

Э. В. Дыба¹, П. В. Яровенко¹, Л. И. Трофимович¹, А. И. Пунько²,
А. Ю. Гордиевич², Е. А. Рацкевич²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru; trofimovich88@mail.ru

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНЯТИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАПРЕССОВАННЫХ КОРМОВ

Аннотация. В статье представлены результаты теоретических исследований по обоснованию конструкции и технологических параметров 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.

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

E. V. Dyba¹, P. V. Yarovenko¹, L. I. Trofimovich¹, A. I. Punko²,
A. Yu. Gordievich², E. A. Ratskevich²

¹ RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua@mail.ru; trofimovich88mail.ru

² EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

THEORETICAL PREREQUISITES FOR CALCULATING THE DEVICE DESIGN FOR REMOVING POLYMERIC MATERIALS FROM PRESSED FEED

Abstract. The article presents the results of theoretical studies to substantiate the design and technological parameters of a feed cutter. An 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 the design of a device that ensures the separation of packaging polymer materials during the preparation and distribution of feed.

Keywords: analysis, feed cutter, working parts, 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 И. И. Пиуновский, И. М. Лабоцкий, С. И. Станкевич, А. В. Клочков, Ф. И. Привалов 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 запрессованном виде и научным обоснованием конструкции и технологических параметров технического средства, обеспечивающего отделение упаковочных полимерных материалов в процессе подготовки и раздачи корма.

В ходе выполнения НИР 1 задания 6.18 «Теоретическое обоснование инженерных решений по разработке устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», 2021–2025 гг. заказчиком проекта поставлены определенные конструктивно-технологические требования к новой машине: высокая эффективность, низкая металлоемкость, 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 путем механизации операции снятия полимерных материалов.

Основная часть

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

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

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

Принимаем размер $A = 2,1$ м.

Длина зубьев L составляет примерно половину максимального диаметра разрезаемых рулонов:

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

Принимаем размер $L = 0,9$ м.

Радиус резака составляет примерно:

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

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.

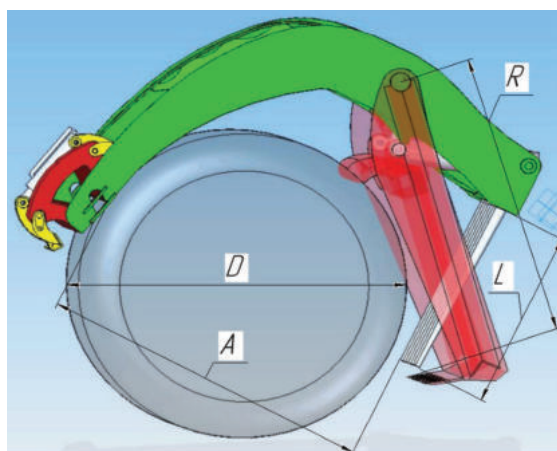


Рисунок 1 – Схема резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов

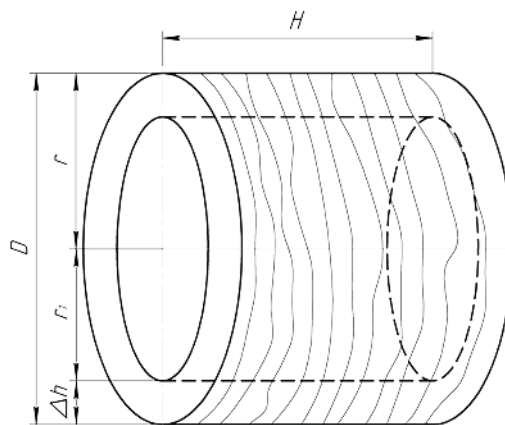


Рисунок 2 – Схема геометрических параметров рулона

Процесс резания рулонов сенажа повышенной плотности, упакованных в полимерную пленку, 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 (рисунок 2).

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 (рисунок 3), определяются согласно выражению:

$$F_{\text{спр}} = F_{\text{рез}} + F_{\text{сж}} + F_{\text{обж}}^{\phi} + F_{\text{тр}}^{\phi} + F_{\text{тр}}^{r1} + F_{\text{тр}}^{r2} + F_{\text{тр}}^{\text{н}}, \quad (4)$$

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; $F_{\text{тр}}^{r1}$, $F_{\text{тр}}^{r2}$ – силы трения на боковых гранях ножа, возникающие под действием сил обжатия граней, Н; $F_{\text{тр}}^{\text{н}}$ – силы трения поверхности рулона сенажа по направляющим разрезающего устройства, Н.

