

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К РАСЧЕТУ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНЯТИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАПРЕССОВАННЫХ КОРМОВ

Э. В. ДЫБА, Л. И. ТРОФИМОВИЧ, П. В. ЯРОВЕНКО

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220049*

А. И. ПУНЬКО, А. Ю. ГОРДИЕВИЧ, Е. А. РАЦКЕВИЧ

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220012*

(Поступила в редакцию 17.01.2025)

Приготовление и раздача кормов на фермах крупного рогатого скота входят в число наиболее трудоемких технологических процессов. При разных технологиях производства этой продукции затраты труда на раздачу кормов составляют 10,7...12,9 ч на одну корову в год, или 8...13 % от общих затрат труда на производство продукции.

В последние годы в республике широкое распространение получает технология заготовки сенажа в рулонах, упакованных в пленку. Она позволяет получать высококачественные корма в оптимальные агротехнические сроки, в 2,5–3,0 раза снизить общие потери при заготовке и хранении кормов; полностью механизировать технологический процесс от кошения трав до раздачи корма животным. В то же время, остаются нерешенными вопросы, связанные с разработкой устройства для предварительного разрезания рулонов и удалением упаковочных полимерных материалов. Эта операция не только уменьшает продолжительность разрушения рулона в бункере кормораздатчика но и сокращает время приготовления кормосмеси в целом.

В статье представлены результаты теоретических исследований по обоснованию конструкции и технологических параметров разрабатываемого резчика кормов. Анализ тенденций развития конструкций машин и научного опыта в области механизированной раздачи прессованных кормов позволил разработать устройство, обеспечивающее отделение упаковочных полимерных материалов в процессе подготовки и раздачи корма.

Применение предлагаемого разрезающего устройства позволит снизить энергозатраты на подготовку и раздачу кормосмесей и уменьшить удельные прямые эксплуатационные затраты.

Ключевые слова: *анализ, резчик кормов, рабочие органы, захват, полимерная пленка, конструкция.*

The preparation and distribution of feed on cattle farms are among the most labor-intensive technological processes. With different technologies for the production of this product, labor costs for feed distribution alone amount to 10.7...12.9 hours per cow per year, or 8...13 % of the total labor costs for production.

In recent years, the technology of harvesting haylage in rolls packed in film has become widespread in the republic. It allows obtaining high-quality feed in optimal agrotechnical terms, reducing overall losses during harvesting and storing feed by 2.5–3.0 times; completely mechanizing the technological process from mowing grass to distributing feed to animals. At the same time, issues related to the development of a device for preliminary cutting of rolls and removal of packaging polymeric materials remain unresolved. This operation not only reduces the duration of roll destruction in the feed distributor hopper, but also reduces the time of preparation of the feed mixture as a whole.

The article presents the results of theoretical studies on the substantiation of the design and technological parameters of the developed feed cutter. Analysis of trends in the development of machine designs and scientific experience in the field of mechanized distribution of pressed feed allowed us to develop a device that ensures the separation of packaging polymeric materials during the process of preparing and distributing feed.

The use of the proposed cutting device will reduce energy costs for the preparation and distribution of feed mixtures and reduce specific direct operating costs.

Key words: *analysis, feed cutter, working bodies, grip, polymer film, design.*

Введение

В последние годы для решения проблемы отделения полимерных материалов от кормов за рубежом проводятся научные исследования, направленные на освоение в производстве машин и оборудования, позволяющих производить отделение упаковочных полимерных материалов в процессе погрузки рулонов в кормораздатчики.

В нашей стране существенный вклад в развитие новых технологий и средств механизации в растениеводстве и кормозаготовке внесли такие ученые, как Пиуновский И. И., Лабоцкий И. М., Станкевич С. И., Клочков А. В., Привалов Ф. И. и др. Результаты их теоретических и экспериментальных исследований легли в основу конструирования современных машин для кормозаготовки, рекомендаций, применяемых на практике, а также различных нормативных документов [1–6].

Однако остаются нерешенными вопросы, связанные с усовершенствованием технологии подготовки к скармливанию рулонов сенажа в запresseованном виде и научным обоснованием конструкции

и технологических параметров технического средства, обеспечивающего отделение упаковочных полимерных материалов в процессе подготовки и раздачи корма.

В ходе выполнения научного задания 6.18 «Теоретическое обоснование инженерных решений по разработке устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» заказчиком проекта поставлены определенные конструктивно-технологические требования к новой машине: высокая эффективность, низкая металлоёмкость, технологичность изготовления. При этом технический уровень разработки должен соответствовать лучшим мировым образцам.

