

УДК 631.352

DOI 10.33814/AFP-2222-5366-2026-2-61-83

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОРМОВЫХ ТРАВ

С. А. Отрошко, кандидат сельскохозяйственных наук

А. В. Шевцов, кандидат технических наук

В. М. Косолапов, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук

*ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»,
141055, Россия, Московская область, г. Лобня, ул. Научный городок, корп. 1
osa.granit@yandex.ru*

TO A QUESTION OF A SUBSTANTIATION CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETRES OF WORKING TOOLS FOR CONDITIONING OF FODDER GRASSES

S.A. Otroshko, Candidate of Agricultural Sciences

A.V. Shevtsov, Candidate of Technical Sciences

V.M. Kosolapov, Academician of the Russian Academy of Sciences,
Doctor of Agricultural Sciences

*Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology
141055, Russia, Moscow region, Lobnya, Nauchnyi gorodok str., k. 1
osa.granit@yandex.ru*

Повышение качества объемистых кормов в виде сена, сенажа и силлажа из многолетних трав за счет максимального сохранения биологической ценности зеленой растительной массы и повышения энергетической питательности до 9,8 МДж обменной энергии (ОЭ) в расчете на 1 кг сухого вещества при содержании сырого протеина 13 % является главной задачей кормопроизводства. Однако традиционные технологии их заготовки несовершенны и сопровождаются высокими потерями питательных веществ, связанными с длительностью обезвоживания, ускорение которого осуществляют разными способами. В настоящее время в сельскохозяйственном производстве для ускорения полевой сушки трав применяются: равномерная укладка скошенных растений в расстил, многократное ворошение, валкование и оборачивание валков. Эффективным является прием кондиционирования трав бильными или плющильными рабочими органами, увеличивающими площадь их испаряющей поверхности. Однако их использование ведет к увеличению массы косилок, усложнению их конструкций и удорожанию. В этой связи разработка простого по конструкции кондиционирующего устройства динамического действия, обеспечивающего ускорение их проявлявания и заготовку высококачественных объемистых кормов в сжатые сроки, является актуальной и требует безотлагательного решения.

Ключевые слова: макетный образец, кондиционер, рабочие органы, люцерна, повреждения, фракции, испаряющая поверхность, конструктивные и технологические параметры, проявлявание.

Improvement of quality of voluminous forages in the form of hay, haylage and drying silage from perennial grasses at the expense of the maximum preservation of biological value of green vegetative mass and increase its energy content to 9.8 MJ of exchange energy per 1 kg of dry matter, with a crude protein content of 13% is the main task of feed production. However traditional technologies of their preparation are not perfect and result in high nutrient losses due to the prolonged dehydration process, which can be accelerated using various methods. Currently, agricultural production uses the following methods to accelerate the field drying of grasses: uniform laying of cut plants on the ground, repeated turning, rolling, and turning of the rolls. The use of conditioning tools, such as beating or flattening devices, which increase the evaporation surface area of the grasses, is also effective. However, their use leads to an increase in the mass of mowers, complicates their designs, and increases their cost. In this regard, the development of a simple-design dynamic-action conditioning device that accelerates their drying and allows for the production of high-quality voluminous forages in a short time is an urgent and necessary solution.

Keywords: model sample, conditioner, working tools, alfalfa, damages, fractions, evaporating surface, constructive and technological parameters, drying.

Состояние вопроса. Для ускорения проявлявания скошенных трав на сено и сенаж традиционно используются различные технологические приемы: укладка в расстил скошенных растений на поверхности поля равномерным, хорошо продуваемым, рыхлым слоем, многократное ворошение, валкование и оборачивание валков [1; 2].

Ведущие предприятия России и Беларуси предлагают широкий ассортимент роторных граблей-ворошилок. Это «ГВР-6Р» производства ОАО «Бежецксельмаш»; «ГРР-3,6», «ГВД-1-Ф-6» (ОАО «Людиновский машиностроительный завод»); «ГВР-420», «ГВР-630», «ГР-700 Каскад» (ОАО «Бобруйскагромаш») и др.

Широкое распространение получили и зарубежные специализированные ротационные грабли и ворошилки [3]. Среди них ротационные грабли «ТААРУР 9076С», «ТААРУР 9178С-9184С», «ТААРУР 91150С» (Дания), ворошилки «GF 5001Т», «GF 5001 ТНА», «GF 7001 Т»; валкообразователи «GA 4321GM» (фирма «KUHН», Франция), ворошилки серии «VOLTO» 45, 52, 64, 75Т, 770, 770 Т, 870, 870 Т, 1050 Т, 1320 Т; валко-

ватели «LINER» 2600, 2700, 2800, 2900 фирмы («CLAAS», Германия) и др.

Однако даже полностью обеспеченное имеющейся кормозаготовительной техникой в оптимальном наборе и в экономически оправданном количестве хозяйство при применении традиционных технологий может провести заготовку кормов качественно и в технологически обоснованные сроки только части посевов трав.

Быстрому увяданию травы в полевых условиях также способствует нестандартная укладка массы в рыхлые валки, применение различных устройств для кондиционирования и мацерации растений с образованием травяных матов, повторного плющения стеблей скошенных трав и т. п.

Одним из способов ускорения полевой сушки скашиваемых трав является разуплотнение образуемых при скашивании трав валков и различные приемы укладки их на стерню.

В саратовском институте механизации сельского хозяйства имени М. И. Калинина с целью образования валка шатрообразной формы с размещением в нем стеблей комлевой частью

вверх разработано специальное приспособление к косилкам-плющилкам [4], содержащее направлятели стеблей, установленные по обеим сторонам плющильных валцов.

Подобное устройство защищено авторским свидетельством № 651746 [5]. В нем формирующее устройство выполнено в виде треугольной призмы, по обеим сторонам которой установлены с возможностью вращения вокруг осей пальцевые стеблеукладчики.

Известен способ подготовки кормовых растений к сушке [6], включающий плющение растений и их укладку в валок с размещением в нем стеблей комлевой частью вверх. Плющению подвергают только комлевою часть растений.

Известен способ уборки трав [7], включающий скашивание растений с их плющением, формирование валка скошенной массы, его укладку на гибкую перфорированную ленту, предваритель-

но расстилаемую на стерне и последующую сушку.

В патентной литературе имеются сведения о способе уборки стеблевых культур и устройстве для его осуществления [8], содержащем валцы, которые «гофрируют» стебли и укладывают на землю в виде «гофрированной» ленты.

Известен способ уборки сельскохозяйственных культур [9], обеспечивающий быстрое их провяливание в полевых условиях путем формирования из потока скошенных растений цилиндрической спирали диаметром 0,5–1,0 м с горизонтальной вентиляционной полостью.

Для образования вспушенного валка с вентиляционным каналом применяется косилка-плющилка [10], снабженная установленным за нижним плющильным валцом битером-активатором с конусом в центральной части (рис. 1), диаметр которого в 1,5 раза превышает диаметр цилиндрической части.

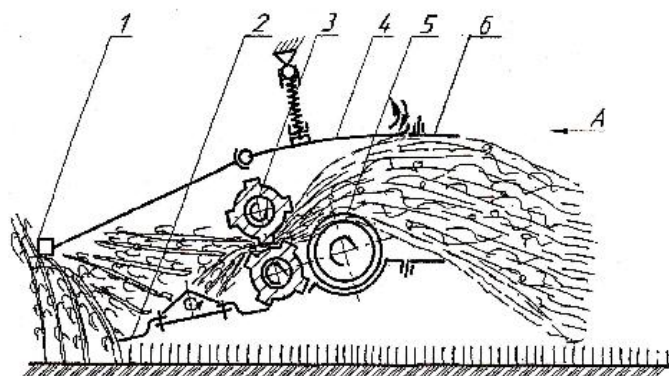


Рис. 1. Косилка-плющилка с устройством для формирования вспушенного валка с вентиляционным каналом: 1. заламывающий брус; 2. ротационный режущий аппарат; 3. плющильные валцы; 4. верхний щит; 5. битер-активатор; 6. задние щиты [10]

Интенсифицировать процесс полевой сушки и снизить потери питательных веществ в зеленой массе возможно за счет применения устройства для

уменьшения плотности валка [11], расположенного за плющильными валцами самоходной косилки и содержащего подающий транспортер и установлен-

ный за ним шнек, выполненный с двумя участками, имеющими взаимно противоположные направления навивки для увеличения ширины валка.

Однако, несмотря на разнообразие применяемых специальных устройств для снижения плотности образуемых после скашивания трав валков и укладки их на стерню, они не нашли широкого применения в производстве.

Эффективным приемом, позволяю-

щим ускорить процесс влагоотдачи скошенной массы, является кондиционирование — динамическое воздействие на стебли трав вальцовыми или бильно-дековыми устройствами, устанавливаемыми на косилки, как правило, ротационные. Для снижения механических потерь бильно-дековые кондиционеры применяются в основном для обработки злаковых трав, вальцовые плющилки — для бобовых (рис. 2).