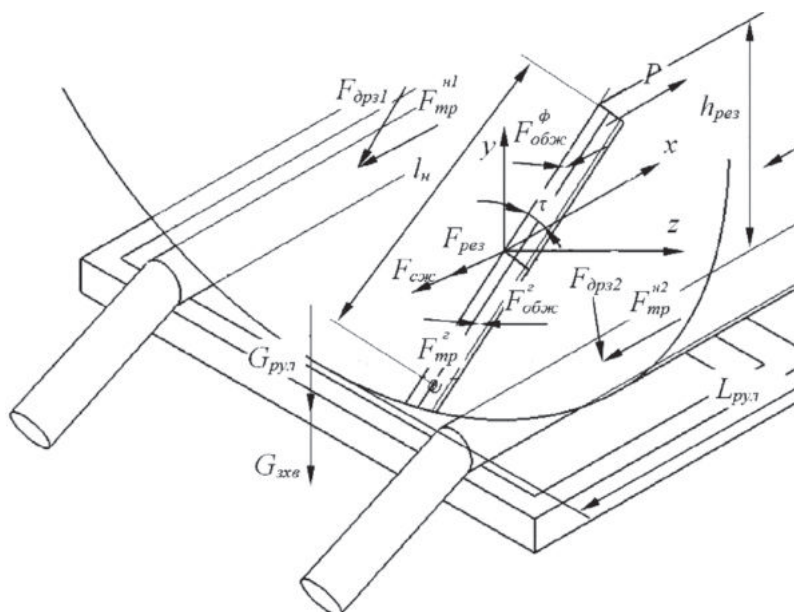


Рисунок 3 – Схема взаимодействия ножа с рулоном сенажа

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

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

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 материала 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 (рисунок 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:

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

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:

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

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

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

Подставляя все значения, можно рассчитать значение удельной работы резания:

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

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 1 930–6 130 Н.

Устройство для снятия полимерных материалов должно функционировать от одной свободной линии гидросистемы погрузчика и включать механизм зажима упаковки в начальный мо-

мент 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 пленкой 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, но для рулонов, обмотанных шпагатом, не применяются, так как имеют небольшую ширину захвата 250–300 мм, а ширина обмотки шпагатом составляет 1 000–1 200 мм, 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 1 000 мм и теоретически могут работать с рулонами, обмотанными как шпагатом, так и сеткой, однако опыта использования таких устройств с рулонами, обмотанными шпагатом, нет.

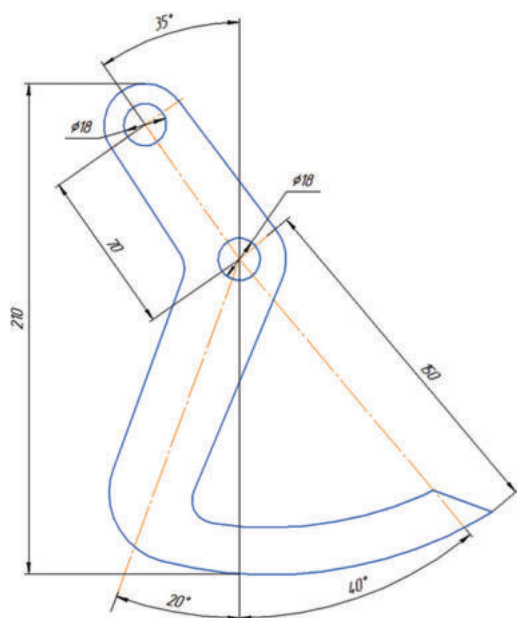


Рисунок 4 – Схема крючка

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-180–1 200 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.

Технологическая схема работы универсального крючкового захвата приведена на рисунке 5.

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-го и 2-го ряда, внедрение крючков в рулон и удержание упаковки на всей длине упаковки рулона. В процессе внедрения крючков разрыв полимерной пленки должен быть не сплошным, а местным, чтобы не произошло разрыва пленки и ее падения в кормораздатчик. В процессе работы захват должен удерживать полимерную упаковку из пленки и пропиленового шпагата или из пленки и сетки с минимальным захватом кормовой массы. Рабочая ширина разрабатываемого универсального крючкового захвата – 1 200 мм.

