

Научные основы интенсификации механизированных процессов заготовки кормов из трав

На основании биологической особенности роста и развития травянистых растений по интегральной кривой рассмотрено накопление урожая зеленой массы по фазам вегетации, которым соответствует определенная технология заготовки кормов. Разработана модель оптимизации технологического процесса уборки трав с целью определения оптимального срока уборки в зависимости от затрат на приобретение и содержание техники с учётом стоимости потерь от недобора урожая.

Рассмотрена концепция выбора механизированных технологий заготовки кормов из трав, основу которой составляет интенсификация процессов за счет сокращения сроков проведения технологической операции, ускорения влагоотдачи скошенных растений и создания условий, затормаживающих функции ферментов клеток, включая раннее утреннее скашивание, плющение, обработку травы химическими реагентами, ворошение, внесение химических консервантов в сено повышенной влажности и силос из провяленных трав.

On the basis of biological feature of growth and development of grassy plants on an integrated curve the accumulation of a crop of green weight on a phase of vegetation is considered to which there corresponds the certain technology of preparation of forages. The model of technological process of grass harvest optimisation is developed with the purpose of optimum term definition, depending on expenses on purchase and keeping of engineering wiep taking into account the cost of losses from shortage of a crop. Is considered the conception of the mechanized technologies of preparation of forages and grass es chois, which basis composes the intensification of processes by the reduction of terms realisation of technological operation, acceleration moisturere-tuning of oblique plants and creation of conditions, wchich are slowing down ferments function of crates, including early morning mowing down, flattening, processing of a grass by chemical reagents, tossing the hay, entering chemical preservatives in increased humidity hay and silo from dried grass es.

Основой интенсификации механизированных процессов заготовки кормов из трав является оптимизация продолжительности технологического процесса уборки выращенного урожая трав с заготовкой такого вида корма, который соответствовал бы фазовому состоянию травянистых кормовых культур.

Длительная уборка трав приводит к увеличению потерь питательных веществ в кормах из-за снижения с возрастом травостоя содержания питательных веществ и в особенности переваримого протеина. Однако затраты на проведение уборочных работ при этом уменьшаются за счет растянутых сроков уборки, требующих меньшее количество уборочной техники. И наоборот, при сокращении продолжительности уборки потери питательных веществ и урожая уменьшаются, но увеличиваются затраты на проведение уборочных работ. Поэтому продолжительность уборочных работ должна быть такой, при которой сумма убытков от потерь и недобора урожая пита-

тельных веществ кормов с учетом затрат на приобретение и хранение техники будет наименьшей. Некоторые авторы предлагают различные методы расчёта продолжительности технологического процесса уборки урожая, но расчетные модели зачастую построены так, что не отражают сущности производственного процесса. Наиболее подходящие модели уборочного процесса применительно к заготовке кормов из трав даны в работах В.П. Горячкина /1/, Ф.С. Завалишина /2/, А.Д. Муратова /3/. В.П. Горячкин предлагает общую схему развития процесса, которая применима к динамике накопления урожая, представлять интегральной кривой, где вначале накопление урожая развивается под действием положительного ускорения, и форма кривой должна быть вогнутой. Заканчивается явление под действием отрицательного ускорения, следовательно, по выпуклой кривой. В середине явление развивается по инерции, т.е. по прямой линии. Эта схема для расчетов механизированных процессов в растениеводстве рассмотрена Ф.С. Завалишиным /2/.

Для построения интегральной кривой роста травянистых растений, применяемых для заготовки кормов, использованы результаты агрономических исследований, проведенных в Республике Беларусь, Литве и Германии, на примере накопления зеленой массы многолетних трав, используемых в качестве пастбищного корма /4/, клевера красного /5/ и первого укоса клевера лугового /5/. Изобразив графически динамику накопления урожая травостоя, видно, что данные, полученные в различных регионах, хорошо согласуются и укладываются в виде интегральной кривой (рис.1).

Анализ интегральной кривой накопления урожая зеленой массы, изображающей зависимость от продолжительности вегетационного периода, показывает, что ежесуточно масса травы нарастает с разной скоростью, так как касательные к кривым в разные периоды роста (фазы вегетации) имеют различный наклон к оси абсцисс.

Заготовка кормов из трав проводится в разных фазах вегетации растений по различным технологиям. Если учесть, что скорость нарастания урожая различна, то для получения максимального сбора необходимо выполнять уборку в возможно сжатые агротехнические сроки. Однако, чем короче период уборки, тем должна быть большая насыщенность техникой, обеспечивающей уборку с наивысшей производительностью. Но, с другой стороны, содержание техники требует значительных материально-денежных ресурсов. Поэтому в организации заготовки кормов из трав необходимо, чтобы затраты на содержание техники, приходящиеся на каждый день уборочного процесса, не превышали доход от убранных урожая.

