

Обоснование технологии и разработка подборщика-измельчителя для заготовки измельченного сена

Substantiation of technology and development of a pick-up chopper for preparation of chopped hay

Д. Т. АБИЛЖАНОВ, канд. техн. наук

Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, Алматы, Республика Казахстан, kazniimesh@yandex.kz

D. T. ABILZHANOV, PhD in Engineering

Kazakh Research Institute of Agricultural Engineering and Electrification, Almaty, Republic of Kazakhstan, kazniimesh@yandex.kz

При применении существующих технологий заготовки прессованных грубых кормов потери самой ценной листовой части трав составляют до 14 %, что равноценно значительным потерям общей массы убираемого сена. В связи с этим целью исследования стала разработка ресурсосберегающей технологии заготовки высококачественного измельченного сена и подборщика-измельчителя кормов для ее осуществления. При обосновании предложенной технологии применен метод системного анализа, а при разработке конструктивно-технологической схемы универсального подборщика-измельчителя кормов — метод конструирования сельскохозяйственной техники. В результате теоретических исследований получено аналитическое выражение для определения потерь общего урожая, которые равноценны потерям листовой части кормов. Данное выражение предложено как новый критерий оптимизации для обоснования различных технологий заготовки грубых кормов. С целью исключения операций, которые приводят к потерям листовой части трав, и повышения качества кормов, предложена технология заготовки измельченного сена. Качественное измельчение сухих и влажных грубых кормов обеспечивают молотковые и ножевые рабочие органы подборщика-измельчителя. Для надежного подбора сена в машине установлен новый подбирающий механизм без беговой дорожки, роликов, кривошипов и подшипников. Экспериментальные исследования позволили определить следующие оптимальные параметры машины: скорость воздушного потока в дефлекторе 15 м/с; частота вращения подбирающего барабана 60 минут в минус первой степени; оптимальная производительность 8—9 т/ч; потеря измельченных грубых кормов 1,83 %. Производственные испытания подборщика-измельчителя с молотковой дробилкой и новым подбирающим механизмом показали, что он обеспечивает заготовку высококачественного измельченного сена при снижении эксплуатационных затрат в 2 раза по сравнению с рулонной технологией заготовки грубых кормов.

Ключевые слова: измельченное сено; листовая часть; подборщик-измельчитель кормов; подбирающий механизм; потери листовой части трав.

With the use of current technologies of preparation of pressed forage, the losses of valued leaf part of grass plants come up to 14 %, which is equivalent to significant losses of total weight of harvested hay. From this perspective, the purpose of the research is to develop a resource-saving technology of preparation of high-quality chopped hay, and to design a pick-up chopper for its implementation. To substantiate the offered technology, the method of system analysis is applied; to develop the structural and technological scheme of universal pick-up chopper, the method of design of agricultural machinery is used. As a result of theoretical researches, the analytical expression is obtained for determination of total yield losses, that are equivalent to the losses of leaf part of forage. The expression is proposed as a new optimization criterion for substantiation of different technologies of forage preparation. To improve the quality of forage and to exclude operations leading to the losses of leaf part of grass plants, a technology of preparation of chopped hay is proposed. Hammer and knife working bodies of a pick-up chopper provide high-quality chopping of dry and wet forage. The machine is equipped with new pick-up mechanism without treadmill, rollers, cranks or bearings for reliable hay picking up. The results of experimental researches allow to determine the following optimal parameters of the machine: the air flow speed in deflector 15 m/s; the rotation speed of pick-up reel 60 rpm; the optimal productivity 8—9 t/h; the losses of chopped forage 1.83 %. The performance tests of a pick-up chopper equipped with hammer mill and new pick-up mechanism showed that it provides the preparation of high-quality chopped hay with reduction of operating costs by 2 times as compared to the roll technology of forage preparation.

Keywords: chopped hay; leaf part; pick-up chopper for forage; pick-up mechanism; losses of leaf part of grass plant.