Целью работы является научное обоснование совершенствования технологического процесса подготовки к скармливанию запрессованных кормов путём механизации операции снятия полимерных материалов.

Основная часть

Для обоснования конструктивно-кинематических параметров разрабатываемого устройства рассмотрим обобщённую конструкцию резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с учетом ограничивающих конструктивно-технологических факторов (рис. 1).

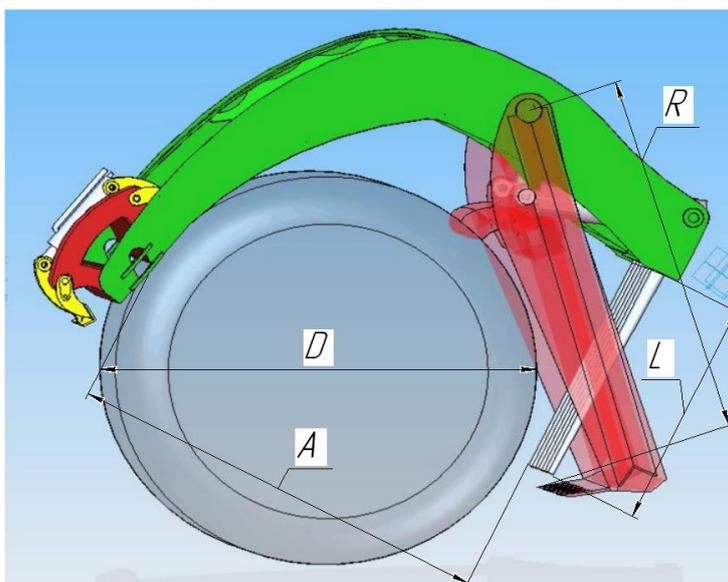


Рис. 1. Схема резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов

Размер зева резчика рулонов A определяется исходя из максимального размера рулонов, используемых в хозяйствах республики ($D_{\max} = 1,8$ м), с учетом эллипсности рулонов:

$$A \geq 1,2 \times D_{\max} = 2,16 \text{ м.} \quad (1)$$

Принимаем размер $A = 2,1$ м.

Длина зубьев L составляет примерно половину максимального диаметра разрезаемых рулонов:

$$L = 0,5 \times D_{\max} = 0,9 \text{ м.} \quad (2)$$

Принимаем размер $L = 0,9$ м.

Радиус резака составляет примерно:

$$R = (0,9 \div 1,1) \times D_{\max} = 1,62 \div 1,98 \text{ м.} \quad (3)$$

Принимаем размер $R = 1,7$ м.

Ножи резчика рулонов не должны соприкасаться с зубьями и рамой резака при разрезании рулона. Положение переставного упора определяется исходя из размеров минимального (1,2 м) и максимального (1,8 м) диаметров разрезаемых рулонов.

Разрезание верхних слоев рулона является наиболее сложной операцией приготовления рулона к скармливанию. В процессе формирования рулона давление сжатия прикладывается к его внешней стороне, поэтому приращение плотности корма в рулоне уменьшается по мере удаления от внешних слоев к внутренним. При работе рулонного пресс-подборщика стебли прессованных растений ориентированы преимущественно по окружностям поперечного сечения рулона, параллельно его торцевой поверхности.

Процесс резания рулонов сенажа повышенной плотности, упакованных в полимерную плёнку, наиболее полно исследовался В. Ю. Гальковым [7]. В своих исследованиях он предположил, что

разрезание рулона на определенную глубину по всей его длине позволит с наименьшими затратами энергии отделить от рулона внешний слой массы толщиной Δh , равной глубине резания (рис. 2).

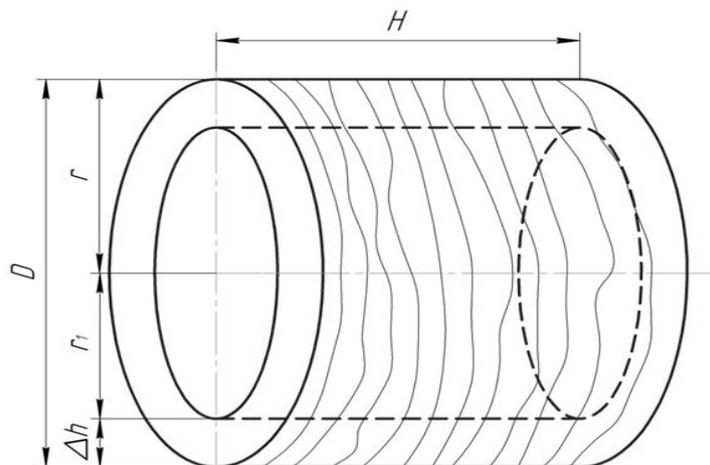


Рис. 2. Схема геометрических параметров рулона

Основой теоретических исследований процесса взаимодействия режущего элемента с кормовым массивом В.И. Гальковым была принята теория резания лезвием, разработанная профессором Н. Е. Резником. При разрезании рулонов сенажа, упакованного в пленку, силы, препятствующие процессу резания и перемещению рулона по направляющим (рис. 3), определяются согласно выражению:

