УДК 631.373-374

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОГРУЗОЧНО-ЗАХВАТЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Э. В. ДЫБА, А. М. ХАРТАНОВИЧ

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

А. И. ПУНЬКО, Г. И. КОШЛЯ, П. В. АВРАМЕНКО

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

(Поступила в редакцию 10.07.2026)

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 % 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 рулона

Для устранения данных недостатков и повышения эффективности технологических операций необходима разработка нового погрузочно-транспортного средства с грузозахватным устройством для рулонов, Его конструкция должна обеспечивать поворот рулона при его укладке (укладывать рулон, как на образующую, так и на основание), исключать деформацию цилиндрических рулонов, сохранить целостность обвязки (пленки). Процесс подбора и укладки рулона на платформу должен осуществляться в автоматическом или ручном режиме, при этом должна обеспечиваться маневренность при подборе и укладке рулона на транспортную платформу и их плотная укладка между собой.

На основе 3D-модели макетного образца погрузочно-захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу выполнены необходимые конструктивно-технологических расчеты и разработан комплект конструкторской документации. После изготовления макетного образца захватывающего устройства на ОАО «Вороновская сельхозтехника» проведены необходимые экспериментальные исследования, в том числе отработка алгоритма его функционирования в автоматизированном и ручном режимах.

Ключевые слова: *подборщик-транспортировщик, платформа, захватывающее устройство, рулон, эксперимент, исследование, показатель, усилие, параметры.*

One of the bottlenecks hindering the pace and efficiency of grass forage harvesting is transportation and loading and unloading operations. Transportation and loading and unloading account for 40 to 45 % of the total labor costs for livestock production, while fuel costs account for up to 50 %. The issue of loading, transporting, and stacking bales of silage wrapped in plastic film also remains unresolved. Due to imperfect designs of loading devices and transport platforms, damage to the roll packaging occurs.

To address these shortcomings and improve the efficiency of process operations, it is necessary to develop a new loading and transport vehicle with a roll gripping device. Its design must ensure roll rotation during placement (place the roll both on the generatrix and on the base), prevent deformation of cylindrical rolls, and maintain the integrity of the strapping (film). The process of picking up and placing the roll on the platform must be carried out automatically or manually, ensuring maneuverability during picking up and placing the rolls on the transport platform and ensuring tight packing between them.

Based on a 3D model of a prototype loading and gripping device for automated picking up and loading of compressed feed onto the transport platform, the necessary design and technological calculations were performed and a set of design documentation was developed. After manufacturing a prototype of the gripping device, Voronovskaya Selkhoztekhnika OJSC conducted the necessary experimental studies, including testing the algorithm for its operation in automated and manual modes.

Key words*: pick-up-transporter, platform, gripping device, bale, experiment, research, indicator, force, parameters.*

Введение

За последние 10 лет в Беларуси успешно зарекомендовала себя технология заготовки травяных кормов различной влажности в рулонах, упакованных в полимерную пленку. По данной технологии заготавливается около 1400 тыс. т сенажа [1]. При этом Минсельхозпрод считает целесообразным довести в ближайшие годы эти объемы до 3 млн т, что позволит обеспечить потребность поголовье животных в республике высококачественными кормами.

К преимуществам данной технологии можно отнести меньшую зависимость от погодных условий, что сокращает сроки заготовки кормов, комплексную механизацию заготовки кормов, что снижает общие трудозатраты, потери кормов, экономит энергозатраты, а также обеспечение высокого качества кормов [2].

Основными звеньями технологии заготовки травяных кормов в рулонах, упакованных в полимерную пленку, являются:

– процессы подбора и прессования провяленной до влажности 45–55 % травяной массы, обеспечивающие повышенную плотность (400–500 кг/м^3) прессования сенажа и качественную форму рулона;

– процесс обмотки (упаковки) рулона пленкой;

– процесс погрузки и транспортировки рулонов сенажа к месту хранения [3, 4].

Цель работы – разработка конструкции погрузочно-захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу с обеспечением целостности полимерной упаковки.

Основная часть

Специалистами лаборатории механизации заготовки кормов РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» на основании проведенных теоретических исследований, а также выполненных конструктивно-технологических расчетов определены основные параметры автоматизированного захватывающего устройства и разработан комплект конструкторской документации на макетный образец. 3D-модель макетного образца устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу представлена на рис. 1.