Введение

В настоящее время в России и Казахстане создаются молочные и откормочные фермы, на которых для повышения продуктивности животных, в основном в зимнее время, необходимо приготовление качественных полнорационных кормосмесей. Их качество зависит от качества заготовленного сена, сенажа и приготовленных комбикормов.

При применении существующих технологий заготовки прессованных грубых кормов потери самой ценной листовой части трав составляют до 14 % от общей массы убираемого сена [1]. Если учесть, что в листовой части трав содержание витаминов и каротина в 10—12 раз выше, чем в стеблевой, такие потери равноценны значительным потерям общей массы убираемого сена [2].

Кроме того, заготовленные рулоны и малогабаритные тюки остаются на поле несколько дней. За это время в верхних слоях прессованных кормов под воздействием солнечных лучей происходит полная потеря каротина и витаминов.

В связи с этим можно констатировать, что существующие технологии не обеспечивают заготовку качественных грубых кормов для повышения продуктивности животноводства на молочных и откормочных фермах. Разработка ресурсосберегающей технологии заготовки сена и технических средств для ее осуществления — актуальная задача современного сельского хозяйства.

Цель исследования

Цель исследования состоит в разработке технологии и технических средств, обеспечивающих заготовку вы-

сококачественного сена для приготовления полнорационных кормосмесей на откормочных и молочных фермах в стойловый период.

Материалы и методы

При разработке новой технологии применен метод системного анализа существующих технологий летней заготовки и зимнего приготовления грубых кормов, а при разработке конструктивно-технологической схемы универсального подборщика-измельчителя кормов — метод конструирования сельхозтехники.

Результаты и их обсуждение

Совершенствование и разработка новых технологий заготовки грубых кормов осуществляются путем выбора критерия оптимальности рассматриваемых технологий. Энергоемкость каждой операции в технологии определяется по формуле:

$$\Theta_i = \frac{N_i}{Q_i},$$

где N_i — расход мощности i -й операции, кВт; Q_i — производительность i -й операции, т/ч.

Оптимальность технологий по энергоемкости определяется равенством:

$$\Theta_o = \sum_{i=1}^n \Theta_i \rightarrow \min.$$

При оценке технологии по этому критерию сначала рассматриваются процессы, имеющие максимальную энергоемкость. В данном случае это прессование и измельчение кормов. Ранее проведенные исследования показали, что энергоемкость процесса измельчения прямо пропорциональна коэффициенту неравномерности подачи грубых кормов в измельчитель [3]:

$$\Theta_n = K_n \Theta_{ир},$$

где K_n — коэффициент неравномерности подачи; $\Theta_{ир}$ — энергоемкость процесса измельчения при равномерной подаче.

Второй критерий оптимальности — качество заготовленных грубых кормов. В данном случае выбираем такой показатель, как содержание каротина в 1 кг заготовленного сена. Известно, что содержание каротина в 1 кг листовой части люцерны составляет 611 мг, в стеблевой части — 69 мг; в 1 кг листовой части клевера — 525 мг, в стеблевой части — 25 мг [2].

Содержание каротина в 1 кг заготовленного сена $m_{кс}$ определяется по формуле:

$$m_{кс} = K_л m_{л1} + K_с m_{с1},$$

где $K_л$, $K_с$ — содержание каротина в 1 кг листовой и стеблевой частей, мг/кг; $m_{л1}$, $m_{с1}$ — масса листовой и стеблевой частей в 1 кг сена, кг.

По данным проведенных ранее исследований, при прессовании сена через зазоры между вальцами потери листовой части трав достигают $\Pi_л = 14\%$.