$$F_{\text{спр}} = F_{\text{рез}} + F_{\text{сж}} + F_{\text{обж}}^{\phi} + F_{\text{тр}}^{\phi} + F_{\text{тр}}^{\Gamma 1} + F_{\text{тр}}^{\Gamma 2} + F_{\text{тр}}^{\text{H}}, \quad (4)$$

где $F_{\text{рез}}$ – сила сопротивления резанию, сосредоточенная на кромке лезвия, Н;

$F_{\text{сж}}$ – сопротивление слоя сжатию фаской лезвия, Н;

$F_{\text{обж}}^{\phi}$ – сила обжатия фаски лезвия, Н;

$F_{\text{тр}}^{\phi}$ – сила трения на фаске лезвия под действием силы обжатия фаски, Н;

$F_{\text{тр}}^{\Gamma 1}, F_{\text{тр}}^{\Gamma 2}$ – силы трения на боковых гранях ножа, возникающие под действием сил обжатия граней, Н;

$F_{\text{тр}}^{\text{H}}$ – силы трения поверхности рулона сенажа по направляющим разрезающего устройства, Н.

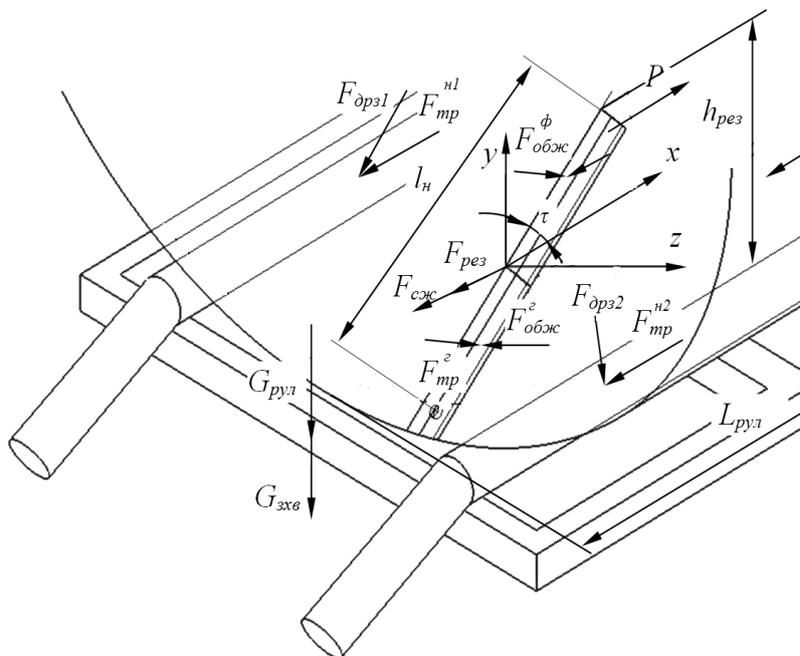


Рис. 3. Схема взаимодействия ножа с рулоном сенажа

В результате подстановки всех значений получено выражение, определяющее величину сопротивления резанию и перемещению по направляющим рулона сенажа, упакованного в пленку, в общем виде:

$$F_{\text{спр}} = \delta \cdot \sigma_p \cdot l_n \cdot \cos \tau + \frac{E \cdot h_{\text{сж}}^2 \cdot l_n}{2 \cdot h_{\text{рез}}} \cdot [(tg\beta + \mu + \mu \cdot f \cdot \cos \beta \cdot \sin \tau) \cdot \cos \tau + +\mu \cdot f \cdot \sin \tau] + [(m_{\text{рез}} + m_{\text{зхв}}) \cdot g - F_{\text{рез}} \cdot tg(\tau - \varphi)] \cdot f_{\text{тр}}^{yn} \cdot (r + r_n)/c, \quad (5)$$

где δ – толщина лезвия, м;

σ_p – разрушающее контактное напряжение на кромке лезвия ножа, Па;

l_n – длина ножа, м;

τ – угол наклона ножа (угол резания), град;

E – модуль Юнга, Н/м²;

μ – коэффициент Пуассона;

$h_{\text{рез}}$ – толщина перерезаемого слоя (глубина резания) рулона, м;

$h_{\text{сж}}$ – величина предварительного сжатия материала, м;

f – коэффициент трения материал о лезвие;

β – угол заточки, град;

c – высота треугольника, соединяющего центры рулона и направляющих, м.

