

Э. В. Дыба¹, А. М. Хартанович¹, А. И. Пунько², Г. И. Кошля²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru; Khartanovich7759@gmail.com

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЗАХВАТЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Аннотация. В статье представлена конструктивно-технологическая схема с алгоритмом функционирования захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу, а также описан технологический процесс работы подборщика-транспортировщика с автоматизированным захватывающим устройством, представлена методика экспериментальных исследований оптимальных параметров автоматизированного захватывающего устройства.

Ключевые слова: уборка спрессованных кормов, подборщик-транспортировщик, платформа, методика, эксперимент, исследование, устройство, режим, показатель, усилие, коэффициент, упаковка, полимерный материал, транспорт, травяные корма, рулон, захватывающее устройство.

E. V. Dyba¹, A. M. Khartanovich¹, A. I. Punko², G. I. Koshlya²

¹RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus

²UE "Belarusian State Agrarian Technical University"
Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru; Khartanovich7759@gmail.com

DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL RESEARCH METHODS FOR JUSTIFICATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF AUTOMATED GRIPPING DEVICE

Abstract. The article presents a structural and technological scheme with an algorithm of operation of a gripping device for automated selection and loading of compressed feed on a transport platform, as well as describes the technological process of operation of a picker-transporter with an automated gripping device, presents a methodology for experimental studies of optimal parameters of an automated gripping device.

Keywords: harvesting of compressed feed, picker-transporter, platform, technique, experiment, research, device, mode, indicator, effort, coefficient, packaging, polymer material, transport, grass feed, roll, gripping device.

Введение

За последние годы в Республике Беларусь предприняты решительные шаги по внедрению в сельхозпроизводство прогрессивных идей. На это потрачены значительные средства, но результаты порой оказываются гораздо скромнее ожидаемых. Впрочем, в ряде хозяйств, где ставку сделали на инновации, достигнуты высокие показатели продуктивности животных при низких трудовых и энергетических затратах на производство молока. Очевидно, что для обеспечения снижения затрат на производство продукции животноводства необходимо применять эффективные ресурсосберегающие технологии. Наиболее полно соответствует этому требованию технология заготовки травяных кормов (сенаж, сено, солома) прессованием в крупногабаритные тюки или рулоны. Данная технология позволяет механизировать все технологические операции, снизить потери кормов при их заготовке, а также повысить сохранность заготавливаемых кормов. При этом перспективной технологией, позволяющей осуществить комплексную механизацию

заготовки кормов в условиях Республики Беларусь, является уборка их рулонными пресс-подборщиками [1]. Благодаря простоте конструкции и гораздо меньшей стоимости по сравнению с пресс-подборщиками для заготовки кормов в крупногабаритных прямоугольных тюках они занимают доминирующее положение на мировом рынке среди прессовальной техники (до 80 % продаж машин для подбора валков) [2]. Рулонные пресс-подборщики отличаются универсальностью, с их помощью можно заготавливать сено, сенаж, солому и лен. Создание устройства для герметичной упаковки рулонов в полимерную пленку открыло широкие возможности для заготовки в рулонах кормов повышенной влажности [3].

Однако одним из узких мест, сдерживающих темпы и эффективность заготовки травяных кормов, являются транспортные и погрузочно-разгрузочные работы. В общих затратах труда на производство продукции животноводства, транспортирование и погрузочно-разгрузочные работы составляют от 40 до 45 %, а затраты топлива до 50 % [4]. Это объясняется несовершенством средств механизации, предназначенных для работ со сформированными рулонами. Потеря времени на операциях подбора и укладки рулонов в скирду приводят к снижению производительности. Кроме того, увеличивается время уборки кормов с поля, что приводит к увеличению вероятности попадания под дождь и ухудшению качества заготавливаемого корма. Поле не освобождается от спрессованных кормов в требуемые сроки, что задерживает проведение последующих агротехнических мероприятий [5]. Нерешенным остается и вопрос погрузки, перевозки, скирдования рулонов сенажа, упакованных в полимерную пленку. Из-за несовершенства конструкций погрузочных устройств, а также транспортных платформ происходит повреждение упаковки [6].