Поэтому основной целью оптимизации продолжительности уборочных работ по соответствующей технологии и комплекса машин должно быть достиже-

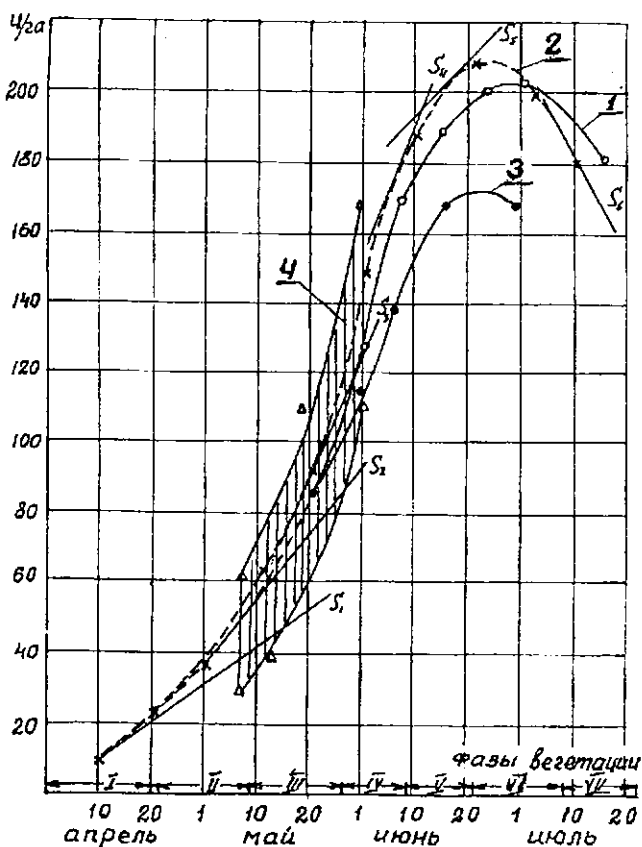


Рис.1. Динамика накопления урожая клевера и злаковых трав:

- 1 – клевер красный (по Каджюлису Л.Ю.);
- 2 – клевер луговой (по Шиману Р.);
- 3 – травосмесь злаковых (по Шиману Р.);
- 4 – многолетние злаковые травы (8 наименований по Руденко Е.В.);
- S1-6 – касательные к кривой, соответствующей фазы вегетации.

ние максимальной прибыли с минимальными затратами на весь уборочный процесс согласно следующему выражению:

$$\Pi = E_g - E_o - E_y, \quad (1)$$

где $E_g = Y \cdot \gamma$ – доход от реализации кормов, руб.; Y – урожай кормов, ц; γ – цена получаемого корма, руб./ц; E_o – первоначальные затраты средств до уборки, руб.; E_y – затраты на уборку, руб.

Выделив на интегральной кривой развития травостоя отдельные зоны, можем с некоторым допущением представить накопление урожая в каждой конкретной зоне в виде прямой линии, уравнение которой, по рекомендациям Ф.С. Завалишина, выглядит следующим образом:

$$Y = Y_o + bD_k, \quad (2)$$

где Y_o – урожайность, соответствующая начальной точке прямой, ц/га; b – ежесуточный прирост, ц/га; D_k – календарная продолжительность уборки, дней.

В процессе уборочных работ в каждой зоне интегральной кривой в начальный период собираемый урожай зелёной массы будет меньшим, чем в конце периода из-за ежедневного прироста урожая. Поэтому недобор будет составлять:

$$Y_n = bD_k/2, \quad (3)$$

а стоимость недобора

$$E_n = Y_n \gamma = b\gamma D_k/2. \quad (4)$$

Тогда выражение (1), с учетом высказанного, можно преобразовать:

$$\Pi = (Y\gamma - E_o) - (b\gamma D_k/2 + E_y). \quad (5)$$

Для получения максимальной прибыли необходимо, чтобы вычитаемое в правой части уравнения (5), состоящее из расходов на уборку и затрат от потерь (недобора) урожая кормов, зависящих от продолжительности уборки, было минимальным. Расходы на уборку состоят из затрат на эксплуатацию техники E_{in} (согласно предложению Ф.С. Завалишина не зависят от продолжительности уборки) и из затрат на приобретение и хранение техники, находящейся в прямой зависимости от продолжительности уборочного процесса:

$$E_{in} = \frac{E_n \delta}{D_k Z_k Q}, \quad (6)$$

где

$$E_n = \frac{v_m (a_r + \alpha_k)}{100} + v_{kp},$$

v_m – цена машины, руб.; a_r – реновация, %; α_k – коэффициент эффективности капиталовложений; v_{kp} – затраты средств на хранение техники в год, руб.; Q – выработка машины в день, га; Z_k – коэффициент использования календарного времени, в котором учтены простои из-за погодных условий; $\delta = V/V_{отм}$ – занятость машины на рассматриваемом процессе (отношение объема работ

машины в данном процессе к объему работ, выполненных ею за год).