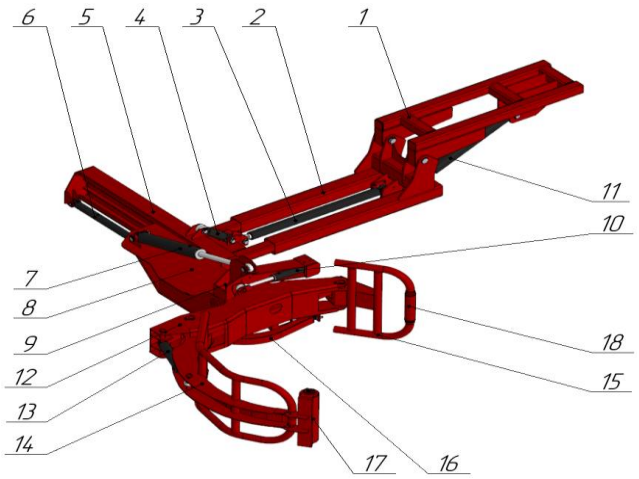


Рис. 1. 3D-модель макетного образца захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу:1 – основание; 2 – рычаг; 3, 4, 6, 7, 10, 11, 13 – гидроцилиндры; 5 – балка (несущая); 8 – корпус (несущий); 9 – блок (подъемно-поворотный); 12 – захват; 14 – лапа прижимная (большая); 15 – лапа прижимная (малая); 16 – упор-датчик; 17, 18 – валец прижимной

Погрузочно-захватывающее устройство состоит из основания 1 с гидроцилиндром 11, к которому крепится телескопический погрузочный рычаг 2 с гидроцилиндром 3, несущей балки 5 с гидроцилиндрами 4 и 6, по которой перемещается захватывающее устройство 12, состоящее из несущего корпуса 8 с гидроцилиндром 7, подъемно-поворотного блока 9 с гидроцилиндром 10, двух прижимных лап – большой 14 и малой 15, гидроцилиндра 13, упора-датчика 16, двух обрезиненных прижимных вальцов 17 и 18, а также осей, втулок, крепежных деталей и других элементов гидрооборудования.

Для проведения экспериментальных исследований на ОАО «Вороновская сельхозтехника» изготовлен макетный образец захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов (рис. 2). Это позволило отработать алгоритм его функционирования в автоматизированном и ручном режимах при подборе и погрузке рулонов на транспортную платформу в вертикальном положении, а также установить влияние усилия сжатия рулона и угла обхвата рулона захватывающим устройством на надежность удержания рулона. Разработка предназначена для подбора, самозагрузки и транспортирования рулонов сена, соломы и провяленной зеленой массы в полимерной упаковке с последующей саморазгрузкой их в местах складирования или хранения. Агрегатируется с тракторами мощностью от 120 до 150 л/с. Привод рабочих органов, в том числе автоматизированного захватывающего устройства, осуществляется от собственной гидросистемы подборщика-транспортировщика, которая приводится в действие от ВОМ трактора (число оборотов ВОМ – 16,7 $с^{-1}$) посредством карданного вала и входного редуктора с гидронасосом. Управление гидросистемой (рабочими органами) подборщика-транспортировщика осуществляется из кабины трактора при помощи пульта управления от бортовой системы напряжением 12 В. Общий вид представлен на рис. 3.



Рис. 2. Общий вид макетного образца



Рис. 3. Общий вид автоматизированного захватывающего устройства

Для проведения экспериментальных исследований по установлению влияния усилия сжатия рулона и угла обхвата рулона захватывающим устройством на надежность удержания рулона макетный образец оснащен сменными захватами, позволяющими менять угол обхвата рулона на – 240°, 255°, 270°. Также макетный образец захватывающего устройства оснащен регулятором усилия сжатия рулона в пределах 0–36 кН.

Для проведения исследований работы захватывающего устройства, были заготовлены рулоны из соломы, сена и провяленных трав различной плотности – 80–130, 140–200, 400–500 кг/м^3 соответственно. Опыты проводились для каждого материала при различной плотности отдельно по плану. Для определения влияния упаковочного материала на надежность удержания рулона, проводились опыты на рулонах из провяленных трав, обмотанных стрейч-пленкой в 5–6 слоев [5, 6].

Подготовка макетного образца для проведения экспериментальных исследований состояла из комплекса мероприятий по техническому обслуживанию механической и гидравлической частей, подключению и настройке пульта управления, обкатке трущихся поверхностей, настройке гидравлической системы на оптимальный режим работы, проверке работы регуляторов изменения усилия сжатия рулона, а также правильности показаний измерительной аппаратуры.

Перед проведением исследований была выполнена настройка, а также отработка алгоритма функционирования захватывающего устройства в автоматизированном и ручном режиме при подборе и погрузке рулонов на транспортную платформу в вертикальном положении. В ходе проведения настройки и отработки функционирования захватывающего устройства были проведены контрольные заезды на подборе рулонов с их загрузкой на платформу. Экспериментальные исследования проводились в ОАО «Вороновская сельхозтехника».