В зависимости от установки ножа по отношению к разрезаемому рулону сенажа меняется длина активной части лезвия, участвующего в процессе резания. Длину лезвия ножа l_n можно определить согласно схеме (рис. 3).

Длину ножа l в зависимости от угла наклона τ можно определить из выражения:

$$l = \frac{h_{\text{рез}}}{\sin \tau}, \quad (6)$$

где $h_{\text{рез}}$ – глубина резания рулона, м.

Согласно модели взаимодействия режущего элемента с кормовым массивом (в рулоне сенажа) удельная работа сил резания представлена выражением:

$$A_{\text{уд}} = F_{\text{спр}} \cdot \frac{L_{\text{рул}}}{S_{\text{рез}}}, \quad (7)$$

где $A_{\text{уд}}$ – удельная работа резания, Дж/м²;

$F_{\text{спр}}$ – сила сопротивления резанию, Н;

$L_{\text{рул}}$ – длина образующей рулона (длина резания), м;

$S_{\text{рез}}$ – площадь резания, м².

Площадь резания:

$$S_{\text{рез}} = L_{\text{рул}} \cdot h_{\text{рез}}, \quad (8)$$

$$h_{\text{рез}} = l_n \cdot \sin \tau, \quad (9)$$

где l_n – активная часть ножа, участвующая в резании, м.

Подставляя все значения, можно получить рассчитать значение удельной работы резания:

$$A_{\text{уд}} = \frac{[\sigma_p \cdot l_n \cdot \cos \tau + \frac{E \cdot h_{\text{сж}}^2 \cdot l_n}{2 \cdot h_{\text{рез}}} [\delta \times (tg\beta + \mu + \mu \cdot f \cdot \cos \beta \cdot \sin \tau) \cdot \cos \tau + +\mu \cdot f \cdot \sin \tau] + \{(m_{\text{рез}} + m_{\text{зхв}}) \cdot g - F_{\text{рез}} \cdot tg(\tau - \varphi)\} \cdot f_{\text{тр}}^{yn} \cdot (r + r_n)/c]}{l_n} \cdot \sin \tau. \quad (10)$$

Проведенные В. Ю. Гальковым исследования позволили определить энергетические параметры процесса резания кормового массива сенажа из рулонов влажностью от 40 % до 60 % и плотностью материала 120–180 кг/м³ (в пересчете на сухое вещество) при углах резания от 25° до 55° и скорости резания 0,2–0,4 м/с., а также коэффициент трения f корма о боковую поверхность ножа в зависимости от физико-механических свойств материала (влажности W и плотности ρ).

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что наибольшую энергетическую эффективность обеспечивает резание рулона сенажа с установкой угла наклона ножа 37–43° к образующей цилиндрической поверхности рулона. Гидрооборудование разрабатываемого устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов должно обеспечивать усилие резания на кромке ножа в диапазоне 1930–6130 Н.

Устройство для снятия полимерных материалов должно функционировать от одной свободной линии гидросистемы погрузчика и включать механизм зажима упаковки в начальный момент резания рулона при давлении в гидросистеме, близком к максимальному, а открывать захват только после выгрузки корма в кормораздатчик, переезда агрегата к месту складирования упаковки и установки резака в исходное (нижнее) положение.

В Республике Беларусь корма заготавливаются в основном в виде рулонов, обмотанных полимерной сеткой, с применением пресс-подборщиков-обмотчиков «Торнадо» РППО 445.01, пресс-упаковщиков Krone Comprima CF 155XC, пресс-подборщиков комбинированных ПРП-160-1К. Также рулоны обматывают шпагатом и упаковывают полимерной плёнкой обмотчиками рулонов типа ОР-2 (ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш»), обмотчиками рулонов польского производства Z-577, Z-237, SIPMA OS 7521 MIRA и другими машинами. В разрабатываемом устройстве для отделения полимерной упаковки должна быть предусмотрена возможность работы с рулонами, обмотанными как сеткой, так и пропиленовым шпагатом.