а)



б)



в)

Рис. 2. Кондиционеры динамического действия фирмы KRONE, Германия (<https://www.krone-rus.ru/katalog-produkcii/diskovye-kosilki/easycut-f>): а) бильно-дековый; б) вальцовый с полиуретановыми вальцами; в) вальцовый с эффектом зубчатого зацепления M-Rolls со стальным профилем [12]

Несмотря на большое разнообразие кондиционирующих устройств, обеспечивающих ускорение провяливания трав в поле, следует учитывать, что они

сложны по конструкции, дорогостоящи и материалоемки.

Во второй половине 80-х годов прошлого столетия начаты исследования по

разработке суперкондиционеров, которые растирают и дробят растения до появления сока с последующим прессованием их в маты толщиной около 6 мм. Сушка такой массы на сено кондиционной влажности (17 %) рассчитана на четыре–шесть часов. Первые исследования по разработке способа суперкондиционирования проведены в США [13–16]. Затем подробные исследования проведены в Канаде [17; 18], Германии [19], Турции [20], Японии [21].

Несмотря на быструю сушку массы суперкондиционирование пока не нашло применения, главным образом из-за неустойчивости матов от воздействия дождя. Однако в степных районах, отличающихся сухой жаркой погодой, суперкондиционирование может иметь практическое значение.

Важным направлением в процессе ускорения провяливания кормовых трав является использование различных плющильных устройств, устанавливаемых на различных косилках и стационаре.

Анализ научно-технической литературы и патентной документации показал, что плющильные вальцы могут быть гладкими, ребристыми, штифтовыми или шевронными. Гладкие вальцы обеспечивают требуемую полноту плющения при минимальном отрыве и потере листьев. В ребристых и штифтовых вальцах ребра (штифты) одного вальца проходят между ребрами (штифтами) другого. Наиболее широко распространены устройства шевронного типа.

На качество плющения и динамику влагоотдачи влияют давление между вальцами, материалы, форма поверхности, диаметр и окружная скорость вальцов.

Известна косилка-плющилка [22], содержащая раму с установленными на ней параллельно друг другу режущим и плющильным вальцевым аппаратами и расположенную между ними направляющую растения доску. Режущий аппарат установлен подвижно относительно плющильного аппарата и соединен с плющильным посредством гидроцилиндров. Направляющая растения доска с одной стороны шарнирно установлена на корпусах гидроцилиндров, соединяющих режущий аппарат с плющильным, а с другой — опирается на нижний валец плющильного аппарата.

Однако данное устройство не может обеспечить полноты плющения стеблей растений вдоль волокон.

Известна косилка-плющилка [23], включающая ротационный режущий аппарат и несколько пар плющильных вальцов, которые установлены под углом один к другому и к горизонтальной плоскости. Плющильные вальцы данного устройства лучше проплющивают скашиваемые растения, однако при высоких урожайностях травостоя не могут обеспечить высокое качество плющения.

Добиться повышения качества заготавливаемых объемистых кормов в виде силлажа, сенажа и сена возможно за счет разрушения стеблей предельным расщеплением.

Так, например, известен способ заготовки сена [24], включающий скашивание травостоя, механическое разрушение стеблей, их провяливание в прокосах с ворошением, подбор с поля и последующее досушивание подогретым воздухом.

Траву скашивают косилкой КС-2,1. При провяливании до влажности 59–

66 % проводят двукратное ворошение, затем подвяленную массу подбирают зерноуборочным комбайном, оборудованным расщепляющим рабочим органом. Такая обработка позволяет ускорить процесс последующего досушивания стеблей в три–пять раз. В способе достигается предельное расщепление стеблей, однако он трудозатратен.

Известен измельчитель длинноволокнистых материалов [25], включающий встречно вращающиеся валы с радиальными ножами, имеющими противорезающие элементы, взаимодействующие с ножами другого вала, рабочие органы которого могут быть применены для тщательного механического разрушения стеблей трав.

Одним из таких устройств является измельчитель растительного материала [26], содержащий два встречно вращающихся барабана, на которых смонтированы радиальные ножи.

Заслуживает внимание устройство для измельчения растительного сырья [27], содержащее бункер и измельчающий механизм, состоящий из двух приводимых во встречное вращение горизонтально расположенных барабанов, несущих ножевые элементы.

Интересна конструкция измельчителя грубых кормов [28], содержащая корпус с загрузочной и выгрузной горловинами, установленные в нем в двух ярусах горизонтальные валы с закрепленными на них рабочими органами, которые на паре валов нижнего яруса расположены радиально. В верхнем ярусе установлена пара валов, рабочие органы которых выполнены в виде тангенциально закрепленных стержней,

при этом все валы смонтированы с возможностью вращения по направлению от соседнего в ярусе вала к боковой стенке корпуса. Закрепленные на валах нижнего яруса рабочие органы выполнены в виде ножей, торцевые поверхности которых наклонены в сторону, противоположную направлению вращения вала.

Рабочие органы косилки-измельчителя эшелонированного резания [29] также могут быть использованы для обеспечения полного плющения трав с расщеплением стеблей. Данное устройство содержит раму, вертикальные приводные оси с установленными на них в несколько ярусов ротационными дисками с режущими элементами. Указанные ротационные диски установлены с убыванием их диаметра от верхнего яруса к нижнему.

Оригинальными являются рабочие органы устройства для транспортировки и измельчения кормов [30], представленные на рис. 3. В данном устройстве повышается степень измельчения кормов за счет наличия дополнительных режущих кромок, которыми снабжены вкладыши и зубья шестерен. Подобные рабочие органы могут осуществлять предельное расщепление стеблей растений и увеличение площади их испарительной поверхности.

Применение нескольких пар плющильных вальцов также может способствовать увеличению испаряющей поверхности стеблей, приближающуюся к поверхности листьев растений. Такое техническое решение присутствует в устройстве для отжима сока из стеблей растений кормоуборочной машины [31] (рис. 4).

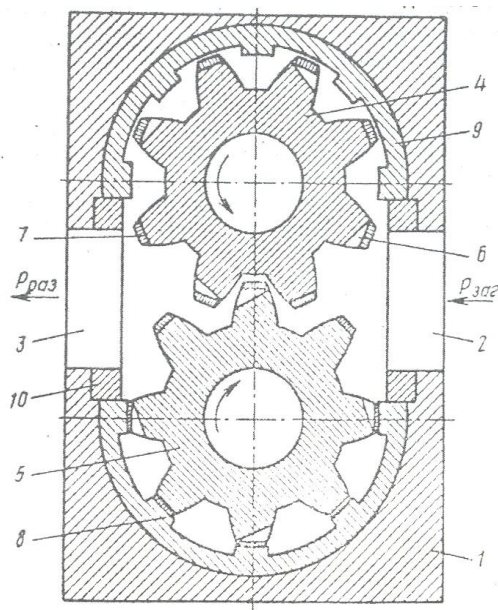


Рис. 3. Вид сбоку на устройство для транспортировки и измельчения кормов [30]

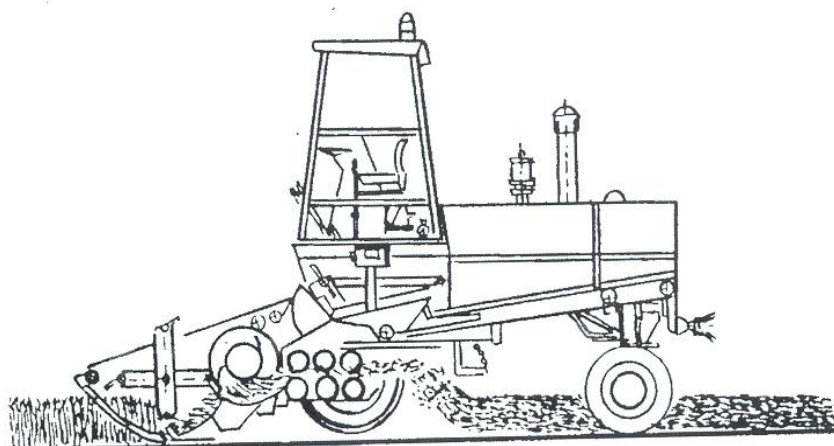


Рис. 4. Кормоуборочная машина с устройством для отжима сока из стеблей растений [31]

Известно устройство для плющения кормовых материалов [32], содержащее два установленных параллельно друг другу вальца, поверхность каждого из которых выполнена в виде периодически расположенных по периметру кольцевых выступов и впадин, при этом выступы одного вальца размещены во впадинах другого и в продольном сечении вальцов каждый выступ и каждая впадина имеют трапецеидальную форму. Вальцы относительно друг друга уста-

новлены с образованием между ними постоянного по всей их длине рабочего зазора (рис. 5).

М. Н. Ермолаев предлагает для продольного расщепления стеблей устройство для обработки растений [33], содержащее подающий механизм и механизм плющения с верхним и нижним вальцами, причем последний выполнен в виде жестко смонтированных по длине вальца усеченных конусов, сопрягающихся друг с другом одноименными

основаниями. Верхний валец снабжен жестко закрепленными на его поверхности по всей длине зубьями, которые выполнены трехгранными, причем боковые грани каждого из них расположены

под острым углом, а образуемое ими ребро выполнено дугообразным. Верхний валец выполнен в виде смонтированных на торцевых дисках продольных планок.