Поэтому повышение эффективности транспортных и погрузочно-разгрузочных работ является одним из существенных резервов для снижения себестоимости животноводческой продукции и роста рентабельности предприятий агропромышленного комплекса.

Одно из решений существующей проблемы – использование специализированных сборочно-транспортных средств с автоматизированным подбором и загрузкой спрессованных кормов, получивших широкое распространение за рубежом, но недостаточно адаптированных для условий Республики Беларусь. Применение данных средств механизации позволяет повысить производительность и снизить затраты на ТСМ, разгрузить механизатора и дать ему возможность лучше сконцентрироваться на окружающей его обстановке, сократить холостые пробеги по полю и исключить непроизводительные переезды, а также обеспечить наиболее полное использование грузоподъемности транспортных средств [7].

В ходе выполнения научно-исследовательской работы была разработана конструктивно-технологическая схема и алгоритм функционирования захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу, а также обоснованы конструктивные и кинематические параметры автоматизированного захватывающего устройства. По результатам проделанной работы необходимо провести экспериментальные исследования для уточнения и проверки достоверности полученных теоретических положений, а также для определения оптимальных конструктивных и кинематических параметров захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу.

Основная часть

Анализ патентной информации наиболее развитых стран в отношении подборщиков-транспортировщиков спрессованных кормов с автоматизированным захватывающим устройством позволил определить лучшие промышленно-освоенные объекты техники. В результате выполненного обзора было установлено, что фирмами ANDERSON GROUPE (Канада) и SAMCO SYSTEM (Ирландия) были разработаны и реализуются сельхозпроизводителям подборщики-транспортировщики спрессованных кормов с автоматизированным захватывающим устройством, предназначенные для подбора, самопогрузки и транспортировки рулонов сена, соломы и провяленной зеленой массы (в том числе упакованных в полимерную пленку), а также саморазгрузки в месте складирования [8, 9].

На основании проведенного обзора и анализа современных конструкций захватывающих устройств, применяемых для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу, лабораторией механизации заготовки кормов РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» была разработана конструктивно-технологическая схема и алгоритм функционирования захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов.

Погрузочно-захватывающее устройство (рисунок 1) предназначено для подбора и погрузки рулонов на транспортную платформу в автоматизированном или ручном режиме. Специальная конструкция погрузочно-захватывающего устройства позволяет захвату при подборе рулона автоматически выполнять движение назад, перемещаясь по несущей балке захвата, что дает возможность за это время сжать и поднять погрузочным рычагом рулон с земли без волочения, пока трактор продолжает движение к следующему рулону при максимальной скорости 3 км/ч.

Погрузочно-захватывающее устройство состоит из основания 1, к которому крепится телескопический погрузочный рычаг 2 с гидроцилиндром 3, несущей балки 4 с гидроцилиндром 5 и гидромотором 6, по которой перемещается захватывающее устройство, состоящее из несущего корпуса 7 с гидроцилиндром 8, подъемно-поворотного блока 9 с гидроцилиндром 10, зажимной рамы 11, двух прижимных лап большой 12 и малой 13, гидроцилиндра 14, упора-датчика 15, двух обрезиненных прижимных вальцов 16 и 17, а также осей, втулок, крепежных деталей и других элементов гидрооборудования.

На рисунке 2 представлена конструктивно-технологическая схема захвата рулона автоматизированным погрузочно-захватывающим устройством.

На рисунке 3 представлены функции работы подборщика-транспортировщика рулонов с автоматизированным захватывающим устройством.