С целью общей оценки технологических процессов предложено аналитическое выражение для определения

потерь общего урожая $\Pi_{оу}$, которые равноценны потерям листовой части кормов:

$$\Pi_{оу} = \frac{K_л \Pi_л}{K_л m_{л1} + K_с m_{с1}}. \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что потери урожая оцениваются путем сравнения процента каротина в потерянной листовой части с общим возможным содержанием каротина в листовой и стеблевой частях растения. Целевую функцию можно представить в виде:

$$\Pi_{оу} = \frac{K_л \Pi_л}{K_л m_{л1} + K_с m_{с1}} \rightarrow \min;$$

$$\Pi_{оу} = \frac{K_л \sum_{i=1}^n \Pi_{ли}}{K_л m_{л1} + K_с m_{с1}} \rightarrow \min;$$

$$\Pi_{ло} = \sum_{i=1}^n \Pi_{ли} \rightarrow \min.$$

Общие потери листовой части $\Pi_{ло}$ в технологических процессах заготовки грубых кормов в рулонном виде можно выразить как:

$$\Pi_{ло} = \sum_{i=1}^n \Pi_{ли} = \Pi_{лпр} + \Pi_{лхр} + \Pi_{лраз} + \Pi_{лиз} \rightarrow \min,$$

где $\Pi_{лпр}$, $\Pi_{лхр}$, $\Pi_{лраз}$, $\Pi_{лиз}$ — потери листовой части урожая в ходе прессования, хранения рулона на поле, разматывания рулона, измельчения.

Предполагается два варианта снижения общих потерь листовой части: 1) минимизировать потери в ходе выполнения каждой операции; 2) полностью исключить некоторые операции. Оценивая возможности снижения потерь листовой части урожая, рассмотрим применяемую схему заготовки кормов по рулонной технологии и зимнего приготовления грубых кормов (рис. 1).

На основе предлагаемых критериев оптимальности снижения энергоемкости и снижения общих потерь убираемого сена с учетом сохранения качества кормов предлагается новая технология заготовки измельченного сена (рис. 2).

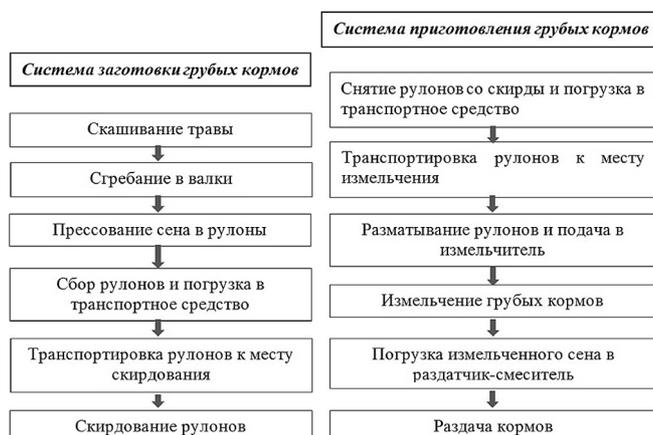


Рис. 1. Применяемая рулонная технология заготовки кормов с раздачей в зимний период

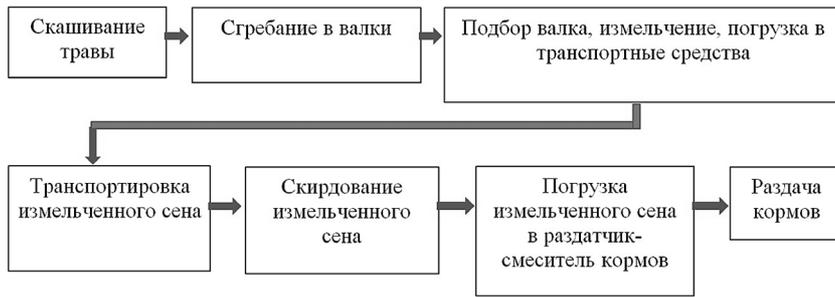


Рис. 2. Новая технология заготовки измельченного сена

В новой технологии объединяются системы летней заготовки и зимнего приготвления грубых кормов. Предлагается измельчение, которое обычно осуществляется в зимнее время, выполнить в ходе заготовки. После сгребания в валки, при достижении влажности сена в валке 18–20 %, необходимо произвести подбор и измельчение сена до требуемого размера с расщеплением стеблей вдоль волокон, а затем транспортировать измельченное сено и скирдовать под навесом. В зимнее время при приготовлении кормосмесей остается загрузить готовое измельченное сено в бункер раздатчика и произвести раздачу в кормушки или на кормовой стол.