Захваты зажимного типа используются для снятия полимерной упаковки с рулонов, обмотанных полимерной сеткой, а для рулонов, обмотанных шпагатом, не применяются, так как имеют небольшую ширину захвата 250–300 мм, а ширина обмотки шпагатом составляет 1000–1200 мм, и шпагат может выпасть из полимерной упаковки и попасть в кормораздатчик.

Механизмы захвата и удержания полимерной упаковки в виде двойных крючковых захватов более универсальны, имеют ширину захвата от 1000 мм и теоретически могут работать с рулонами, обмотанными как шпагатом, так и сеткой, однако нет опыта использования таких устройств с рулонами, обмотанными шпагатом.

Изучение степени вдавливания шпагата в рулоны сенажа показало, что шпагат вжимается на глубину от 10 до 20 мм, поэтому для разработки универсального крючкового захвата принято решение ограничить глубину гарантированного внедрения зубьев крючкового захвата размером 25 мм. Суммарная рабочая ширина крючкового захвата должна быть не менее ширины намотки шпагата рулонов Ø1800 мм пресс-подборщика ПР-Ф-180 – 1200 мм, а рабочую ширину одного крючка принимаем равной 150 мм, количество крючков в одном ряду – 4 шт., количество рядов – 2. Крючки одного из рядов должны вращаться по часовой стрелке, а другого – против часовой стрелки.

Схема крючка приведена на рисунке 4. Разработанный рабочий орган должен обеспечивать зону захвата упаковки на глубину 25 мм с шириной 150 мм.

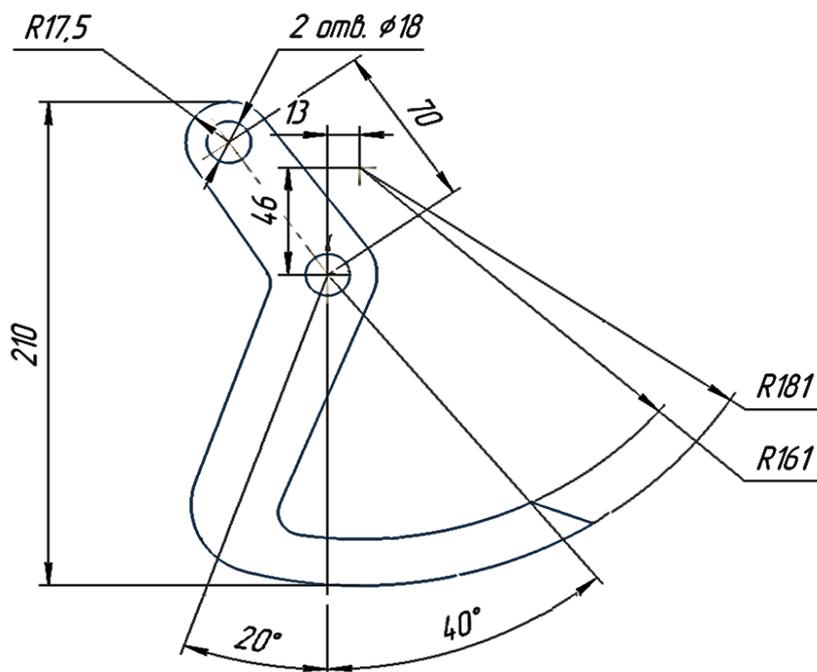
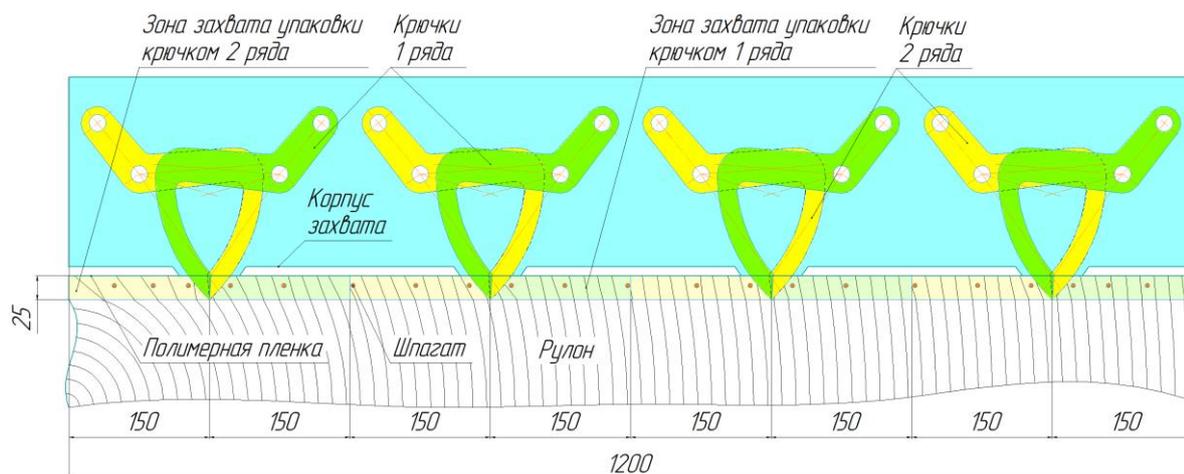


Рис. 4. Схема крючка

Технологическая схема работы универсального крючкового захвата приведена на рис. 5.