При проведении настройки и отработки функционирования захватывающего устройства было выявлено, что при обхвате рулона на 240° при диаметре рулона 1800 мм не обеспечивает надежное удержание рулона, поскольку возникает необходимость приложения больших усилий, что приводит к деформации и выскальзыванию (выталкиванию) рулона из захвата. Также выявлено, что для надеж-

ного удержания при захвате рулона сенажа, упакованного в пленку, необходимо приложение усилия не менее 18 кН. Остальные конфигурации захватывающего устройства обеспечивают надежный захват и удержание рулона диаметром от 1500 мм до 1800 мм.

В ходе выполнения контрольных заездов с разными комбинациями захватывающих устройств установлено, что макетный образец захватывающего устройства полностью выполняет технологический процесс автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу.

В ходе наблюдения за процессом автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу было установлено, что при подборе рулона сенажа, упакованного в пленку, усилия сжатия $F_{сж}$ = 18 кН недостаточно, а именно рулоны с большей массой медленно выскальзывают из захвата. В свою очередь, при силе сжатия $F_{сж}$ = 36 кН выявлено надежное удержание рулона без повреждения упаковочного материала.

При проведении исследований ставилась задача получить данные по усилию удержания рулона на весу в вертикальном положении, а также возможной деформации рулона при воздействии на него захватов (табл. 1).

Таблица 1. **Перечень показателей, определяемых при проведении исследований по усилию удержания рулона**

Угол обхвата рулона, град.	Масса рулона, $m_р$, кг	Плотность, кг/м^3	Коэффициент удержания рулона Ку при силе сжатия рулона $F_{сж}$			Степень деформации рулона
			3 кН	18 кН	36 кН	
рулон обвязан шпагатом						
240	235	60,7	1,28	7,56	15,32	при силе сжатия рулона 36 кН сильная деформация рулона, при угле 240° происходит его выталкивание
255	300	82,0	1,00	6,00	12,00	
270	293	76,5	1,02	6,14	12,29	
рулон обвязан сеткой						
240	326	143,6	0,92	5,52	11,04	при силе сжатия рулона 36 кН незначительная деформация рулона
255	330	150,6	0,91	5,45	10,91	
270	342	157,2	0,88	5,26	10,53	
рулон упакован в пленку						
240	852	485	0,35	2,11	4,23	существенной деформации рулона, а также повреждения пленки не выявлено. При силе сжатия рулона 18 кН, а также угле 240° происходит выскальзывание рулона
255	820	500	0,37	2,20	4,39	
270	815	515	0,37	2,21	4,42	

Также в процессе проведения исследований был отработан алгоритм функционирования и работы захватывающего устройства в автоматизированном 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 в направлении следующего рулона при максимальной скорости 3 км/ч. Согласно технологическому процессу подбор и загрузка рулонов происходит в движении (без остановки подборщика-транспортировщика). Конструкция погрузочно-захватывающего устройства имеет несущую балку, по которой при помощи гидромотора перемещается несущий корпус захвата со скоростью $\upsilon_{гм}$, равной или большей рабочей скорости подборщика-транспортировщика $\upsilon_{птр}$ = 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 90º с помощью подъемно-поворотного блока. После того, как рулон поднят с земли и опрокинут в вертикальном положении на 90º, захватывающее устройство вместе с рулоном перемещается в исходное переднее положение.

Фактическая грузоподъемность захватывающего устройства при подборе рулонов спрессованных травяных кормов составила до 1050 кг, продолжительность цикла загрузки рулона – до 23 с, диаметр загружаемых рулонов – 1,30–1,85 м. Деформация рулонов и повреждение их упаковочного материала при оптимальных режимах работы захватывающего устройства отсутствует.

Анализ данных по усилию удержания рулона на весу в вертикальном положении, полученных при проведении исследований, а также функциональных показателей работы макетного образца в автоматизированном режиме покажет наиболее эффективные параметры и режимы работы захватывающего устройства автоматизированного типа.

На основании проведенных экспериментальных исследований по определению функциональных показателей работы макетного образца захватывающего устройства в автоматизированном режиме выполнен анализ данных и обобщены полученные результаты.

Анализируя проведенные исследования и построенные графики (рис. 4–6), можно сделать вывод, что грузозахватное устройство с углом обхвата рулона а = 255° и более при усилии сжатия 18 кН обеспечивает надежное удержание рулона в вертикальном положении. Значение коэффициента удержания рулона в вертикальном положении возрастает с увеличением силы сжатия рулона грузозахватным устройством. Также анализ построенных графиков показывает, что угол обхвата рулона существенно не влияет на показатели коэффициента удержания рулона, которые в большей мере зависят от силы его сжатия. Так, при усилии сжатия $F_{сж}$ = 18 кН коэффициент удержания $К_у$ рулона, обвязанного шпагатом, при средней плотности 100 кг/м^3 составил 6,00–7,56 при углах обхвата рулона а = 240–270° соответственно (рис. 4). В свою очередь, при силе сжатия $F_{сж}$ = 36 кН коэффициент удержания $К_у$ рулона составил 12,00–15,32, чем и объясняется сильная деформация рулона, а также его выталкивание из захвата.