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

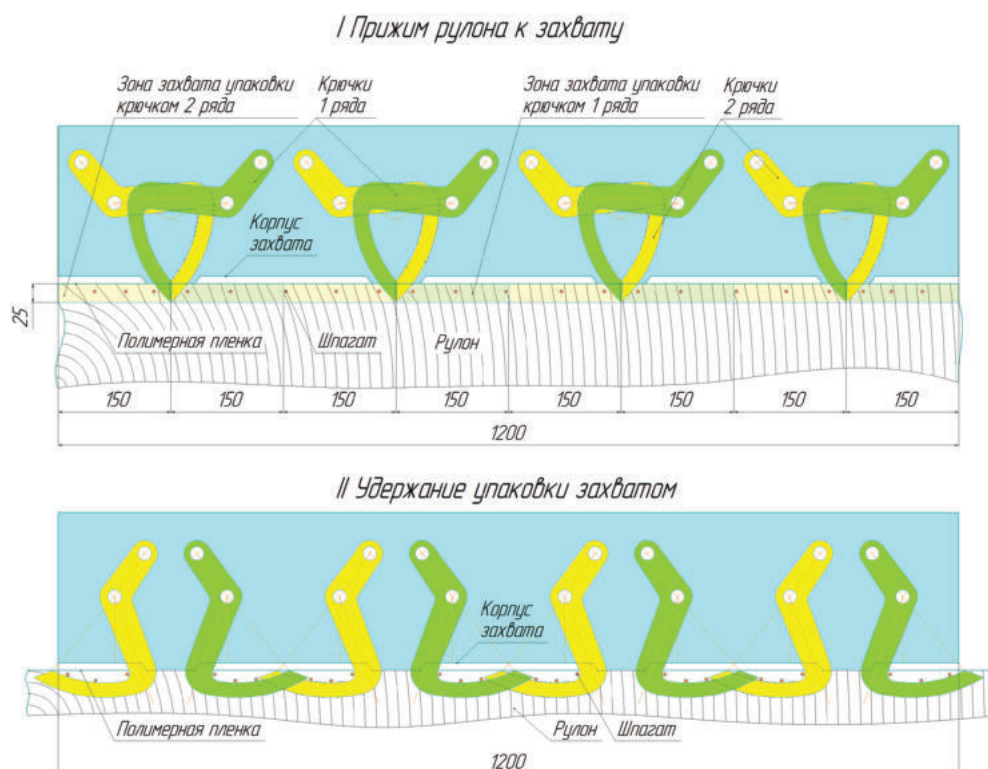


Рисунок 5 – Технологическая схема универсального захвата

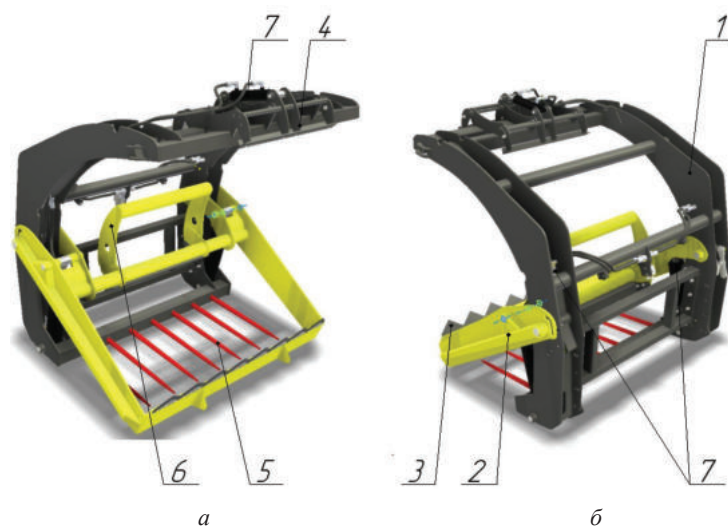


Рисунок 6 – 3D-модель конструкции резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов: а – вид спереди; б – вид сзади; 1 – рама; 2 – резак; 3 – нож (сегментный); 4 – устройство для снятия полимерных материалов (гидрофицированный); 5 – зубья; 6 – упор; 7 – гидрооборудование

Резчик рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов (рисунок 6) состоит из рамы 1, ножевого резака 2 П-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.