I Прижим рулона к захвату



II Удержание упаковки захватом

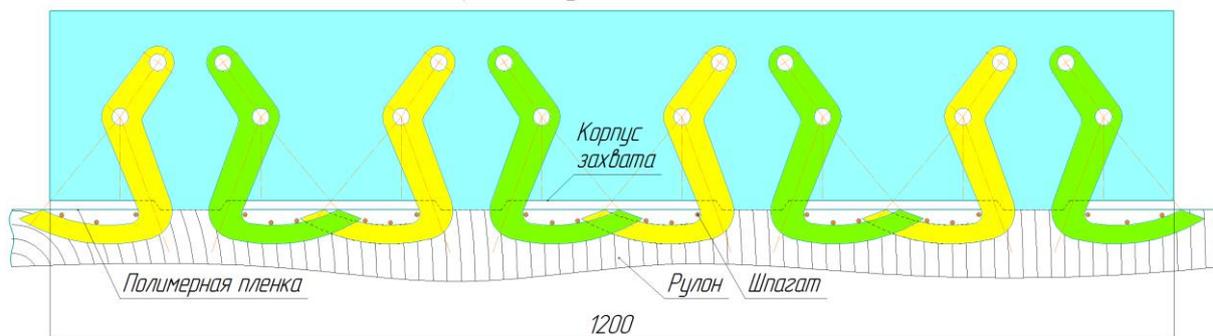
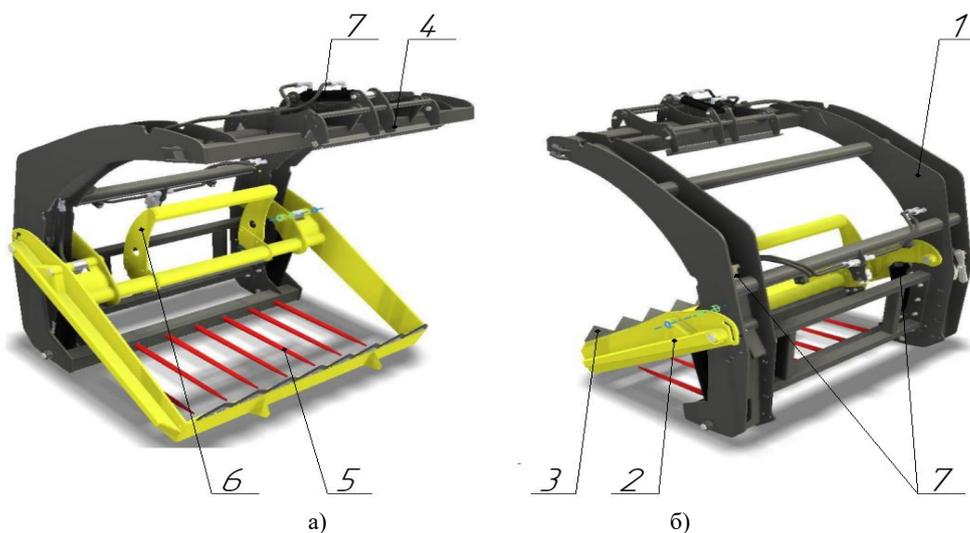


Рис. 5. Технологическая схема универсального захвата

В положении 1 острые зубья крючков первого и второго ряда находятся на одной линии перпендикулярно образующей рулона и выступают на величину гарантированного внедрения зубьев 25 мм, рулон прижимается резаком к корпусу захвата. При подаче масла в гидроцилиндр захвата происходит поворот крючков 1 и 2 ряда, внедрение крючков в рулон и удержание упаковки на всей длине упаковки рулона. В процессе внедрения крючков разрыв полимерной плёнки должен быть не сплошным, а местным, чтобы не произошёл разрыв плёнки и её падение в кормораздатчик. В процессе работы захват должен удерживать полимерную упаковку из плёнки и пропиленового шпагата или из плёнки и сетки с минимальным захватом кормовой массы. Рабочая ширина разрабатываемого универсального крючкового захвата – 1200 мм.