Описание функций работы подборщика-транспортировщика рулонов с автоматизированным захватывающим устройством (рисунок 3): 1 – открытие и закрытие захвата; 2 – подъем-опускание

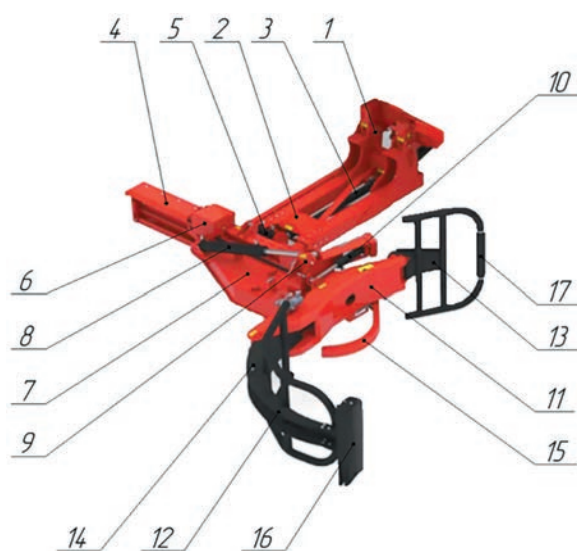


Рисунок 1 – Погрузочно-захватывающее устройство

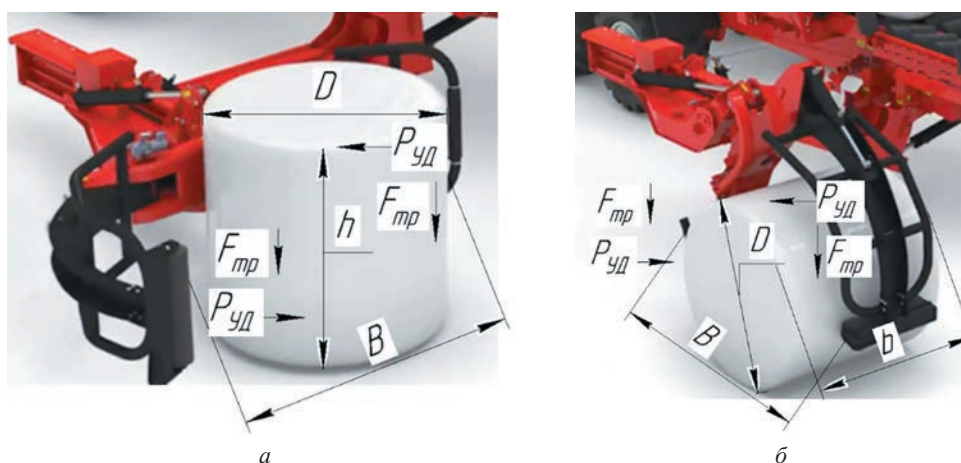


Рисунок 2 – Конструктивно-технологическая схема захвата рулона автоматизированным погрузочно-захватывающим устройством: а – захват рулона, расположенного на торцевой поверхности (вертикально); б – захват рулона, расположенного на боковой поверхности (горизонтально)

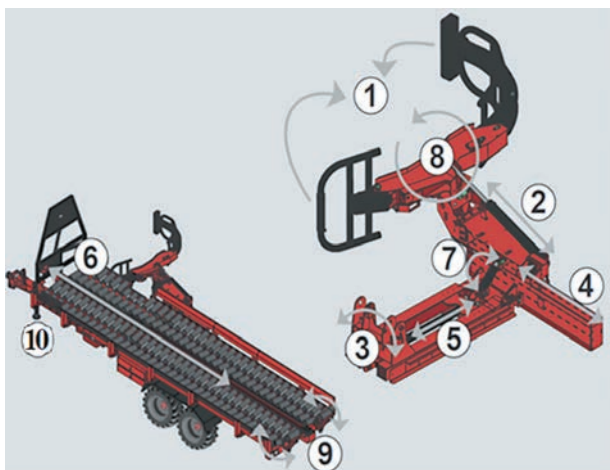


Рисунок 3 – Функции работы подборщика-транспортировщика рулонов с автоматизированным захватывающим устройством

блока захвата; 3 – подъем-опускание погрузочного рычага; 4 – продольное перемещение захватывающего устройства (назад-вперед); 5 – выдвижение и втягивание погрузочного рычага; 6 – перемещение толкающей стенки (назад-вперед); 7 – поворот несущей балки; 8 – поворот блока захвата; 9 – подъем-опускание задних бортов; 10 – наклон платформы.