Для оценки значения потерь общего урожая в зависимости от потерь листовой части трав проведены теоретические расчеты по формуле (1) на примере клевера и люцерны.

Зависимости потерь общего урожая от потерь листовой части клевера и люцерны приведены на рис. 3, из которого видно, что потери листовой части сена по качественным показателям (содержанию каротина) равноценны двойным потерям общего урожая.

Как показано на рис. 2, грубые корма можно измельчить после сгребания сена в валки. Можно одновременно произвести подбор, измельчение и погрузку измельченного сена в кузов транспортного средства за счет применения подборщика-измельчителя кормов.

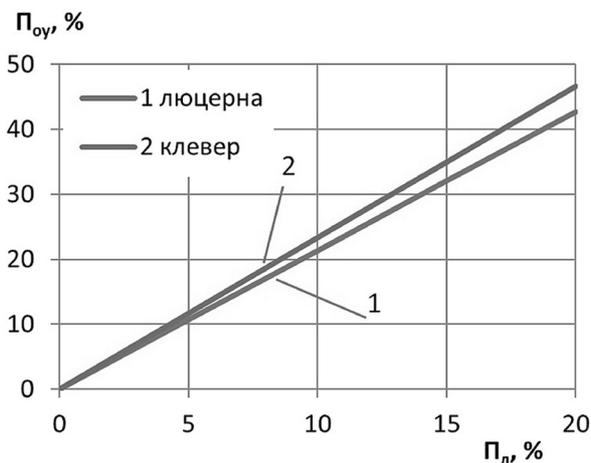


Рис. 3. Зависимости потерь общего урожая люцерны (1) и клевера (2) от потерь листовой части грубых кормов

Многие энергоемкие операции в предлагаемом варианте исключены из общей технологии:

$$\Theta_{\text{пр}} + \Theta_{\text{пог}} + \Theta_{\text{тр}} + \Theta_{\text{разм}} = 0,$$

где $\Theta_{\text{пр}}$, $\Theta_{\text{пог}}$, $\Theta_{\text{тр}}$, $\Theta_{\text{разм}}$ — энергоемкость процессов прессования, погрузки, транспортировки, разматывания рулонов.

Общая энергоемкость процесса измельчения грубых кормов $\Theta_{\text{ои}}$ снижена за счет равномерной подачи сена в измельчитель. Кроме того, из технологии заготовки измельченного сена исключены операции, при которых происходят потери листовой части сена:

$$П_{\text{лпр}} + П_{\text{лхр}} + П_{\text{лраз}} + П_{\text{лизм}} = 0.$$

Можно предположить, что общие потери листовой части в исключенных операциях должны быть намного больше, чем при транспортировке измельченного сена в кузове транспортного средства $П_{\text{лтр}}$:

$$П_{\text{лпр}} + П_{\text{лхр}} + П_{\text{лраз}} + П_{\text{лизм}} > П_{\text{лтр}}.$$

Теоретический анализ показал, что целесообразность предлагаемой технологии заготовки измельченного сена доказывается снижением ее энергоемкости и повышением качества заготовленных грубых кормов. Согласно экономическим расчетам, применение предлагаемой технологии по сравнению с существующими обеспечивает снижение удельных эксплуатационных затрат в 2–2,5 раза.

Для заготовки измельченного сена могут применяться существующие кормоуборочные комбайны, но при измельчении сухих грубых кормов они не расщепляют стебли вдоль волокон, что не соответствует зоотехническим требованиям. Такие комбайны предназначены для измельчения зеленой массы. При ее подаче к ножевому рабочему органу предусматривается уплотнение слоя несколькими парами вальцов, а для лучшей транспортировки измельченной массы используется ускоритель потока. Таким образом, кормоуборочные комбайны представляют собой сложные машины с высокими энергозатратами.

