса необходима плотность не ниже 700 кг/м³, и чем она выше, тем ниже потери питательной ценности.

Для эффективного повышения плотности трамбовки в последние годы помимо тяжелой техники часто применяют каток из железнодорожных колес.

Пятый фактор – процесс ферментации. Весь процесс силосования или сенажирования подразделяется на четыре стадии: аэробную, бактериальной ферментации, стабилизации и скармливания. Аэробная стадия характеризуется работой бактерий, использующих кислород и легкодоступные сахара. В результате выделяются углекислый газ, вода, повышается температура закладываемой массы и разрушаются белки. Вот почему необходимы качественная трамбовка и быстрое выдавливание кислорода из массы. Действие же собственно молочнокислых бактерий начинается со 2–3-го дня изоляции от кислорода. При этом все молочнокислые бактерии, находящиеся на растениях, так называемого гетероферментативного пути. Это означает, что такая бактерия, ферментируя молекулу глюкозы или фруктозы, прежде чем образовать молекулу молочной кислоты, проходит через ряд промежуточных реакций с образованием метанола, маннитола, углекислого газа, уксусной кислоты, которые накапливаются в заготавливаемой массе, что и делает корма невкусными. Налицо неэффективное использование легкорастворимых сахаров и существенная потеря питательных веществ и энергетической ценности корма. Есть и другие виды бактерий: прямого пути ферментирования или гомоферментативного, когда бактерия напрямую, без промежуточных реакций, образует две молекулы молочной кислоты. Однако в растениях их ничтожное количество, поэтому в расчет они не берутся.

Процесс ферментации сахаров – очень ответственный, так как от скорости и эффективности ферментации будут зависеть сохранность, питательность и качество корма. Для получения качественных кормов необходимо использование бактериальных заквасок. Современные закваски отличаются тем, что содержат четыре вида бактерий прямого пути ферментирования или гомоферментативного. В отличие от гетероферментативного при гомоферментативном пути ферментации сахаров не образуется промежуточных продуктов распада, что повышает вкусовые качества корма и позволяет более эффективно использовать сахара.

Шестой фактор – качественное хранение и выемка с минимальным окислением. В практике кормления к этому вопросу относятся без должного внимания. Между тем даже заготовив качественные корма, из-за ошибок при вскрытии траншеи можно существенно снизить их качество. Ни в коем случае нельзя открывать слишком большую поверхность, допустим, на 3–4 дня

вперед. Корм на открытой площади соприкасается с воздухом, а кислород, как известно, сильнейший окислитель. Положение существенно усугубляется, если выемка корма производится неправильно. В отсутствие фрезы при выемке корма из траншеи ковшом снимают корм, отрывая куски и допуская разрыхление большого количества корма. Часто бывают случаи подвоза кормов заранее, например, вечерний завоз для приготовления кормосмеси и раздачи утром. Все эти и подобные нарушения существенно снижают качество корма на кормовом столе.

Таким образом, в процессе заготовки качественных кормов необходимы строгое соблюдение технологии и учет всех факторов, влияющих на конечный результат.

Анализ результатов обобщенной оценки МТА. Моделируем процесс сгребания просушенной (провяленной) массы в валки ленточным валкователем на базе различных тракторов по интегральному критерию относительного удаления от цели [3–5]:

$$\mu'_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^H - \sum_{i=1}^n u_{io}^H}{u_{io}^H} = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^H}{N} - 1,$$

где u_{ij}^H , u_{io}^H – соответственно нормированные значения критериев j -го и идеального вариантов, определяем целевую функцию выбора рационального состава и режимов работы МТА для заданной технологической операции:

$$\mu'_{ijsf} = \frac{N_{D_{\text{опт}ijsf}}^H + \Theta_{ijsf}^H + 3_{ijsf}^H}{N_{D_{\text{опт}ijsf}}^o + \Theta_{ijsf}^o + 3_{ijsf}^o} - 1 \rightarrow \min.$$

Результаты обобщенной оценки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка ленточного валкователя, агрегируемого с тракторами тяговых классов 3 и 2 по обобщенному показателю в зависимости от сегментации и длины гона