Технологический процесс захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу осуществляется следующим образом. Перед началом процесса подбора и загрузки спрессованных кормов тракторист-машинист с помощью пульта управления выбирает режим работы захватывающего устройства (автоматический или ручной), а также выбирает размеры (1,2 м; 1,5 м или 1,8 м)

и ориентацию захвата (вертикальная, горизонтальная) загружаемых рулонов. Также при необходимости регулируется давление захвата для рулонов разной плотности прессования. Согласно технологическому процессу подбор и загрузка рулонов происходит в движении (без остановки подборщика-транспортировщика), следовательно, в момент захвата и подъема рулона он не должен двигаться по почве (стерне), чтобы не повреждать полимерную упаковку и не загрязняться. Чтобы выполнялось это условие, конструкция погрузочно-захватывающего устройства имеет несущую балку, по которой при помощи гидромотора перемещается несущий корпус захвата со скоростью $v_{гм}$ равной или большей рабочей скорости подборщика-транспортировщика $v_{птр} = 3$ км/ч. Таким образом, при движении подборщика-транспортировщика и выполнении операций захвата (сжатия) рулона и начала его подъема, захватывающее устройство со стоящим на месте рулоном перемещается назад по несущей балке (около 1 м или 1,2–2,0 с) до момента подъема рулона и опрокидывания его в вертикальном положении на 90° с помощью подъемно-поворотного блока. Далее, после того как рулон поднят с земли и опрокинут в вертикальном положении на 90° , захватывающее устройство вместе с рулоном перемещается в исходное переднее положение для последующей его загрузки на платформу погрузочным рычагом. Телескопическая конструкция погрузочно-захватывающего устройства позволяет загружать рулоны в два яруса.



Рисунок 4 – Этап захвата рулона в вертикальном положении автоматизированным захватывающим устройством



Рисунок 5 – Этап подъема рулона и опрокидывания его в вертикальном положении на 90° автоматизированным захватывающим устройством



Рисунок 6 – Этап загрузки рулона, расположенного вертикально, на платформу погрузочным рычагом



Рисунок 7 – Этап перемещения рулонов по платформе толкающей стенкой



Рисунок 8 – Этап захвата рулона в горизонтальном положении автоматизированным захватывающим устройством



Рисунок 9 – Этап подъема рулона и опрокидывания его в горизонтальном положении на 135° автоматизированным захватывающим устройством



Рисунок 10 – Этап поворота рулона в горизонтальном положении на 90°



Рисунок 11 – Этап загрузки рулона в горизонтальном положении на платформу погрузочным рычагом

На рисунках 4–7 представлена технологическая схема подбора и загрузки рулонов в вертикальном положении.

На рисунках 8–11 представлена технологическая схема подбора и загрузки рулонов в горизонтальном положении.

На рисунках 12 и 13 представлены технологические схемы выгрузки рулонов с платформы в вертикальное и горизонтальное положение. Выгрузка рулонов осуществляется путем наклона платформы назад под определенным углом при помощи гидроцилиндра, а также с помощью