В 2012–2014 гг. по бюджетной программе № 212 МСХ РК разработан специальный подборщик-измельчитель кормов с шириной захвата 1,8 м. Он снабжен молотковым и ножевым рабочими органами, которые обеспечивают эффективное измельчение сухих и влажных грубых кормов, а также новым подбирающим механизмом, обеспечивающим подбор сена без беговой дорожки, роликов, кривошипов и подшипников в отличие от существующих кормоуборочных комбайнов [4, 5].

В конструкции разработанного подборщика-измельчителя кормов (рис. 4) предусмотрен шнек для транспортировки и сбора массы, соответствующий по ширине подборщику. От шнека с помощью подпрессовывающего барабана и короткого ленточного транспортера масса подается к молотковой дробилке. В камере дробилки грубые корма измельчаются, и измельченный корм через дефлектор подается внутрь транспортного средства.

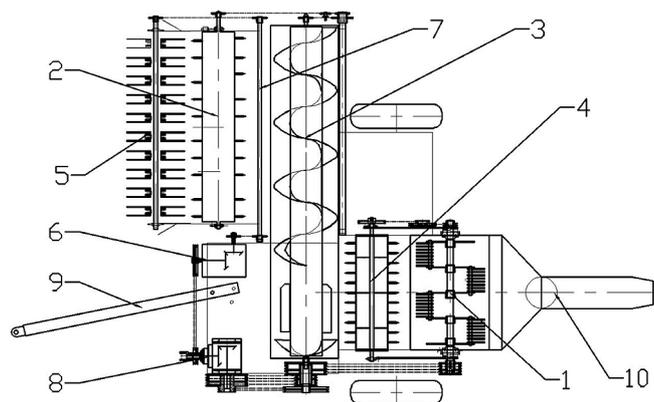


Рис. 4. Конструктивно-технологическая схема универсального подборщика-измельчителя кормов (вид сверху):

1 — молотковая дробилка; 2, 4 — подпрессовывающие барабаны; 3 — шнек; 5 — подбирающий барабан; 6, 8 — редукторы; 7 — вал; 9 — сница; 10 — дефлектор



Рис. 5. Производственные испытания подборщика-измельчителя на люцерне влажностью 15,7 %

В 2013—2014 гг. проведены экспериментальные исследования по обоснованию параметров подборщика-измельчителя, в результате которых определены его оптимальные параметры:

- скорость воздушного потока в дефлекторе 15 м/с;
- частота вращения подбирающего барабана 60 мин⁻¹;
- оптимальная производительность 8—9 т/ч;
- потери измельченных грубых кормов 1,83 %;
- энергоёмкость процесса измельчения грубых кормов 1,2—1,8 кВт · ч/т (при $W = 16...18$ %);
- энергоёмкость процесса измельчения влажной люцерны 2,43 кВт · ч/т (при $W = 50,4$ %).

Также уточнены теоретически определенные параметры подбирающего механизма и подпрессовывающих барабанов.

Производственные испытания подборщика-измельчителя проведены по ОСТ 10.8.2—2001 и 10.23.5—2003 на люцерне влажностью 15,7 % (рис. 5).

Во время испытаний производительность подборщика-измельчителя кормов находилась в пределах 4,4—5,2 т/ч. Анализ качества измельченного сена показал, что массовая доля частиц размером до 30 мм составила 87,3 %, частиц размером до 50 мм — 97,6 %, что соответствует зоотехническим требованиям.

Изготовление экспериментального образца универсального подборщика-измельчителя кормов позволило определить стоимость машины, а производственные испытания — ее действительную производительность. Проведены экономические расчеты по определению удельных эксплуатационных затрат при применении рулонной технологии и предлагаемой технологии заготовки измельченного сена с учетом действительной стоимости машин.