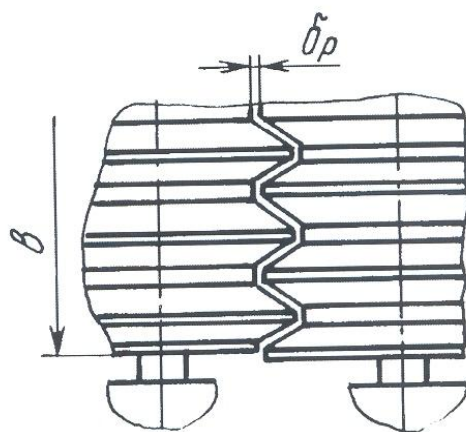


Рис. 5. Вид сверху на плющильные вальцы

Расщепление вдоль волокон предварительно измельченной растительной массы осуществляется рабочими органами в устройстве для обработки растений [34]. Устройство содержит горизонтально установленные параллельные вальцы в виде последовательно соединенных между собой одноименны-

ми основаниями конусов с расположенными на их поверхности по касательной к меньшим основаниям прямолинейными рифлями (рис. 6). Последние ориентируют захватываемые зубьями стебли растений вдоль направления подачи и расщепляют их вдоль волокон.

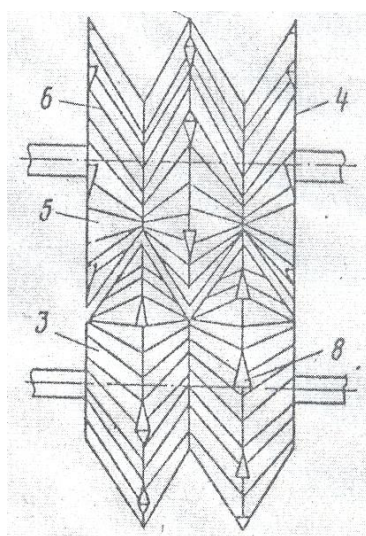


Рис. 6. Вид сверху на рабочие органы устройства для обработки растений [34]

Для форсирования полевой сушки в последние годы применяются технические средства для повторного плющения подвяленных трав. Одной из таких машин является рекондиционер ReCon 300 канадской компании «Ag Shild», который обеспечивает подбор, повторное плющение и оборачивание валков скошенных трав. Машина содержит ребристые плющильные вальцы и установленные на раме смесители-дефлекторы, которые перемещают обработанный вальцами валок в сторону и укладывают его на сухое место [35].

В Великолукской государственной сельскохозяйственной академии разработан опытный образец устройства для повторного плющения стеблей скошенных трав [36–38]. Плющильный аппарат разработанной машины состоит из двух вальцов с закрепленными на их поверхности резиновыми бичами. Подбор растительной массы и ее подача в зону плющения осуществляется механизмом периодического выноса пальцев в двух взаимно перпендикулярных диаметральных плоскостях, расположенном в нижнем плющильном вальце. Движение пальцев механизма подбора складывается из поступательного движения вместе с машиной и вращательного вместе с плющильным вальцом, что обеспечивает подъем скошенной травяной массы с поля и подачу материала в зону плющения.

В Беларуси выполнен комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке устройства для повторного плющения и вспушивания скошенных трав. Новая разработка имеет марку УПВТ-4 [39]. Для ускорения процесса влагоотдачи

скошенных трав устройство комплектуется плющильными адаптерами: аппаратом плющильным и кондиционером бильно-дековым с валкообразователями. Устройство УПВТ-4 агрегатируется с тракторами класса 1,4, имеющими вал отбора мощности с частотой вращения 1000 мин^{-1} .

Применение устройств для повторного плющения скошенной массы, проявляемой в валках, хотя и обеспечивает ускорение проявливания и улучшение качества заготавливаемых объемистых кормов, тем не менее ведет к увеличению экономических и энергетических затрат.

Таким образом, анализ научно-технической литературы показал, что наиболее приемлемыми рабочими органами для кондиционирования растений с расщеплением стеблей вдоль волокон являются валы, вращающиеся навстречу друг другу, с рядами рабочих органов в виде ножей, бил, дисков, зубчатых колес с рифлями, установленных радиально с определенным шагом на их поверхности и зазорами между рабочими элементами и поверхностями валов.

Методика исследований. В ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» разработан макетный образец кондиционера в двух вариациях для ускорения проявливания в поле кормовых трав, конструктивно отличающийся от применяемых на практике в нашей стране и за рубежом. И в первом и во втором вариантах кондиционер снабжен двумя роторами, на валах которых расположены билы, вращающиеся навстречу друг другу с разной частотой вращения. Роторы с билами расположены на раме экспериментальной установки горизонтально и ка-

ждый из них имеет независимый привод.

Для определения параметров и режимов работы макетного образца кондиционера использовали люцерну изменчивую, желто-гибридный сортотип, селекционный номер ТБ 10 второго укоса в фазе бутонизации.

Урожайность люцерны в поле, состав травостоя, его высоту, а также фазу развития растений устанавливали в соответствии с «Методическими указаниями по проведению полевых опытов с кормовыми культурами» [40].

При проведении исследований в лабораторных условиях, на ленту транс-

портера экспериментальной установки, движущуюся с поступательной скоростью 1 м/с, укладывали хаотично люцерну массой 3 кг, что соответствовало пропускной способности 3 кг/с разработанного макета кондиционера.

В опытах также определяли площадь испаряющей поверхности обработанных растений люцерны (согласно разработанной в ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» методики [41]) по отношению количества жидкого вещества (мыльный раствор), удерживаемого на поверхности любого из исследуемых образцов, к его количеству на 1 см² листа по формуле:

$$\text{ИП} = \frac{\text{МО} - \text{СО}}{\text{Р}},$$

где: ИП – площадь испаряющей поверхности, см²;

МО – масса мокрого (смоченного мыльным раствором) образца, г;

СО – масса сухого (не смоченного) образца, г;

Р – масса мыльного раствора, удерживаемого на 1 см² листа, г/см².

Определение повреждений стеблей растений в образцах массой по 100 г проводили визуально. Для распределения отрезков поврежденных стеблей по фракциям использовали линейку с ценой делений от 0 до 1000 мм.

Взвешивание исследуемых образцов и фракций поврежденных стеблей растений, а также сухих и смоченных в мыльном растворе целых растений с поврежденными и неповрежденными стеблями осуществляли на электронных весах МИДЛ стандарт МТ6В1ДА (1/2; 230×320) ТУ 4274-012-56692889-2012 производства ООО «МИДЛ и К». Взвешивание листовых пластинок проводили на электронных весах E10640 Explorer OHAUS.

Провяливание образцов люцерны — необработанных (контроль) и обработанных инновационными кондиционирующими рабочими органами массой по 1000 г проводили в динамике в соответствии с ГОСТ 28722-90 [42], «Методикой полевых опытов по провяливанию и сушке трав на сено и сенаж» [43] и методическим рекомендациям «Проведение опытов по консервированию и хранению объемистых кормов» [44].

Отбор проб на влажность осуществляли в соответствии с ГОСТ 27262-87 [45].

Образцы высушивали в термощкафу при температуре 100–105 °С до постоянного веса в соответствии с ГОСТ 27548-87 [46].

Результаты исследований и их об-суждение. В лаборатории механизации кормопроизводства ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» разработан макетный образец кондиционера с новыми конструктивно-технологическими решениями для интенсификации полевой сушки скошенных кормовых трав, обеспечивающий увеличение испаряющей поверхности стеблей, приближающуюся к поверхности листьев растений.

Макетный образец кондиционера разработан в двух вариациях, конструктивно отличающихся от применяемых на практике в нашей стране и за рубежом

устройств, обеспечивающих ускорение провяливания кормовых трав в поле. В первом варианте (рис. 7) кондиционер представляет собой два вала с билами, жестко закрепленными на поверхности роторов по касательной, вращающимися навстречу друг другу с разной частотой вращения. Роторы с билами расположены на раме экспериментальной установки горизонтально и каждый из них имеет независимый привод (рис. 8). Мощность каждого приводного электродвигателя составляет 3 кВт. Рабочая зона вращающихся навстречу друг другу роторов составляет 800 мм.