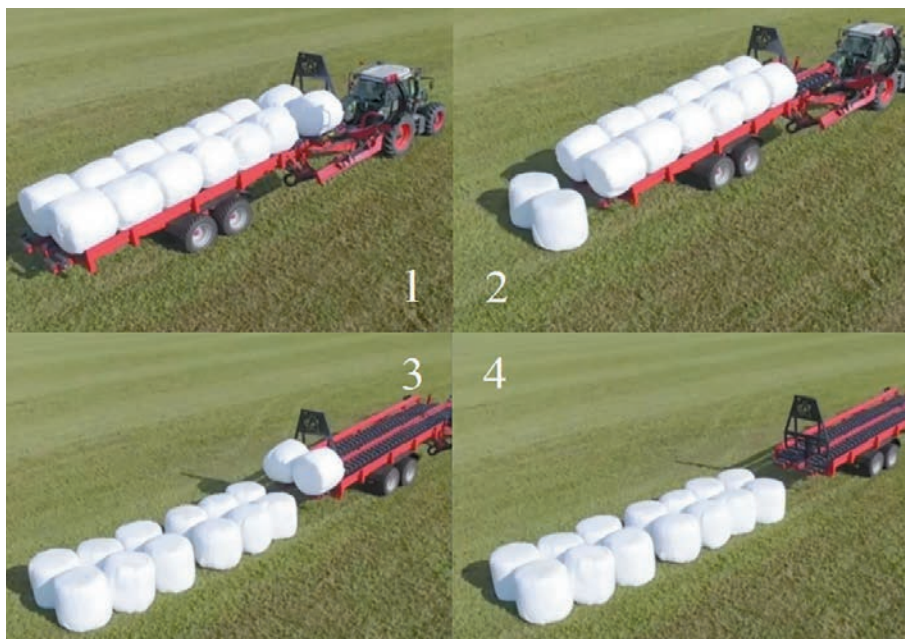


Рисунок 12 – Технологическая схема выгрузки рулонов с платформы в вертикальное положение

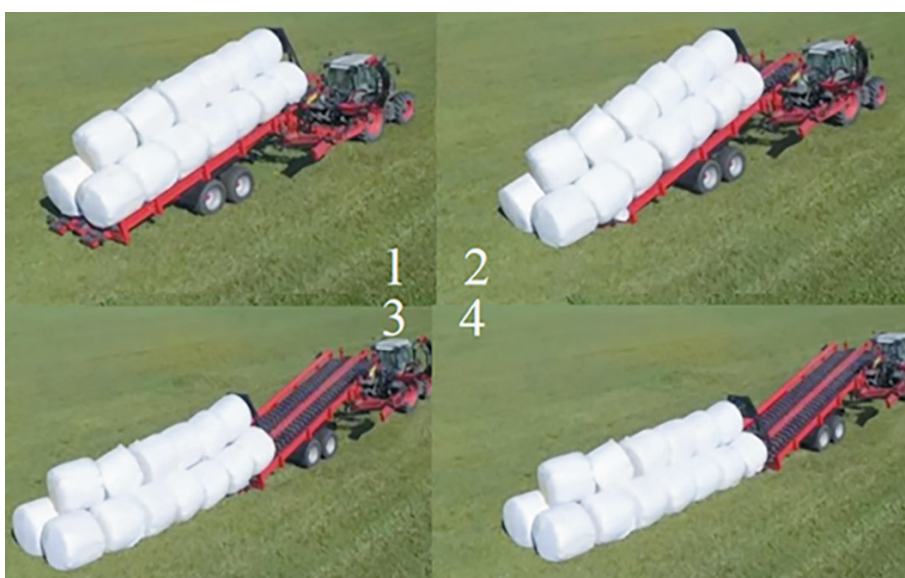


Рисунок 13 – Технологическая схема выгрузки рулонов с платформы в горизонтальное положение

толкающей стенки, которая последовательно перемещает рулоны до полной выгрузки. В результате поступательного движения трактора рулоны последовательно укладываются в вертикальное (рисунок 12) или горизонтальное (рисунок 13) положение, в два или три ряда. Чтобы выгрузить рулоны в вертикальное положение необходимо поднять платформу наполовину (на 15°). При таком угле выгрузки в результате поступательного движения трактора рулоны последовательно укладываются (съезжают с задних роликовых бортов платформы) на землю в два ряда. Для того, чтобы выгрузить рулоны в горизонтальное положение необходимо поднять платформу до упора (на 30°). При таком угле выгрузки в результате поступательного движения трактора рулоны последовательно съезжают с задних роликовых бортов платформы на землю в два или три ряда. Для контроля процесса выгрузки рулонов подборщик-транспортёр оборудован задней видеокамерой.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы была разработана конструктивно-технологическая схема и алгоритм функционирования захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу, а также обоснованы конструктивные и кинематические параметры автоматизированного захватывающего устройства. По результатам этих выполненных работ необходимо провести экспериментальные исследования, чтобы убедиться в точности и достоверности полученных теоретических положений, а также с целью определить оптимальные конструктивные и кинематические параметры захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу.