Разрабатываемое устройство для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов должно устанавливаться на резчик рулонов, предназначенный для захвата и разрезания рулонов запрессованных кормов, загрузки их в кормораздатчик, а также выгрузки полимерной упаковки в месте складирования.

Резчик рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов (рис. 6) состоит из рамы 1, ножевого резака 2П-образной формы с сегментными ножами 3, гидрофицированного устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов 4, стальных зубьев 5, упора 6, а также гидрооборудования 7.



а) вид спереди; б) вид сзади
 1 – рама; 2 – резак; 3 – нож (сегментный); 4 – устройство для снятия полимерных материалов (гидрофицированный); 5 – зубья; 6 – упор; 7 – гидрооборудование

Рис. 6. 3D-модель конструкции резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов

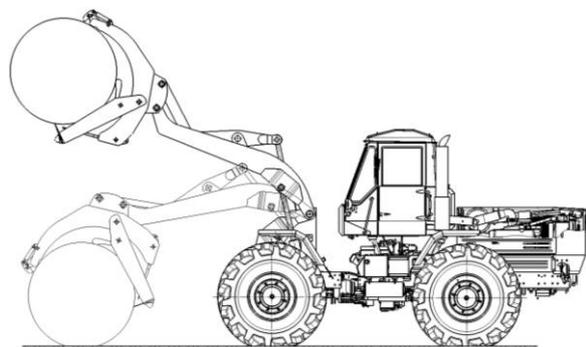
Рама представляет собой сварную Г-образную конструкцию из листового проката и труб, обеспечивающую крепление рабочих органов устройства, которая выполняет роль упора разрезаемого рулона от вертикального перемещения в процессе его резания и обеспечивает соединение с адаптером сельскохозяйственного погрузчика.

Резак представляет собой сварную конструкцию в виде П-образного рычага с отверстиями для крепления режущих ножей, упора и проушин для крепления резака к раме и гидроцилиндрам привода. Нож устройства состоит из сегментов, крепящихся к рычагу потайными болтами.

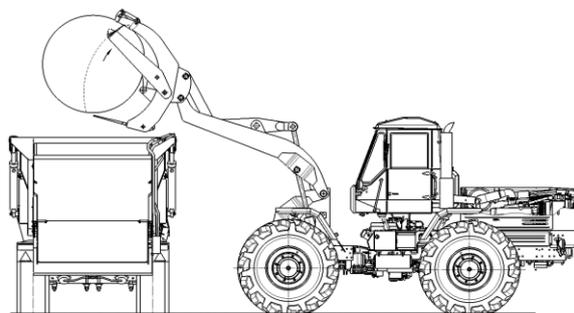
Устройство для снятия полимерных материалов 4 крючкового типа обеспечивает снятие упаковки с рулонов в полимерной упаковке, обмотанных сеткой или полипропиленовым шпагатом для рулонов без полимерной пленки. Зубья из высокопрочной закаленной стали предназначены для выполнения работ по накалыванию, перемещению и кантованию рулонов от мест хранения к месту их разделки. Упор представляет собой переставную трубу, закрепляемую на резаче с целью обеспечения разделки рулонов различных диаметров: 1200 мм, 1500 мм и 1800 мм.

Гидрооборудование резчика рулонов состоит из двух гидроцилиндров привода резача, гидроцилиндра устройства для снятия полимерных материалов, фитингов, клапанов, дросселей и быстросоединяемых муфт. Гидросистема погрузчика должна иметь свободную гидравлическую линию производительностью не менее 60 л/мин при рабочем давлении 20,0 МПа.

Процесс резания рулонов со снятием полимерных материалов происходит следующим образом. Оператор погрузчика с навешенным резчиком рулонов подъезжает к месту складирования рулонов, накалывает рулон на зубья резчика и транспортирует его к месту загрузки кормораздатчика (рис. 7).