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 резаке с целью обеспечения разделки рулонов различных диаметров: 1 200 мм, 1 500 мм и 1 800 мм.

Гидрооборудование резчика рулонов состоит из двух гидроцилиндров привода резака, 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 (рисунок 7).

Далее рулон укладывается боковой поверхностью на горизонтальной площадке, и резчик с установленным в нижнее положение резаком 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 разреза рулона составит около 700 мм, происходит автоматическое срабатывание устройства для снятия полимерной упаковки: 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.

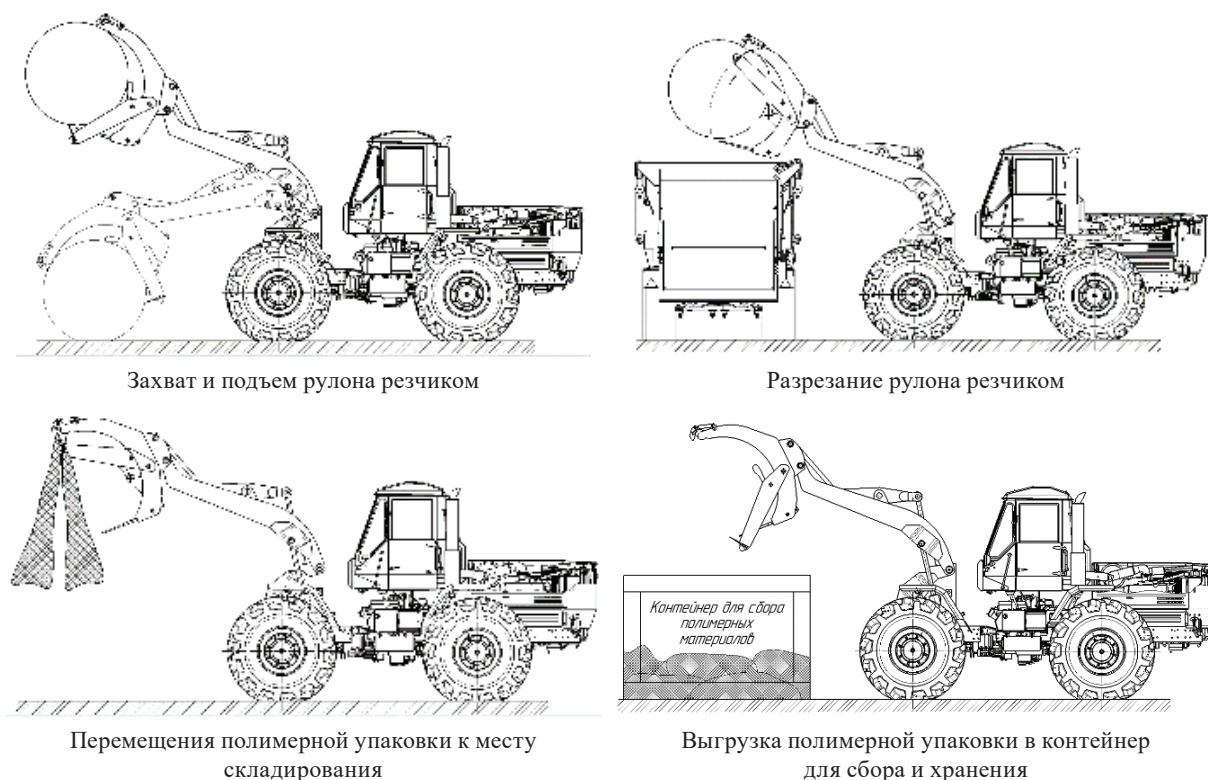


Рисунок 7 – Процесс резания рулонов со снятием полимерных материалов

Заключение

Анализ теоретических исследований процесса взаимодействия режущего элемента ножа с кормовым массивом рулонов сенажа, упакованных в пленку 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 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 1 200 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.

Список использованных источников

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, С. Г. Яковчик, И. М. Лабонский, Л. И. Трофимович // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных 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 РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018–2024. – URL: <https://belagromech.by/news/osobennosti-tehnologij-i-tehnicheskoe-obespechenie-zagotovki-kormov-iz-trav-i-silosnyh-kultur> (дата обращения: 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 : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Гальков Виталий Юрьевич / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2015. – 167 л.