Программа экспериментальных исследований предусматривает следующие действия:

- установить влияние усилия сжатия рулона и угла обхвата рулона захватывающим устройством на надежность удержания при различной плотности рулонов со следующими переменными факторами: усилие сжатия $F_{сж}$, кН; угол обхвата рулона α° ; плотность рулона, ρ , кг/м³;
- отработать алгоритм функционирования захватывающего устройства в автоматизированном и ручном режиме при подборе и погрузке рулонов на транспортную платформу в вертикальном положении.

Выбор факторов, влияющих на значения основных критериев, определяющих оптимальные параметры захватывающего устройства при удержании рулона, основывался на анализе данных из литературных источников, поисковых опытов и собственных наблюдений. Факторы, влияние которых уже установлено, а значения оптимизированы другими исследователями, принимались постоянными. Другие факторы устанавливались, исходя из условий проведения экспериментов и результатов поисковых опытов. За константы при проведении экспериментов были приняты величины, ранее оптимизированные другими исследователями.

Было установлено, что на усилие сжатия рулона и усилие удержания влияют:

- количество поперечных прижимных труб на захватах и расстояние между ними. Расстояние между прижимными трубами должно обеспечивать надежное удержание рулона как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, компенсировать отклонение положения захвата от центра рулона, а также исключать повреждение упаковочного материала рулона. Для проведения исследований было назначено расстояние между прижимными трубами захватов 0,45 м, при количестве труб на одном захвате – 3 шт.;

– геометрическая форма захватов, которая должна обеспечивать максимальную силу трения о поверхность рулона или упаковочный материал при минимальном усилии сжатия рулона. Для проведения исследований был назначен радиус кривизны рамы захватывающего устройства – 0,7 м;

– угол обхвата рулона захватывающим устройством, который должен обеспечивать надежное удержание рулона при приложении минимально необходимого усилия сжатия с целью обеспечения целостности обвязки или обмотки рулона. Для проведения опытов было назначено три значения угла обхвата рулона: 240°, 255°, 270°;

– площадь поперечного сечения захватов. Рама захватывающего устройства повторяет форму образующей поверхности рулона. Следовательно, можно предположить, что наибольшее усилие будет возникать на концах захватов. Диаметр захватов определяется прочностными характеристиками материала захватов и выбирается наименьшим, обеспечивающим жесткость конструкции и надежность захвата рулона захватывающим устройством;

– физико-механические свойства сенажа;

– способ упаковки рулонов.

Надежность удержания рулона определяется следующим коэффициентом удержания:

$$K_y = \frac{F_{уд}^i}{F_{ГР}}, \quad (1)$$

где $F_{уд}^i$ – усилие удержания рулона в горизонтальном ($i = г$) или вертикальном ($i = в$) положениях, кН; $F_{ГР}$ – фактический вес рулона, кН.

Определение средней плотности материала рулона будет осуществляться с помощью взвешивания рулона на весах. Определение средней плотности материала рулона будет производиться по формуле

$$\rho = \frac{4m_p}{\pi d^2 L}, \quad (2)$$

где m_p – масса рулона, кг; d – диаметр рулона, м; L – длина рулона, м.

Для расчетов будут применяться средние показатели замеров массы, диаметра и длины реального рулона. Диаметр и длина рулона замеряются после взвешивания. Для определения диаметра рулон разбивается на четыре части, а замеры производятся по четырем высотам, в таблицу заносятся средние значения.

Перечень основных средств измерений, применяемых при исследованиях, представлены в таблице, приборы, определенные стандартными методиками, не приведены.