Захват и подъем рулона резчиком



Разрезание рулона резчиком

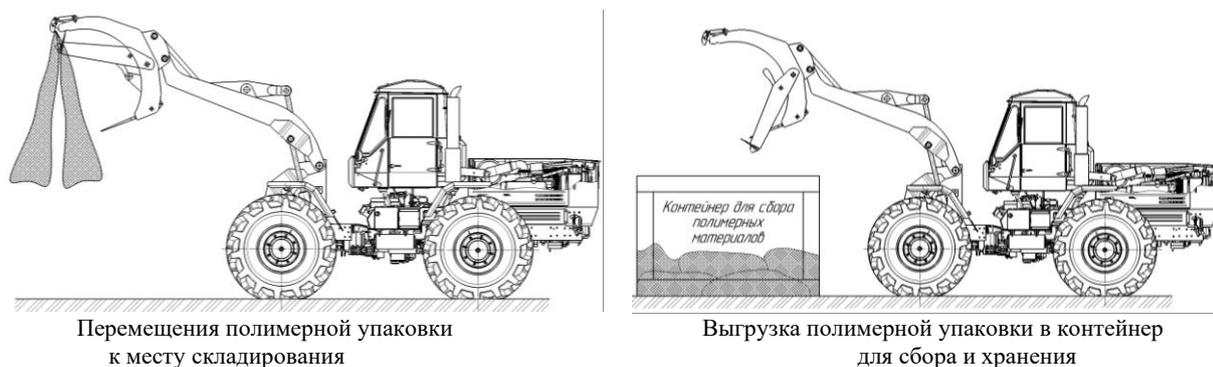


Рис. 7. Процесс резания рулонов со снятием полимерных материалов

Далее рулон укладывается боковой поверхностью на горизонтальной площадке, и резчик с установленным в нижнее положение резак опускается на рулон. Резак зажимает рулон, и погрузчик поднимает резчик с рулоном над кузовом кормораздатчика, после чего выполняется резание рулона.

В процессе резания рулон прижимается к верхней части рамы резчика. После того, как длина реза рулона составит около 700 мм, происходит автоматическое срабатывание устройства для снятия полимерной упаковки, а именно стрейч-пленка прижимается специальными зажимами устройства к раме резчика. Корм разрезанного рулона падает в кузов кормораздатчика.

После полной выгрузки корма агрегат с упаковкой рулона перемещается к месту складирования полимерной упаковки. При возвращении резака резчика в нижнее положение происходит открытие зажимов устройства, и полимерная упаковка падает в контейнер для сбора и хранения полимерных материалов.

Заключение

Анализ теоретических исследований процесса взаимодействия режущего элемента ножа с кормовым массивом рулонов сенажа, упакованных в плёнку диаметром 1,4–1,5 м и длиной 1,2 м, в диапазоне влажности сенажа 40–60 % позволяет сделать вывод, что наибольшую энергетическую эффективность обеспечивает резание рулона сенажа с установкой угла наклона лезвия 37–43° к образующей цилиндрической поверхности рулона, при этом усилие резания составляет 1930–6130 Н.

Разрабатываемый резчик рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов представляет собой резчик рулонов с рамой Г-образной формы с резанием рулона снизу вверх с размером зева $A = 2,1$ м, длиной зубьев $L = 0,9$ м и радиусом резака $R=1,7$ м в виде сменного рабочего органа к широко распространенным в хозяйствах республики отечественным универсальным погрузчикам «АМКОДОР».

Предложена конструкция универсального крючкового захвата полимерной упаковки шириной захвата 1200 мм с двумя рядами крючков, обеспечивающего зону захвата упаковки на глубину 25 мм.

Гидрооборудование разрабатываемого резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов должно обеспечивать усилие резания на кромке ножа не менее 6130 Н с запиткой от свободной линии гидрораспределителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пиуновский, И. И. Машины для уборки трав и силосных культур (теория и расчет рабочих органов) / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец, Н.И. Дудко. – Горки: БГСХА, 2016. – 325 с.
2. Механизация полевой сушки трав: пути совершенствования / П.П. Казакевич [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 4. – С. 481–491.
3. Станкевич, С. И. Современные технологии заготовки кормов: рекомендации / С. И. Станкевич, С. И. Холдеев. – Горки: БГСХА, 2016. – 29 с.
4. Клочков, А. В. Заготовка кормов зарубежными машинами / А. В. Клочков, В. А. Попов, А. В. Адашь. – Горки: 2001. – 201 с.
5. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур: рекомендации // Официальный сайт предприятия РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belagromech.by/news/osobennosti-tehnologij-i-tehnicheskoe-obespechenie-zagotovki-kormov-iz-trav-i-silosnyh-kultur/>. – Дата доступа: 20.10.2024.
6. Технологический регламент, техническое обеспечение и технологические карты выращивания и заготовки кормов из трав: регламент // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», РНДУП «Институт мелиорации». – Минск, 2011.
7. Гальков, В. Ю. Совершенствование процесса подготовки рулонов сенажа для приготовления кормосмесей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.Ю. Гальков / Мичуринский государственный аграрный университет. – Мичуринск, 2015. – 167 с.