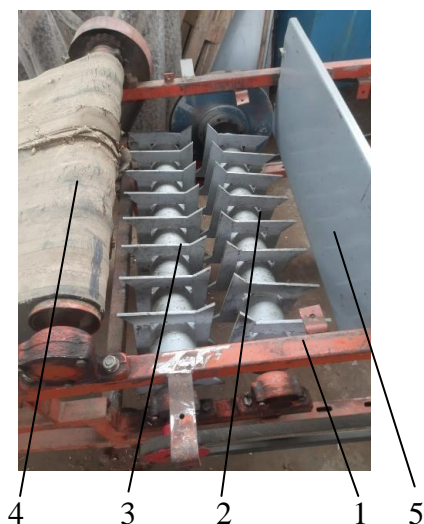


Рис. 7. Макетный образец кондиционера с инновационными билами — первый вариант конструктивного исполнения:

1 – рама, 2 – тихоходный вал, 3 – быстроходный вал, 4 – подающий транспортер, 5 – щиток

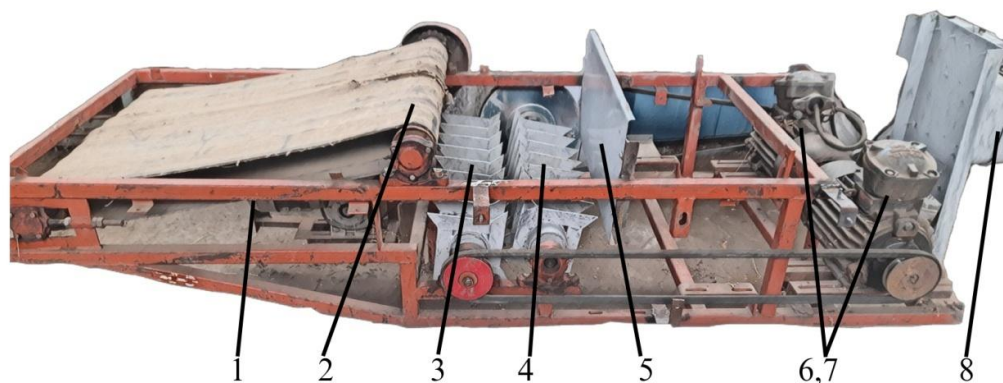


Рис. 8. Экспериментальная установка: 1 – рама, 2 – подающий транспортер, 3 – быстроходный вал, 4 – тихоходный вал, 5 – щиток, 6–7 – электродвигатели, 8 – щит управления

Билы тихоходного ротора (восемь концентрических рядов по четыре штуки) расположены между билами быстроходного ротора (девять концентрических рядов по четыре штуки) на расстоянии 40 мм друг от друга, а их торцы — от поверхности каждого противоположного вала на расстоянии 12 мм.

Диаметр роторов по концам бил составляет 300 мм. Билы представляют собой четыре пластины из полосы прямоугольного сечения, каждая из которых снабжена прямым торцом с одной стороны и заостренным под углом 45° с другой, сваренных между собой таким образом, что внутри образуется квадратное отверстие с четырьмя радиусными выемками, которые позволяют жестко закреплять билы в сборе на концентрических окружностях, выполненных

на поверхности тихоходного и быстроходного валов на определенном расстоянии друг от друга вдоль их осей, причем обработка трав производится тупыми прямоугольными рабочими кромками удлиненной части каждой полосы каждого била.

Второе конструктивно-технологическое решение (рис. 9) отличается от первого тем, что на концентрических окружностях валов кондиционера жестко закреплены радиально билы из полосы прямоугольного сечения (по четыре штуки). Билы тихоходного вала (13 рядов по четыре штуки) расположены между билами быстроходного (14 рядов по четыре штуки) на расстоянии 20 мм друг от друга, а их торцы от поверхности каждого противоположного вала — на расстоянии 10 мм. Диаметр роторов по концам бил составляет 280 мм.

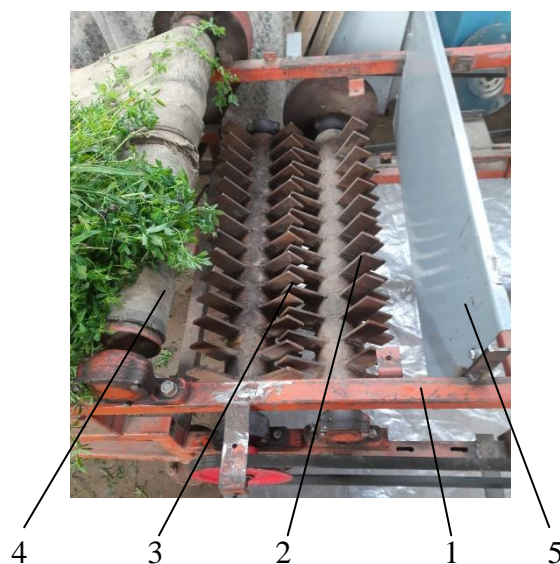


Рис. 9. Макетный образец кондиционера с инновационными билами — второй вариант конструктивного исполнения: 1) рама; 2) тихоходный вал; 3) быстроходный вал; 4) подающий транспортер; 5) щиток

Подача растительной массы к обрабатывающим рабочим органам осуществляется наклонным транспортером,

поступательная скорость полотна которого составляет 1 м/с, что соответствует скорости движения косилки в поле, рав-

ной 3,6 км/ч. Ширина полотна транспортера составляет 800 мм, длина — 1000 мм. Привод полотна подающего транспортера осуществляется от мотор-редуктора мощностью $N = 1,1$ кВт; $n = 1390$ об/мин и передаточным отношением 1 : 7.

Проведены исследования по определению режимов работы двух вариантов разработанного кондиционера при варьировании частот вращения быстроходного и тихоходного вала, об/мин: 1450/500, 1100/500, 700/500, 1100/700. Для этого использовали шкивы диамет-

ром 390; 215; 190 и 125 мм.

В опытах использовали желто-гибридный сортотип люцерны изменчивой ТБ 10 второго укоса в фазе бутонизации с урожайностью 232 ц/га. Средняя высота растений люцерны составила 62 см, облиственность — 32 %, исходная влажность — 75,6 %.

После пропуска люцерны через новые разработанные кондиционирующие рабочие органы определяли площадь испаряющей поверхности обработанных и необработанных (контроль) растений люцерны (таблица).

Определение площади испаряющей поверхности травянистой массы люцерны изменчивой, желто-гибридного сортотипа ТБ 10, обработанной билами первого варианта конструктивного исполнения (рис. 7)

Варианты обработки растений люцерны	Вес сухих образцов, г	Вес образцов, смоченных мыльным раствором, г	Вес влаги, удерживаемой смоченными растениями, г	Площадь испаряющей поверхности смоченного образца, см ²
Без обработки (контроль)	100	122,5	22,5	3462
1-й вариант валов				
500/1450 об/мин	100	126	26	4000
500/1100 об/мин	100	124	24	3692
500/700 об/мин	100	122	22	3308
700/1100 об/мин	100	125	25	3846
Количество влаги, удерживаемое 1 см ² листовой пластинки	0,0065			

Данные таблицы свидетельствуют о том, что наибольшая площадь испаряющей поверхности (4000 см²) обеспечивается при соотношении скоростей вращения тихоходного и быстроходного валов 500/1450 об/мин. Близким (3846 см²) является вариант с соотношением скоростей 700/1100 об/мин. Наименьшая площадь испаряющей поверхности (3308 см²) наблюдалась при соотношении скоростей вращения

500/700 об/мин, что, вероятно, связано с частичным отрывом листовых пластинок во время обработки массы, но ее значение было близким к контрольному образцу.

Обработанную зеленую массу люцерны (образцы по 100 г) после пропуска через рабочие органы двух вариантов макетного образца кондиционера разбирали по фракциям и определяли количество повреждений стеблей.

Оптимальный вариант обработки зеленой массы люцерны разными рабочими органами макетного образца кондиционера (рис. 7; рис. 9) определяли при варьировании частот вращения тихоходного и быстроходного валов, об/мин: 500/1450; 500/1100; 500/700; 700/1100.

Разбор образцов обработанных растений люцерны проводили с учетом средней длины ее стеблей ($l_{cp} = 62$ см), а обработанные растения распределяли по следующим фракциям, см: 0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50; 50–60, 60–70, выше 70.

Вариант 1 (рис. 7, конструктивное исполнение кондиционера 1) частота вращения тихоходного вала — 500, быстроходного — 1450 об/мин.

После пропуска зеленой массы люцерны через рабочие органы в ворохе наблюдалось наличие листовых пластинок, оторванных от стеблей.

Анализ полученных фракций показал, что при таком соотношении скоростей вращения $W_{т. вала}/W_{б. вала} = 500/1450 = 1/3$ во фракции 0–10 см наблюдалось 1,0 % стеблей; 10–20 см — 1,0 %; 20–30 — 1,0 %. Стебли интенсивно повреждены во фракциях: 30–40 см (фракция составляет 25,7 %), 40–50 см (34,5 %) и 50–60 см (26,7 %). На поврежденные стебли во фракции 60–70 см приходится 10,1 %.

Практически на всех стеблях длиной свыше 30 см наблюдаются изломы и расщепления. Количество повреждений во фракции 30–40 см колеблется от одного до 13 шт. на каждом стебле и составляет 85 шт.; 40–50 см — от одного до 12 шт. и составляет в среднем 76 шт.; 50–60 — от одного до восьми штук и составляет 32 шт.; 60–70 — от двух до

семи и составляет 27 шт. Общее количество повреждений на стеблях во фракциях от 30 до 70 см составляет 205 шт.

Вариант 2 (рис. 7, конструктивное исполнение кондиционера 1) частота вращения тихоходного вала — 500 быстроходного — 1100 об/мин.

После пропуска зеленой массы люцерны через рабочие органы в ворохе наблюдалось несколько меньшее количество листьев, оторванных от стеблей по сравнению с первым вариантом (500/1450 об/мин).