Тогда затраты потерь урожая и расходов на содержание техники выражаются следующим равенством:

$$E = b\gamma D_k/2 + E_{in} + \frac{E_n}{D_k Z_k Q}. \quad (7)$$

Для определения оптимального срока уборочных работ необходимо найти производную затрат от продолжительности уборки и приравнять её к нулю:

$$\frac{\partial E}{\partial D_k} = \frac{\partial}{\partial D_k} (b\gamma D_k/2) + \frac{\partial E_{in}}{\partial D_k} + \frac{\partial}{\partial D_k} \frac{E_n \delta}{D_k Z_k Q} = 0, \quad (8)$$

откуда

$$D_{opt} = 1,41 \sqrt{\frac{E_n \delta}{b\gamma Z_k Q}}. \quad (9)$$

Анализ полученных выражений показывает, чем выше производительность машин, больше цена получаемого корма, благоприятнее погодные условия при уборке и ниже стоимость техники, тем короче оптимальная продолжительность работ, обеспечивающая получение наибольшей прибыли.

Удлинение сроков уборки трав уменьшает напряженность, но с ростом и развитием растений происходит снижение переваримости кормов и содержания протеина, огрубление корма и увеличивается содержание клетчатки.

Концепцией выбора механизированных технологий заготовки кормов из трав должно быть сокращение сроков проведения уборочных работ. Но при этом комплекс машин и оборудования должен быть технологически оправдан, т.е. удельная стоимость его не должна превышать цены заготавливаемых кормов.

Исходя из этой концепции, в основу проектирования и разработки технологий и машин должна быть положена интенсификация процессов за счет ускорения прохождения каждой операции, сокращения сроков технологических процессов, тем самым повышения выработки на каждой операции в пределах строго определённого агротехнического срока. Реализация этой концепции вызывает необходимость создания сырьевого конвейера трав с различными сроками созревания, чтобы каждый вид трав убирать в наилучшие агротехнические сроки и за один укос убрать три-четыре вида трав в течение 30–40 календарных дней уборочного периода.

Биологическая особенность травянистых кормовых культур, кроме старения растений, оказывает существенное влияние на интенсификацию технологических процессов приготовления из них кормов в виде сена, сенажа, провяленного силоса, травяной муки. Основным фактором, влияющим на процесс приготовления указанных кормов, является удаление из растений влаги, уровень которой определяет приготовление того или иного вида корма. Так, для приготовления сена необходимо снизить влажность с 75–78% в исходном

сырье до 17–20%, при которой сено может храниться без образования плесени; при заготовке сенажа траву необходимо проявлять до влажности 40–55% в зависимости от вида трав бобовых или злаковых; при заготовке проявленного силоса следует снизить влажность травы до 68–70%; при заготовке травяной муки – 10–12%. При этом чем быстрее снизить влажность до необходимых по технологии заготовки пределов, тем больше сохранится в корме питательных веществ, тем выше качество приготовленного корма. Достигнуть этого возможно за счет интенсификации технологических процессов при скашивании, ворошении скошенной травы, вспушивания, обработкой химическими консервантами, затормаживающими действие ферментов клеток.

Водоудерживающая способность растительных материалов является основой технологического процесса сушки, которая зависит от фазового состояния и вида трав, применяемых удобрений, температуры и относительной влажности окружающей среды и т.д. Кроме того, интенсифицировать процесс влагоотдачи возможно искусственно, создав условия, при которых влага получает возможность испаряться почти как с открытой поверхности.

Проведены исследования по определению влияния биологического состояния растений и воздействия внешних факторов на ускорение процесса влагоотдачи: времени скашивания в течение дня и его влияния на скорость сушки; механического воздействия на стебли трав во время скашивания с целью ускорения влагоотдачи (плющения); обработки травы химическими веществами при скашивании для ускорения влагоотдачи; способа укладки скошенной травы и ворошения, как фактора ускорения влагоотдачи скошенных трав.