Перечень приборов, оборудования и приспособлений, применяемых при проведении исследований

Определяемая величина	Средство измерений	Погрешность
Время, с	Секундомер типа СДС ГОСТ 5072-79	$\pm 0,2$
Масса, кг	Весы автомобильные Динамометр типа ДПУ-10-2 (100–1000 кг)	± 1 ± 10
Линейные размеры, мм	Линейка измерительная (до 2,0 м) ГОСТ 427-75 Рулетка типа ЗПТЗ	± 1 ± 1
Рабочее давление, МПа	Манометр (30 МПа)	± 1
Усилие сжатия, кН	Манометр (40 кН)	± 1

При упаковке рулона в пленку снижается коэффициент трения захватов о рулон. Опыты должны проводиться на рулонах, обмотанных в сетку, а также упакованных в пленку массой до 1 000 кг. В процессе проведения опытов будут определены:

- физико-механические свойства рулонов: плотность, влажность, а также деформация рулона;
- технологические свойства рулонов: масса, геометрические параметры, расположение на поле.

Для проведения исследований работы захватывающего устройства, будут заготовлены рулоны из сена и провяленных трав различной плотности – 110, 205, 300 кг/м³. Опыты будут проводиться для каждого материала при различной плотности отдельно по плану. Для определения влияния упаковочного материала на надежность удержания рулона, будут проводиться опыты на рулонах из провяленных трав, обмотанных стрейч-пленкой в 5–6 слоев. Исходя из анализа литературных источников, коэффициент трения стали по пленке составляет 0,25.

При проведении исследований ставится задача получить данные по усилию удержания рулона на весу в вертикальном положении, а также возможной деформации рулона при воздействии на него захватов. Для решения поставленной задачи макетный образец захватывающего устройства будет оснащен регулятором давления усилия сжатия рулона, а также измерительными манометрами, которые будут установлены в каналы соответствующих гидравлических магистралей. Также в процессе проведения исследований будет отработан алгоритм функционирования и работа захватывающего устройства в автоматизированном режиме.

Заключение

Проведение экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивных и кинематических параметров захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу согласно разработанной методике, позволит уточнить и проверить достоверность полученных теоретических положений, а также определить рациональное значение ключевых факторов и величин.

На основании проведенных экспериментальных исследований будут разработаны технические требования на конструкцию автоматизированного захватывающего устройства.

Список использованных источников

1. Соловьева, Н. Ф. Современные рулонные пресс-подборщики / Н. Ф. Соловьева // Техника и оборудование для села. – 2001. – № 11. – С. 18–22.
2. Особов, В. И. Современные пресс-подборщики «КЛААС» / В. И. Особов // Техника и оборудование для села. – 2000. – № 9. – С. 8–10.
3. Ахламов, Ю. Л. Заготовка корма в рулонах / Ю. Л. Ахламов, А. В. Шевцов // Кормопроизводство. – 2001. – № 6. – С. 28–29.
4. Измайлов, А. Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК / А. Ю. Измайлов // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, ФГНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса». – М. : Росинформагротех, 2007. – 197 с.
5. Техническое обеспечение кормоуборочных работ. Состояние и перспективы : в 2 т. / И. М. Лабоцкий, П. В. Яровенко, Н. А. Горбачевич, И. М. Ковалева // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Мн. : 2013. – Вып. 47. – Т. 2. – С. 3–10.
6. Трофимович, Л. И. Средства механизации для уборки стебельчатых кормов, запрессованных в тюки или рулоны / Л. И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», Минск, 18–20 октября 2017 г. – Мн. : Бел. наука, 2017. – С. 59–68.
7. Современные механизированные технологии заготовки кормов из трав и перспективы их развития / И. М. Лабоцкий, С. В. Крылов, Н. А. Горбачевич [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохоз. производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 октября 2010 г. : в 2 т. – Мн. : НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2010. – Т. 2. – С. 8–13.
8. Самозагружающиеся транспортировщики рулонов : оф. сайт компании ANDERSON GROUPE. – URL: <https://grpanderson.com/en/trailers> (дата обращения: 05.12.2025).
9. Самозагружающийся транспортировщик рулонов CTS-1600 : оф. сайт компании SAMCO SYSTEM. – URL: <https://www.samco.ic/machinery/bale-trailer> (дата обращения: 05.12.2025).