Анализ полученных фракций показал, что при таком соотношении скоростей вращения $W_{т. вала}/W_{б. вала} = 500/1100 = 1/2,2$ во фракции 0–10 см наблюдалось 0,5 % стеблей, 10–20 см — 0,5 %, 20–30 — 2,5 %. Стебли интенсивно повреждены во фракциях: 30–40 см (фракция составляет 18,3 %); 40–50 см (28,5 %) и 50–60 см (24,4 %). На поврежденные стебли во фракции 60–70 см и выше 70 приходится соответственно 15,7 и 9,6 %.

Практически на всех стеблях длиной свыше 30 см наблюдаются изломы и расщепления. Количество повреждений во фракции 30–40 см колеблется от одного до восьми шт. на каждом стебле и составляет 32 шт.; 40–50 см — от одного до девяти шт. и составляет 82 шт.; 50–60 см — от одного до 6 шт. и составляет 24 шт.; 60–70 см — от пяти до 10 и составляет 36 шт.; выше 70 см — 5,5 шт. Общее количество повреждений на стеблях во фракциях от 30 до 70 см составляет 174 шт.

Вариант 3 (рис. 7, конструктивное исполнение кондиционера 1) частота вращения тихоходного вала — 500, быстроходного — 700 об/мин.

После пропуска зеленой массы люцерны через рабочие органы в ворохе наблюдалось немного свободных листьев.

Анализ полученных фракций показал, что при таком соотношении скоростей вращения $W_{т. вала}/W_{б. вала} = 500/700 = 1/1,4$ во фракции 0–10 см наблюдалось 0,5 % стеблей; 10–20 см — 1,6 %; 20–30 — 1 %. Стебли интенсивно повреждены во фракциях: 30–40 см (фракция составляет 9,4 %); 40–50 см (24,1 %) и 50–60 см (43,5 %). На поврежденные стебли во фракциях 60–70 см и выше 70 приходится соответственно 13,1 и 6,8 %.

Практически на всех стеблях длиной выше 30 см наблюдаются изломы и расщепления. Количество повреждений во фракции 30–40 см колеблется от двух до 13 шт. на каждом стебле и составляет 19 шт.; 40–50 см от одного до 20 шт. и составляет 28 шт.; 50–60 — от одного до 10 шт. и составляет 69 шт.; 60–70 — от трех до семи и составляет 22 шт. Общее количество повреждений на стеблях во фракциях от 30 до 70 см составляет 138 шт.

Вариант 4 (рис. 7, конструктивное исполнение кондиционера 1) частота вращения тихоходного вала — 700, быстроходного — 1100 об/мин.

Пропускная способность рабочих органов при таких оборотах значительно увеличилась. Свободных листьев визуально не наблюдалось.

Анализ полученных фракций показал, что при таком соотношении скоростей вращения $W_{т. вала}/W_{б. вала} = 700/1100 = 1/1,6$ во фракции 0–10 см не наблюдалось стеблей; 10–20 см — 1,5 %; 20–30 — 5,1 %. Стебли интенсивно повреждены во фракциях: 30–40 см (фракция составляет 12,1 %); 40–

50 см — 15,7 % и 50–60 см — 24,2 %. На поврежденные стебли во фракциях 60–70 см и выше 70 приходится соответственно 30,8 и 10,6 %.

Практически на всех стеблях длиной свыше 30 см наблюдаются изломы и расщепления. Количество повреждений во фракции 30–40 см колеблется от двух до 12 шт. на каждом стебле и составляет 61 шт.; 40–50 см — от двух до 12 шт. и составляет 73 шт.; 50–60 — от трех до 10 шт. и составляет 40 шт.; 60–70 — от трех до семи и составляет 31 шт. и выше 70 — 22 шт. Общее количество повреждений на стеблях во фракциях от 30 до 70 см составляет 205 шт.

Разбор обработанной люцерновой массы по фракциям с определением повреждений стеблей во всех исследованных вариантах (с первого по четвертый) показал, что стебли наиболее интенсивно повреждены во фракциях: 30–40, 40–50, 50–60 см при соотношении скоростей вращения тихоходного и быстроходного валов 500/1450 об/мин. Поэтому есть все основания полагать, что эти результаты будут способствовать ускорению проявлявания обработанной люцерновой массы.

Эффективность работы инновационного кондиционера первого конструктивного исполнения определяли по скорости сушки обработанных образцов в сравнении с контролем. Полученные результаты представлены на графике (рис. 10).

Погодные условия были неоптимальными для проявлявания: переменная облачность, температура воздуха около 18 °С, скорость ветра в среднем составляла около 6 м/с, ветер северный, относительная влажность воздуха около 60 %.

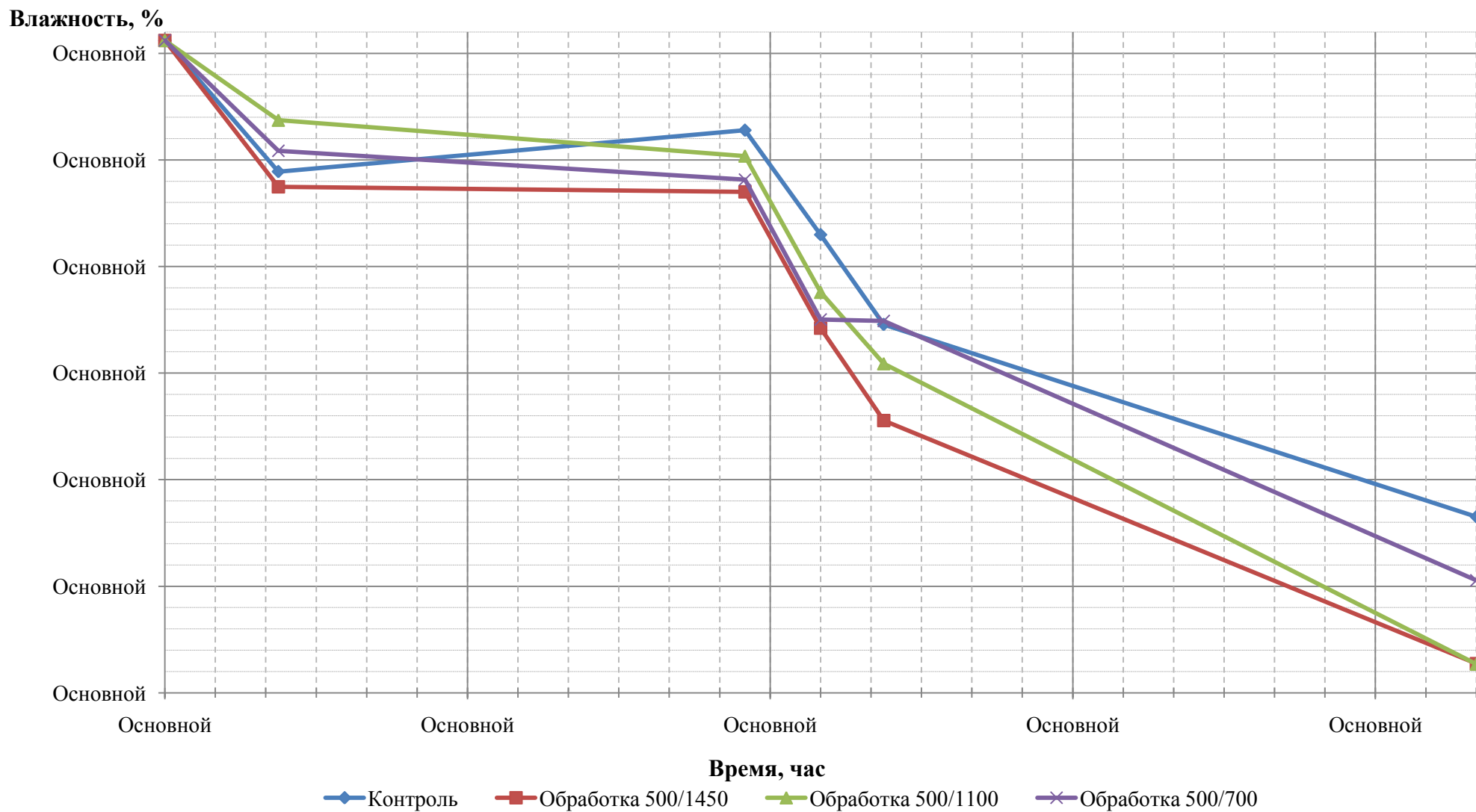


Рис. 10. Динамика сушки люцерны желто-гибридного сортотипа ТБ 10 в фазе бутонизации, 2-й укос (03.09.25 – 05.09.25)

Из графика следует, что обработка люцерны при соотношении скоростей вращения $W_{т. вала}/W_{б. вала} = 500/1450$ об в 1 мин превосходит все исследуемые варианты обработки люцерны и контроль. При таком режиме влажность люцерновой массы через 28,5 ч провяливания достигла 57,77 %, в то время как влажность в контрольном варианте составила 62,28 %. Опережал контроль и вариант при соотношении скоростей 500/1100 об в 1 мин.

Данный график также показывает, что все исследуемые образцы при разных режимах обработки и контроль достигли влажности сенажа через 52 часа провяливания, но наименьшая влажность (46,37 и 46,35 %) была у обработанных образцов при соотношении скоростей вращения 500/1450 об/мин и 500/1100 об/мин.