Для определения влияния времени скашивания на процесс сушки скашивание трав проводилось в 6 часов утра, 10 и 14 часов дня и 18 часов вечера в период первого и второго укосов трав. В результате установлено, что скорость сушки трав, скошенных рано утром, в 3,0–3,5 раза выше в период первого укоса, чем скошенных в полдень. В период второго укоса эта разница составила всего 15–25%. При этом в ранние утренние часы содержание каротина было в 1,5–2,0 раза больше, чем у травы в дневное время. Однако при длительной полевой сушке в течение восьми дней эта разница в содержании каротина становится из-за его потерь незначительной. Поэтому явление повышенного содержания каротина у травы в ранние утренние часы можно использовать при проявлении травы в течение 1,5–2,0 дней.

Исследования по определению влияния плющения стеблей при скашивании на ускорение процесса влагоотдачи показали, что скорость сушки клевера после плющения составила 3,2, а без плющения 0,9%/ч, т.е. почти в 3,5 раза плющение ускоряет процесс влагоотдачи. Причем на ускорение влагоотдачи оказывает влияние конструкция плющильного рабочего орга-

на косилки. Так, деково-бичевые рабочие органы, которые за рубежом называют роторными кондиционерами, на 25–30% ускоряют процесс сушки скошенных трав по сравнению с плющильными вальцами. Плющение позволяет снизить потери в процессе сушки. Так, потери сухого вещества клевера при снижении влажности с 66–70% до 20% после плющения уменьшились на 8%, а содержание каротина было большим почти в 2,2 раза в сравнении с уборкой клевера без плющения.

Влияние химической обработки травы при скашивании на процесс влагоотдачи оценивалось в опытах с использованием углекислого калия K_2CO_3 из расчета 10 кг/га, растворенного в 400 л воды.

Результаты исследований обнаруживают закономерность ускорения сушки бобовых и злаковых трав после обработки химическим реагентом. Скорость сушки трав, обработанных углекислым калием, повышается для злаковых трав в 1,4, а для бобовых в 1,6 раза.

Причем обработка травы углекислым калием при скашивании в полдень значительно ускоряет процесс влагоотдачи в сравнении с сушкой травы, скошенной в то же время, но без обработки химическим реагентом. Однако при неблагоприятных для уборки погодных условиях резко выраженной закономерности влияния химической обработки на изменение влажности трав не обнаружено.

Для интенсификации процесса сушки скошенную траву необходимо укладывать так, чтобы масса свежескошенной травы не превышала 4 кг на квадратном метре. Вид укладки травы в прокос или валок определяется урожайностью травостоя. Чем выше урожайность, тем с меньшей ширины захвата косилок или граблей необходимо укладывать валок, чтобы не превышать массу его более указанной.

Проведенные исследования позволили обосновать время проведения первого ворошения скошенной травы. В неустойчивых погодных условиях первое ворошение необходимо проводить не ранее чем через 3–4 часа после скашивания или при раннем утреннем скашивании через 2–3 часа после схода росы. При снижении влажности до 55–60% стебли становятся упругими и после ворошения образуют вспушенную укладку, обеспечивающую хорошее проветривание нижележащих слоев.

Для определения способов формирования валков проведены исследования, в которых изучалась динамика влажности травы, скошенной в прокосы, а также собранной в валок сразу после скашивания или после снижения влажности травы в прокосе до 55–60% (рис.2). Анализ полученных результатов показывает, что для проявлявания травы до влажности 40–45% ее необходимо вначале сушить в прокосе до влажности 50–60%, а затем собирать в валок. При этом общее время проявлявания будет в 1,5–2,0 раза меньше, чем при проявлявании до требуемой влажности 40–45% в валках, образуемых сразу после скашивания.