Состав агрегата	Оцениваемые показатели				Обобщенная оценка (μ')
	Сменная производительность, га	Относительное число нормосмен	Затраты топлива, кг/га	Затраты труда, ч/га	
Длина гона 600 м					
«Беларус-1221.2» + b_p	47,0	0,61	2,55	0,15	0,07 (2)
«Беларус-1523» + b_p	51,8	0,56	2,46	0,14	0 (1)
«Беларус-1221.2» + $2/3b_p$	36,9	0,78	3,15	0,19	0,34 (4)
«Беларус-1523» + $2/3b_p$	39,8	0,72	3,36	0,18	0,31 (3)
«Беларус-1221» + $1/3b_p$	19,9	1,45	5,91	0,35	1,49 (5)
«Беларус-1523» + $1/3b_p$	19,9	1,45	6,72	0,35	1,61 (6)
Идеальный вариант		0,56	2,46	0,14	
Длина гона 800 м					
«Беларус-1221.2» + b_p	49,3	1,04	2,42	0,14	0,07 (2)
«Беларус-1523» + b_p	55,26	0,93	2,47	0,13	0,01 (1)
«Беларус-1221.2» + $2/3b_p$	39,3	1,30	3,01	0,18	0,34 (4)
«Беларус-1523» + $2/3b_p$	41,4	1,24	3,29	0,17	0,33 (3)
«Беларус-1221» + $1/3b_p$	20,9	2,45	5,74	0,33	1,51 (5)
«Беларус-1523» + $1/3b_p$	20,9	2,45	6,52	0,33	1,62 (6)
Идеальный вариант		0,93	2,42	0,13	
Длина гона 1000 м					
«Беларус-1221.2» + b_p	58,8	1,36	2,14	0,12	0 (1)
«Беларус-1523» + b_p	58,7	1,36	2,37	0,12	0,04 (2)
«Беларус-1221.2» + $2/3b_p$	20,9	2,45	5,74	0,33	1,41 (3)
«Беларус-1523» + $2/3b_p$	20,9	2,45	6,52	0,33	1,53 (4)
«Беларус-1221» + $1/3b_p$	22,2	3,60	5,78	0,31	1,64 (5)
«Беларус-1523» + $1/3b_p$	22,2	3,60	6,57	0,31	1,77 (6)
Идеальный вариант		1,36	2,14	0,12	

Произведен выбор рационального состава и режима работы агрегатов на заготовке кормов при сгребании массы на стерне нормальной влажности с удельным сопротивлением ленточного валкователя 0,7–0,9 кН/м с учетом изменения длины гона и соответствующего сочетания ленточного валкователя на базе тракторов класса 3 и 2. Расчеты произведены для трех значений длины гона L_p : 600, 800 и 1 000 м. Исследованиями установлено, что между размерами участков и длинами гонов существует тесная корреляционная связь, т. е. малым площадям участков соответствуют малые длины гонов и, наоборот, большим площадям участков соответствуют большие длины гонов. В связи с этим для комплексной оценки агрегатов приняты следующие значения площадей одного поля: 28,8; 51,2 и 80 га, соответствующие приведенным выше длинам гонов.

Исследование показало, что при длине гона 600 м оптимальным по интегральному критерию удаления от цели является агрегат «Беларус-1523»+ b_p ($\mu' = 0$), обеспечивающий производительность 51,8 га за смену при расходе топлива 2,46 кг/га. При увеличении длины гона до 800 м более эффективен агрегат «Беларус-1523»+ b_p ($\mu' = 0,01$), обеспечивающий производительность 55,26 га за смену при расходе топлива 2,47 кг/га.

При формировании валков ленточным валкователем в целом эффективен агрегат «Беларус-1221.2»+ b_p , обобщенный показатель которого, начиная с длины гона 600 м, улучшается и достигает своего наилучшего значения при длине гона 1 000 м ($\mu' = 0$), обеспечивая производительность 58,8 га за смену при расходе топлива 2,14 кг/га.

Повышение производительности и снижение расхода топлива агрегатов при среднестатистических условиях работы вызвано снижением тягового сопротивления МТА при сегментации ленточного валкователя, увеличением рабочей скорости движения, коэффициента использования времени смены и коэффициента загрузки двигателя по мощности. Это ведет к улучшению оцениваемых показателей и, как следствие, снижению показателей идеального варианта, что, в свою очередь, влечет за собой изменение ранжирования агрегатов.

Заключение

Выполненные расчеты позволили установить, что производительность за час эксплуатационного времени ленточного валкователя составляет от 2,85 до 8,40 га/ч в зависимости от укоса, состояния полей и его сегментации. При первом укосе, когда объем массы велик, рекомендована рабочая скорость трактора до 13 км/ч. При втором, третьем укосах, если поля ровные, скорость может быть до 16 км/ч.

Список использованных источников

1. Маклахов, А. В. Совершенствование технологии заготовки сена в рулонах / А. В. Маклахов, В. К. Углин, В. Е. Никифоров // Владимирский земледелец. – 2017. – № 4 (82). – С. 28–30.
2. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур: официальный сайт РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018–2025. – URL: <https://belagromech.by/news/osobennosti-tehnologij-i-tehnicheskoe-obespechenie-zagotovki-kormov-iz-trav-i-silosnyh-kultur> (дата обращения: 11.07.2024).
3. Непарко Т. А. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства : учеб. пособие / Т. А. Непарко, А. В. Новиков, И. Н. Шило ; под общ. ред. Т. А. Непарко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 199 с.
4. Непарко, Т. А. Повышение эффективности производства картофеля обоснованием рациональной структуры состава применяемых комплексов машин : автореф. дис. ... к-та техн. наук / Т. А. Непарко ; БГАТУ. – Минск, 2004.
5. Непарко, Т. А. Технология и техническое обеспечение производства продукции растениеводства : электронное учеб. пособие / Т. А. Непарко // Минсельхозпрод РБ, БГАТУ, Кафедра ЭМТП и А. – Минск : БГАТУ, 2023.