Вариант 5 (рис. 9, конструктивное исполнение кондиционера 2) частота вращения тихоходного вала — 500, быстходного — 1100 об/мин.

Растения люцерны в этом варианте интенсивно обработаны, наряду с многократно перебитыми стеблями в массе присутствовало большое количество оторванных листьев.

Анализ полученных фракций показал, что при соотношении скоростей вращения $W_{т. вала}/W_{б. вала} = 500/1100$ об в 1 мин во фракции 0–10 см не наблюдалось стеблей, но наблюдалось 8,9 % свободных листьев. Стебли интенсивно повреждены во фракциях: 10–20 см (фракция составляет 6,8 %); 20–30 см — 12,1 %; 30–40 см — 17,4 %; 40–50 см — 21,2 % и 50–60 см — 18,9 %. Во фракции 60–70 см содержалось 14,7 % поврежденных стеблей.

Практически на всех стеблях длиной свыше 10 см наблюдаются изломы и расщепления. Количество повреждений во фракции 10–20 см составило от одного до 10 шт. на каждом стебле и составляет 31 шт.; 20–30 см составило от одного до 15 шт. на каждом стебле и составляет 124 шт.; 30–40 — от трех до 13 на каждом стебле и составляет 148 шт.; 40–50 см от трех до 17 шт. и составляет 113 шт.; 50–60 — от шести до 14 шт. и составляет 97 шт.; 60–70 — от трех до 11 и составляет 10 шт. Общее количество повреждений на стеблях во фракциях от 10 до 70 см составляет 523 шт.

Данный режим работы макетного образца кондиционера 500/1100 об/мин обеспечивает большую интенсивность обработки растений люцерны, стебли многократно перебиты и расплющены. Однако во время обработки массы наблюдается большой отрыв листовых пластинок. Во фракции 0–10 см их содержалось 8,9 %, и со свободными листьями в других фракциях они будут являться полевыми потерями.

Данный режим работы эффективен, но требует продолжения исследований в направлении снижения интенсивности отрыва листьев, улучшения вывода массы из зоны обработки билами разработанного кондиционера.

Вариант 6 (рис. 9, конструктивное исполнение кондиционера 2) частота вращения тихоходного вала — 700, быстходного — 1100 об/мин.

Во время пропуска наблюдалась интенсивная обработка люцерновой массы с содержанием в ворохе большого количества перебитых стеблей и свободных листьев, что явилось следствием задержки выхода массы из рабочей зоны.

На таких оборотах тихоходного и быстроходного валов возможно забивание рабочих органов.

Вариант 7 (рис. 9, конструктивное исполнение кондиционера 2) частота вращения тихоходного вала — 500, быстроходного — 700 об/мин.

При таком режиме обработки стебли значительно повреждены, в ворохе содержалось большое количество обитых листьев, наблюдалось наматывание на быстроходный вал и повторная обработка массы билами.

Вариант 8 (рис. 9, конструктивное исполнение кондиционера 2) частота вращения тихоходного вала — 500, быстроходного — 1450 об/мин.

В этом варианте наблюдалось наматывание массы на быстроходный вал и повторная дообработка, отмечено большое количество обитых листьев (больше чем в предыдущих вариантах), стебли повреждены значительно.

Выводы:

1. Разработанный в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» макетный образец кондиционера с бильными рабочими органами в двух вариантах конструктивного исполнения работоспособен.

2. В первом варианте исполнения билы, установленные на поверхности быстроходного и тихоходного валов с зазором, равным 40 мм, обеспечивают наиболее интенсивную обработку стеблей люцерны сортотипа ТБ 10 во фракциях: 30–40; 40–50; 50–60 см при соот-

ношении скоростей вращения тихоходного и быстроходного валов 500/1450 об/мин.

3. При применении бил первого варианта исполнения наблюдается увеличение площади испаряющей поверхности обрабатываемых растений люцерны до 4000 см² при соотношении скоростей вращения тихоходного и быстроходного валов 500/1450 об/мин, что превышает площадь контрольного, необработанного образца (3462 см²) на 13,5 %.

4. Провяливание люцерны, обработанной билами первого конструктивного исполнения при соотношении скоростей вращения тихоходного и быстроходного валов 500/1450 об/мин, превосходит по динамике все исследуемые варианты обработки. При таком режиме влажность люцерновой массы через 28,5 час провяливания достигла 57,77 %, в то время как влажность в контрольном варианте составила 62,28 %.

5. Во втором варианте исполнения билы, установленные на поверхности быстроходного и тихоходного валов с зазором равным 20 мм при соотношении скоростей вращения 500/700, 500/1100, 500/1450 и 700/1100 об/мин, чрезмерно обрабатывают растения люцерны. Данный вариант конструктивного исполнения бил эффективен, но требует проведения дополнительных исследований в направлении снижения интенсивности отрыва листьев, улучшения вывода массы из рабочей зоны.

Литература

1. Орси́к Л. С., Ревякин Е. Л. Инновационные технологии и комплексы машин для заготовки и хранения кормов. (Рекомендации). – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 140 с. – EDN QKZPJT.
2. Особов В. И. Современные технологии и комплексы машин для заготовки кормов. – М. : ООО КЛААС Восток, 2008. – 52 с.

3. Технологические основы приготовления сенажа (научно-практические рекомендации) / В. П. Клименко, А. С. Абрамян, В. М. Косолапов, и др. – М. : ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2024. – 40 с. – EDN ISCIZR. – DOI 10.33814/senazh_2024_40.
4. Уланов И. А., Мухин В. А. Приспособление к косилкам-плющилкам для образования валков. Авторское свидетельство SU 541458 A1, 05.01.1977. Заявка № 2097929 от 17.01.1975; – EDN QDRLYV.
5. Уланов И. А., Мухин В. А. Приспособление к косилкам-плющилкам для образования валков шатрообразной формы. Авторское свидетельство SU 651746 A1, 15.03.1979. Заявка № 2453387 от 17.02.1977. – EDN WEENFU.
6. Евдокимов Ю. А., Торопов В. Р. Способ подготовки кормовых растений к сушке. Авторское свидетельство SU 1153856 A1, 07.05.1985. Заявка № 3544510 от 21.01.1983. – EDN LFLGQO.
7. Геер В. А., Каратеев Н. П., Способ уборки трав. Авторское свидетельство SU 1701162 A1, 30.12.1991. Заявка № 4758740 от 15.11.1989. – EDN YYBVCM.
8. Скуратов В. С. Способ уборки стеблевых культур и устройство для его осуществления. SU 1718749 A1, 15.03.1992. Заявка № 4663926 от 30.01.1989. – EDN VUGBQG.
9. Валимов В. Г. Способ уборки сельскохозяйственных культур. Авторское свидетельство SU 1577091 A1. Заявка № 4294241 от 15.08.1987.
10. Косилка-плющилка / В. С. Быков, В. А. Семькин, Д. В. Быков, Л. В. Синявская. Патент на изобретение RU 53839 U1, 10.06.2006. Заявка № 2005136676/22 от 24.11.2005. – EDN XFXRFQ.
11. Янко Н. С. Устройство в косилке-плющилке для уменьшения плотности валка. Авторское свидетельство SU 1166715 A1, 15.07.1985. Заявка № 3693613 от 20.01.1984. – EDN HCOSFF.
12. Кондиционеры динамического действия фирмы KRONE (Германия). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.krone-rus.ru/katalog-produkcii/diskovye-kosilki/easycut-f> (дата обращения 19.05.2026 г.)
13. Forming mats from macerated alfalfa to increase drying rates / K. J. Shinnars, G. P. Barrington, R. J. Straub, R. G. Koegel // Transactions of the ASAE. – 1985. – Vol. 28. – № 2. – Pp. 374–377. – DOI 10.13031/2013.32261.
14. Shinnars K. J., Koegel R. G., Straub R. J. Consolidation and compaction characteristics of macerated alfalfa used for silage production // Transaction of the ASAE. – 1988. – Vol. 31. – № 4. – Pp. 1020–1026. – DOI 10.13031/2013.30816.
15. An overview of physical treatments of lucerne performed at Madison, Wisconsin, for improving properties / R. G. Koegel, R. J. Straub, K. J. Shinnars, et al. // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1992. – Vol. 52. – № 3 – Pp. 183–191.
16. Evaluation of a crushing-impact forage macerator / T. J. Kraus, K. J. Shinnars, R. G. Koegel, R. J. Straub // Transaction of the ASAE. – 1993. – Vol. 36. – № 6. – Pp. 1541–1545. – DOI 10.13031/2013.28494.
17. Round bale ensilage of intensively conditioned forage / P. Savoie, D. Tremblay, E. Charmley, R. Trerault // Canadian Agricultural Engineering – 1996. – Vol. 38. – № 4. – Pp. 257–263.
18. Savoie P., Roberge M., Tremblay D. Quantification of mechanical forage conditioning by compressibility // Canadian Agricultural Engineering – 1996. – Vol. 38. – № 3. – Pp. 157–165.
19. Luger E. Mattentechnik // Landtechnik im Alpenraum: Auswirkungen der Europäischen Union. – 1996. – Pp. 48–50.
20. Oztekin S., Ozcan M. T. Application of the Maceration Technique for Drying Forage in Turkey // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1997. – Vol. 66. – № 1. – Pp. 79–84.
21. Itokawa N. Field machinery for forage production in Japan // Proceedings of the International Workshop on Opening for Low-input Sustainable Forage Production and Use. – Hokkaido : Hokkaido National Agricultural Experiment Station, 2000. – Pp. 211–218.
22. Монтаков В. А., Пучков В. А. Косилка-плющилка. Авторское свидетельство SU 378172A1, 18.04. 1973. Заявка № 1659608/30-15 от 11.05.1971. – EDN AKVFEJ.