Общие удельные эксплуатационные затраты при применении рулонной технологии равны 875,98 руб/т, а при технологии заготовки измельченного сена — 438 руб/т, т.е. затраты снизились в 2 раза при сроке окупаемости 0,7 лет.

Во время проведения опытов и производственных испытаний подборщика-измельчителя нарушения технологических процессов и поломки рабочих органов не наблюдались.

Таким образом, опыты по обоснованию конструктивно-технологических параметров рабочих органов машины и ее производственные испытания, проведенные на разнотравье и люцерне, показали, что подборщик-измельчитель с молотковой дробилкой и новым подбирающим механизмом обеспечивает высокое качество заготовки измельченного сена и снижение эксплуатационных затрат.

Выводы

1. По результатам теоретических исследований предложено аналитическое выражение для определения потерь общего урожая, которые равноценны потерям листовой части кормов, т.е. разработан критерий для обоснования технологии заготовки грубых кормов.
2. Обоснована технология заготовки измельченного сена, исключающая операции, которые приводят к потерям листовой части трав.
3. Для осуществления предложенной технологии разработан подборщик-измельчитель кормов, обеспечивающий заготовку измельченного сена в соответствии с зоотехническими требованиями и снижение удельных эксплуатационных затрат в 2 раза по сравнению с рулонной технологией заготовки грубых кормов.

Литература и источники

1. Балгабаев М. А. Совершенствование технологического процесса прессования сена рулонным пресс-подборщиком, снижающим потери листьев и соцветий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Алматы, 2010. 22 с.
2. Киреев В. Н., Щеглов В. В., Игловиков В. Г. и др. Корма: справочная книга / Под ред. М. А. Смургина. М.: Колос, 1977. 367 с.
3. Абилжанулы Т. Кормоприготовительные машины для крестьянских хозяйств и других агроформирований: Учеб. пособие. Астана: Изд-во КазАТУ им. С. Сейфуллина, 2007. 200 с.
4. Абилжанулы Т., Доскенов М. Ж., Пшембаев М. К. и др. Дробильно-уборочное устройство корма для скота. Предпатент Республики Казахстан № 19961, 2007.
5. Абилжанулы Т., Абилжанов Д. Т. Разработка универсального подборщика-измельчителя кормов // Аграрная наука — сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана и Болгарии: Мат-лы XVII междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2014. С. 133—135.

References

1. Balgabaev M. A. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo protsessa pressovaniya sena rulonnym press-podborshchikom, snizhayushchim poteri list'ev i sotsvetiy* [Improvement of technological process of hay compaction by a round baler reducing the loss of leaves and inflorescences]. PhD in Engineering thesis abstract. Almaty, 2010, 22 p.
2. Kireev V. N., Shcheglov V. V., Iglovikov V. G. et al. *Korma: spravocnaya kniga* [Feed: reference book]. Under the editorship of M. A. Smurygin. Moscow, Kolos Publ., 1977, 367 p.
3. Abilzhanuly T. *Kormoprigotovitel'nye mashiny dlya krest'yan-skikh khozyaystv i drugikh agroformirovaniy* [Feed processing machines for farm enterprises and other agricultural formations]. Astana, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University Publ., 2007, 200 p.
4. Abilzhanuly T., Doskenov M. Zh., Pshembaev M. K., Kusainov R. K., Abilzhanov D. T. *Drobil'no-uborochnoe ustroystvo korma dlya skota* [Harvesting and crushing device for cattle feed]. Republic of Kazakhstan provisional patent no. 19961, 2007.
5. Abilzhanuly T., Abilzhanov D. T. Development of a universal pick-up chopper. *Agrarnaya nauka — sel'skokhozyaystvennomu proizvodstvu Sibiri, Mongolii, Kazakhstana i Bolgarii. Mat-ly XVII mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Agricultural science — to the agricultural production of Siberia, Mongolia, Kazakhstan and Bulgaria. Proc. of the XVII int. sci. and pract. conf.]. Novosibirsk, 2014, pp. 133—135 (in Russ.).