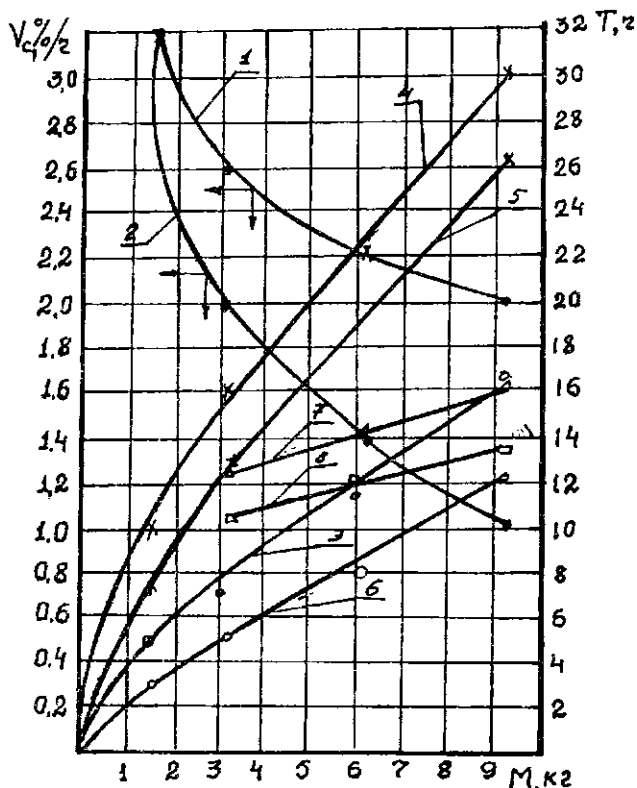


Рис.2. Зависимость времени провяливания и скорости сушки от массы валка и сроков его укладки:

- 1 — скорость сушки при провяливании скошенной травы вначале в прокосе до влажности 55%, а затем до влажности 40% в валке;
- 2 — скорость сушки до влажности 40% в валке, образованного сразу после скашивания;
- 3 — время сушки валка до влажности 55%;
- 4 — время сушки валка до влажности 40%;
- 5 — время сушки валка до влажности 45%;
- 6 — время сушки валка до влажности 60%;
- 7 — время сушки до влажности 55% в прокосе, а затем до 40% в валке;
- 8 — время сушки до влажности 55% в прокосе, а затем до 45% в валках.

Ускорение процесса сушки достигается также оборачиванием валков. Исследования показали, что каждое оборачивание валков ускоряет процесс сушки на 5–10%. При ворошении более двух раз в день ускорение процесса сушки не оправдывает дополнительных затрат труда и средств, а потери каротина достигают 25–30%. При снижении влажности травы ниже 40% ворошение проводить не рекомендуется из-за увеличения механических потерь.

Другим направлением интенсификации технологических процессов заготовки кормов из трав является применение приемов уборки трав, обработанных химическими консервантами, особенно при невозможности из-за неблагоприятных погодных условий проя-

вить скошенную траву в полевых условиях до влажности сена или сенажа.

Проведены исследования совместно с сотрудниками БелНИИ животноводства по обоснованию технологии обработки сена повышенной влажности жидкими химическими консервантами, по результатам которых установлено, что для предотвращения саморазогревания провяленной травы до влажности 35–40% доза внесения пропионовой кислоты составляет 1,5–2,0% к массе корма.

Научно-хозяйственный опыт, выполненный сотрудниками БелНИИ животноводства, по определению зоотехнической эффективности химического консервирования сена повышенной влажности показал, что в сравнении с сеном естественной сушки заготовка сена с консервантом повышает питательность сухого вещества на 3%, увеличивая содержание переваримого протеина на 7%, что повысило удой на 3,2%, сокращая время пребывания скошенной травы в поле в 1,5–2,0 раза [8].

При невозможности провялить траву до влажности 40–55%, при которой заготавливают сенаж, снижают влажность до 70% и приготавливают силос из провяленных трав с внесением химических консервантов, позволяющих уменьшить потери корма на 15–25%.

Таким образом, интенсификацией технологических процессов сокращаются сроки пребывания скошенной травы в поле, снижаются потери выращенного урожая и питательной ценности приготавливаемых кормов, уменьшаются затраты материально-технических и энергетических ресурсов на единицу полученного корма.

Литература

1. Горячкин В.П. Сборник сочинений. — Москва: Колос, 1965 — Т.1 — 730 с.
2. Завалишин Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве. — Москва: Колос, 1973. — 319 с.
3. Методика оптимального проектирования сельскохозяйственных производственных процессов / ТСХА. — Москва, 1962. — 211 с.
4. Руденко Е.В. Повышение продуктивности культурных пастбищ. — Минск: Ураджай, 1977. — 49 с.
5. Каджюлис Л.Ю. Выращивание многолетних трав на корм. — Ленинград: Колос. Ленинг. отд-ние., 1977. — 247 с.
6. Применение комплексной системы оценки кормов в растениеводстве / Под редакцией Р.М. Шиман — Москва: Колос, 1982. — 271 с.
7. Андреев Н.Г. Луговое и полевое кормопроизводство. — Москва: Колос, 1975. — 504 с.
8. Борисенко Е.Ф. и др. Консервирование прессованного в тюки сена повышенной влажности пропионовой кислотой. // Сб. научных трудов / ВНИИ кормов. — Москва, 1985. — Вып.32. — С.37–38.