23. Лавренов В. В., Орлов П. С., Скицкий А. А. Косилка-плющилка. Авторское свидетельство SU 375050 A1, 23.03.1973. Заявка № 1650732/30-15 от 19.04.1971. – EDN QHDHAV.
24. Ермолаев М. Н. Способ заготовки сена. Авторское свидетельство SU 1436922 A1, 15.11.1988. Заявка № 4176955 от 09.01.1987. – EDN IBFKZB.
25. Беспамятнов А. Д., Мацуца В. К. Измельчитель длинноволокнистых материалов. Авторское свидетельство SU 246192 A1, 11.06.1969. Заявка № 1194038/30-15 от 19.10.1967. – EDN ECRFKT.
26. Чубуков В. Д. Измельчитель растительного материала. Авторское свидетельство SU 1140716 A1, 23.02.1985. Заявка № 3644457 от 23.09.1983. – EDN EAGCXC.
27. Маковкина Н. П., Короневский В. С., Загута Н. Ф. Устройство для измельчения растительного сырья. Авторское свидетельство SU 1189388 A1, 07.11.1985. Заявка № 3736100 от 03.05.1984. – EDN AVYAKK.
28. Герейш О. П. Измельчитель грубых кормов. Авторское свидетельство SU 1792588 A1, 07.02.1993. Заявка № 4602356/15 от 10.10.1988. – EDN СТWTAS.
29. Шекихачев Ю. А., Шомахов Л. А. Косилка-измельчитель эшелонированного резания. Патент на изобретение RU 2297131 C2, 20.04.2007. Заявка № 2003123694/12 от 28.07.2003. – EDN TLFSQJ.
30. Устройство для транспортировки и измельчения кормов / Н. А. Барсов, И. И. Акмалходжаев, М. А. Селиванова, и др. Авторское свидетельство SU 1604465 A1, 30.09.1991. Заявка № 4752206/33 от 24.10.1989.
31. Устройство для отжима сока из стеблей растений кормоуборочной машины / В. М. Кононов, М. В. Кононов, И. В. Пулин, и др. Патент на изобретение RU 2070375 C1, 20.12.1996. Заявка № 94028117/15 от 27.07.1994. – EDN OWBYSX.
32. Адамень Ф. Ф., Лузин В. А. Устройство для плющения кормовых материалов. Патент на изобретение RU 2064233 C1, 27.07.1996. Заявка № 5019932/15 от 04.11.1991. – EDN THZMFO.
33. Ермолаев М. Н. Устройство для обработки растений. Авторское свидетельство SU 1207421 A1, 30.01.1986. Заявка № 3630807 от 09.08.1983. – EDN GGBVZN.
34. Ермолаев М. Н. Устройство для обработки растений. Авторское свидетельство SU 1678238 A1, 23.09.1991. Заявка № 4770752 от 22.12.1989. – EDN QSDBXI.
35. Механизация полевой сушки: пути совершенствования / П. П. Казакевич, С. Г. Яковчик, И. М. Лабоцкий, Л. И. Трофимович // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – Минск, 2018. – Т. 56. – № 4. – С. 481–491. – EDN VLXUVZ. – DOI 10.29235/1817-7204-2018-56-4-481-491.
36. Стречень М. В., Кокунова И. В. Обоснование конструктивных параметров плющилки стебельчатых кормов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – М. : РГАУ МСХА им. К. А. Тимирязева, 2012. – № 5 (56). – С. 38–40. – EDN RBJJSL.
37. Кокунова И. В., Стречень М. В., Смирнов Р. Н. Машина для плющения стеблей скошенных трав. Патент на изобретение RU 117772 U1, 10.07.2012. Заявка № 2011152362/15 от 21.12.2011.
38. Кокунова И. В., Стречень М. В., Титенкова О. С. Технические средства для интенсификации процесса сушки трав в поле // Известия Великолукской ГСХА. – 2013. – № 1. – С. 20–30. – EDN TILJOT.
39. Комлач Д. И., Бакач Н. Г., Салапура Ю. Л. Современная сельскохозяйственная техника для механизации технологических процессов в растениеводстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Минск : Беларуская навука, 2020. – С. 3–7. – EDN YWZLDB.
40. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю. К. Новоселов, В. Н. Киреев, Г. П. Кутузов, и др. – М. : Россельхозакадемия, 1997. – 156 с. – EDN WNBLWF.
41. Способ определения площади испаряющей поверхности трав / С. А. Отрошко, В. М. Соколов, А. В. Шевцов, В. М. Косолапов. Патент на изобретение RU 2843628 C1, 17.07.2025. Заявка № 2024104991 от 27.02.2024. – EDN LALUNH.

42. ГОСТ 28722-90. Машины сельскохозяйственные и лесные. Косилки-плющилки. Методы испытаний. – М. : Стандартиформ, 2005. – 6 с.
43. Бондарев В. А., Панов А. А. Методика полевых опытов по проявлению и сушке трав на сено и сенаж. – М. : РАСХН, ВИК, 1994. – 11 с.
44. Проведение опытов по консервированию и хранению объемистых кормов / В. А. Бондарев, В. М. Косолапов. Ю. А. Победнов, и др. // Методические рекомендации. – М. : ФГУ РЦСК, 2008 – 67 с.
45. ГОСТ 27262-87. Корма растительного происхождения. Методы отбора проб. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 9 с.
46. ГОСТ 27548-87. Корма растительные. Методы определения влаги. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 7 с.

Reference

1. Orsik L.S. Revyakin E.L. *Innovatsionnye tekhnologii i kompleksy mashin dlya zagotovki i khraneniya kormov. (Rekomendatsii)* [Innovative technologies and machine complexes for harvesting and storing feed. (Recommendations)]. *FGNU "Rosinformagrotekh"* Publ. 2008. 140 p.
2. Osobov V.I. *Sovremennye tekhnologii i kompleksy mashin dlya zagotovki kormov* [Modern technologies and machine complexes for fodder harvesting]. 2008. 52 p.
3. Klimenko V.P., Abramyan A.S., Kosolapov V.M., et al. *Tekhnologicheskie osnovy prigotovleniya senazha (nauchno-prakticheskie rekomendatsii)* [Technological Fundamentals of Making Haylage (Scientific and Practical Recommendations)]. *FGBOU DPO RAKO APK* Publ. 2024. 40 p. DOI 10.33814/senazh_2024_40.
4. Ulanov I.A., Mukhin V.A. *Prisposoblenie k kosilkam-plyushchilkam dlya obrazovaniya valkov* [Adaptation to mowers-flatteners for roll formation]. Copyright certificate SU 541458. 05.01.1977. Application No. 2097929 dated 17.01.1975.
5. Ulanov I.A., Mukhin V.A. *Prisposoblenie k kosilkam-plyushchilkam dlya obrazovaniya valkov shatroobraznoi formy* [Adaptation to mowers-flatteners for forming tent-shaped rolls]. Copyright certificate SU 651746 A1, 15.03.1979. Application No. 2453387 dated 17.02.1977.
6. Evdokimov Yu.A., Toropov V.R. *Sposob podgotovki kormovykh rastenii k sushke* [A method for preparing fodder plants for drying]. Copyright certificate SU 1153856 A1, 07.05.1985. Application No. 3544510 dated 21.01.1983.
7. Geer V.A., Karateev N.P. *Sposob uborki trav* [The method of harvesting herbs]. Copyright certificate SU 1701162 A1, 30.12.1991. Application No. 4758740 dated 15.11.1989.
8. Skuratov V.S. *Sposob uborki steblevykh kul'tur i ustroistvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of harvesting stem crops and device for its implementation]. Copyright certificate SU 1718749 A1, 15.03.1992. Application No. 4663926 dated 30.01.1989.
9. Valimov V. G. *Sposob uborki sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [The method of harvesting crops]. Copyright certificate SU 1577091 A1. Application No. 4294241 dated 15.08.1987.
10. Bykov V.S., Semykin V.A., Bykov D.V., Sinyavskaya L.V. *Kosilka-plyushchilka* [Mower-flattener]. A patent for an invention RU 53839 U1, 10.06.2006. Application No. 2005136676/22 dated 24.11.2005.
11. Yanko N.S. *Ustroistvo v kosilke-plyushchilke dlya umen'sheniya plotnosti valka* [Device in a mower-flattener for reducing the density of a swath]. Copyright certificate SU 1166715 A1, 15.07.1985. Application No. 3693613 dated 20.01.1984.
12. Кондиционеры динамического действия фирмы KRONE (Германия) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.krone-rus.ru/katalog-produkcii/diskovye-kosilki/easycut-f> (дата обращения 19.05.2026 г.)

13. Shinnars K.J., Barrington G.P., Straub R.J., Koegel R.G. Forming mats from macerated alfalfa to increase drying rates. Transactions of the ASAE. 1985. Vol. 28. No. 2. Pp. 374-377. DOI 10.13031/2013.32261.
14. Shinnars K.J., Koegel R.G., Straub R.J. Consolidation and compaction characteristics of macerated alfalfa used for silage production. Transaction of the ASAE. 1988. Vol. 31. No. 4. Pp. 1020-1026. DOI 10.13031/2013.30816.
15. Koegel R.G., Straub R.J., Shinnars K.J., et al. An overview of physical treatments of lucerne performed at Madison, Wisconsin, for improving properties. Journal of Agricultural Engineering Research. 1992. Vol. 52. No. 3. Pp. 183-191.
16. Kraus T.J., Shinnars K.J., Koegel R.G., Straub R.J. Evaluation of a crushing-impact forage macerator. Transaction of the ASAE. 1993. Vol. 36. No. 6. Pp. 1541-1545. DOI 10.13031/2013.28494.
17. Savoie P., Tremblay D., Charmley E., Treriault R. Round bale ensilage of intensively conditioned forage. Canadian Agricultural Engineering. 1996. Vol. 38. No. 4. Pp. 257-263.
18. Savoie P., Roberge M., Tremblay D. Quantification of mechanical forage conditioning by compressibility. Canadian Agricultural Engineering. 1996. Vol. 38. No. 3. Pp. 157-165.
19. Luger E. Mattentechnik. Landtechnik im Alpenraum: Auswirkungen der Europäischen Union. 1996. Pp. 48-50.
20. Oztekin S., Ozcan M.T. Application of the Maceration Technique for Drying Forage in Turkey. Journal of Agricultural Engineering Research. 1997. Vol. 66. No. 1. Pp. 79-84.
21. Itokawa N. Field machinery for forage production in Japan. Proceedings of the International Workshop on Opening for Low-input Sustainable Forage Production and Use. 1999. Lugovaya, Moscow reg., Russia. 2000. Pp. 211-218.
22. Montakov V.A., Puchkov V.A. *Kosilka-plyushchilka* [Mower-flattener]. Copyright certificate SU 378172A1, 18.04. 1973. Application No. 1659608/30-15 dated 11.05.1971.
23. Lavrenov V.V., Orlov P.S., Skitskii A.A. *Kosilka-plyushchilka* [Mower-flattener]. Copyright certificate SU 375050 A1, 23.03. 1973. Application No. 1650732/30-15 dated 19.04.1971.
24. Ermolaev M.N. *Sposob zagotovki sena* [The method of harvesting hay]. Copyright certificate SU 1436922 A1, 15.11. 1988. Application No. 4176955 dated 09.01.1987.
25. Bespamyatnov A.D., Matsutsa V.K. *Izmel'chitel' dlinnovoloknistykh materialov* [Long-fiber material shredder]. Copyright certificate SU 246192 A1, 11.06.1969. Application No. 1194038/30-15 dated 19.10.1967.
26. Chubukov V.D. *Izmel'chitel' rastitel'nogo materiala* [Shredder of plant material]. Copyright certificate SU 1140716 A1, 23.02.1985. Application No. 3644457 dated 23.09.1983.
27. Makovkina N.P., Koronevskii V.S., Zaguta N.F. *Ustroistvo dlya izmel'cheniya rasti-tel'nogo syr'ya* [Device for grinding plant raw materials]. Copyright certificate SU 1189388 A1, 07.11.1985. Application No. 3736100 dated 03.05.1984.
28. Gereish O.P. *Izmel'chitel' grubykh kormov* [Coarse Feed Shredder]. Copyright certificate SU 1792588 A1, 07.02.1993. Application No. 4602356/15 dated 10.10.1988.
29. Shekikhachev Yu.A., Shomakhov L.A. *Kosilka-izmel'chitel' eshelonirovannogo rezaniya* [Stepped cutting mower-grinder]. Patent for an invention RU 2297131 C2, 20.04.2007. Application No. 2003123694/12 dated 28.07.2003.
30. Barsov N.A., Akmalkhodzhaev I.I., Selivanova M.A., et al. *Ustroistvo dlya transportirovki i izmel'cheniya kormov* [A device for transporting and crushing feed]. Copyright certificate SU 1604465 A1, 30.09.1991. Application No. 4752206/33 dated 24.10.1989.
31. Kononov V.M., Kononov M.V., Pulin I.V., et al. *Ustroistvo dlya otzhima soka iz stblei rastenii kormouborochnoi mashiny* [Sap-squeezing device for forage harvesters]. Patent for an invention RU 2070375 C1, 20.12.1996. Application No. 94028117/15 dated 27.07.1994.
32. Adamen' F.F., Luzin V.A. *Ustroistvo dlya plyushcheniya kormovykh materialov* [Feed material conditioner apparatus]. Copyright certificate RU 2064233 C1, 27.07.1996. Application No. 5019932/15 dated 04.11.1991.

33. Ermolaev M.N. *Ustroistvo dlya obrabotki rastenii* [Apparatus for treatment of plants]. Copyright certificate SU 1207421 A1, 30.01.1986 Application No. 3630807 dated 09.08.1983.
34. Ermolaev M.N. *Ustroistvo dlya obrabotki rastenii* [Plant treatment device]. Copyright certificate SU 1678238 A1, 23.09.1991. Application No. 4770752 dated 22.12.1989.
35. Kazakevich P.P., Yakovchik S.G., Labotskii I.M., Trofimovich L.I. *Mekhanizatsiya polevoi sushki: puti sovershenstvovaniya* [Mechanization of grass drying field: ways to improve]. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk*. Minsk. 2018. Vol. 56. No. 4. Pp. 481-491. DOI 10.29235/1817-7204-2018-56-4-481-491.
36. Strechen' M.V., Kokunova I.V. *Obosnovanie konstruktivnykh parametrov plyushchilki stebel'chatykh kormov* [Justification of design parameters conditioners stalked feed]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskii gosudarstvennyi agroinzhenernyi universitet imeni V.P. Goryachkina"*. Moscow. Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 2012. No. 5 (56). Pp. 38-40.
37. Kokunova I.V., Strechen' M.V., Smirnov R.N. *Mashina dlya plyushcheniya steblei skoshennykh trav* [Machine for flattening the stems of cut grass]. Patent for an invention RU 117772 U1, 10.07.2012. Application No. 2011152362/15 dated 21.12.2011.
38. Kokunova I.V., Strechen' M.V., Titenkova O.S. *Tekhnicheskie sredstva dlya intensifikatsii protsessa sushki trav v pole* [Technical means for intensifying the drying process of herbs in the field]. *Izvestiya Velikolukskoi GSKhA*. 2013. No. 1. Pp. 20-30.
39. Komlach D.I., Bakach N.G., Salapura Yu.L. *Sovremennaya sel'skokhozyaistvennaya tekhnika dlya mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve* [Modern agricultural machinery for mechanization of technological processes in crop production]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva*. Minsk. *Belaruskaya navuka* Publ. 2020. Vol. 54. Pp. 3-7.
40. Novoselov Yu.K., Kireev V.N., Kutuzov G.P. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami* [Guidelines for conducting field experiments with fodder crops]. Moscow. *Rossel'khozakademiya* Publ. 1997. 156 p.
41. Otroshko S.A., Sokolov V.M., Shevtsov A.V., Kosolapov V.M. *Sposob opredeleniya ploshchadi isparayushchei poverkhnosti trav* [Method of grass evaporating surface area determining]. Patent for an invention RU 2843628 C1, 17.07.2025. Application No. 2024104991 dated 27.02.2024.
42. *GOST 28722-90. Mashiny sel'skokhozyaistvennye i lesnye. Kosilki-plyushchilki. Metody ispytaniy* [Agricultural and forestry machinery. Mowers-flatteners. Test methods]. Moscow. *Standartinform* Publ. 2005. 6 p.
43. Bondarev V.A., Panov A.A. *Metodika polevykh opytov po provyalivaniyu i sushke trav na seno i senazh* [Methods of field experiments on wilting and drying of grasses for hay and silage]. Moscow. *RASKhN, VIK* Publ. 1994. 11 p.
44. Bondarev V.A., Kosolapov V.M., Pobednov Yu.A., et al. *Provedenie opytov po konservirovaniyu i khraneniyu ob'emistykh kormov* [Conducting experiments on the preservation and storage of bulky feed.] *Metodicheskie rekomendatsii* [Methodological recommendations]. Moscow. *FGU RTsSK* Publ. 2008. 67 p.
45. *GOST 27262-87. Korma rastitel'nogo proiskhozhdeniya. Metody otbora prob* [Plant-based feed. Sampling methods]. Moscow. *Izdatel'stvo standartov* Publ. 1987. 9 p.
46. *GOST 27548-87. Korma rastitel'nye. Metody opredeleniya vlagi*. Moscow. *Izdatel'stvo standartov*. Publ. 1988. 7 p.