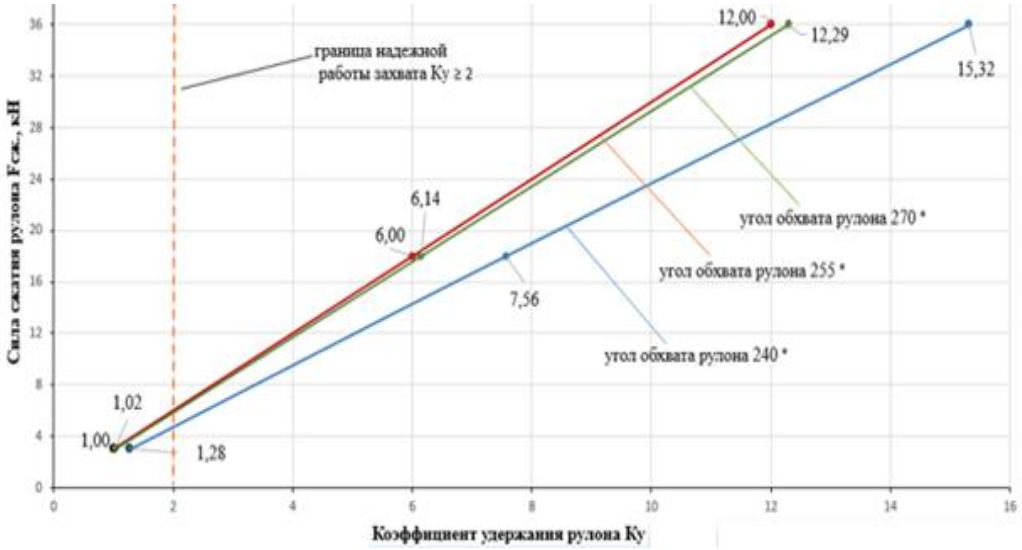


Рис. 4. Зависимость коэффициента удержания от усилия сжатия и угла обхвата рулона грузозахватным устройством для рулонов, обвязанных шпагатом, при средней плотности 100 кг/м^3

При усилии сжатия $F_{сж}$ = 18 кН, коэффициент удержания $К_у$ рулона, обвязанного сеткой, при средней плотности 100 кг/м^3 составил 5,26–5,52 при углах обхвата рулона а = 240°–270° соответственно (рис. 5). В свою очередь, при силе сжатия $F_{сж}$ = 36 кН коэффициент удержания $К_у$ рулона составил 10,53–11,04. Захват рулона выполняется качественно, выявлено его надежное удержание без повреждения сетки и выскальзывания рулона.

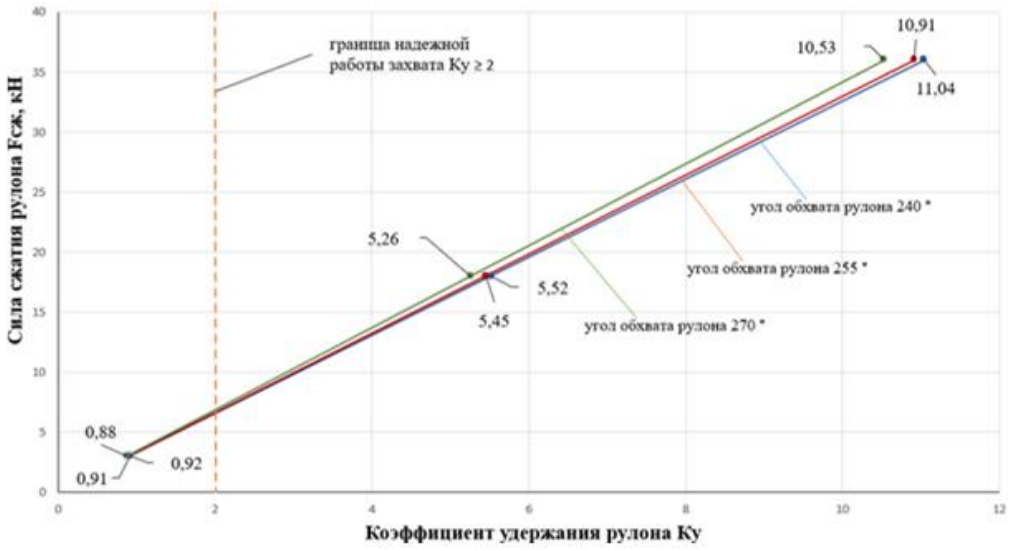


Рис. 5. Зависимость коэффициента удержания от усилия сжатия и угла обхвата рулона грузозахватным устройством для рулонов, обвязанных сеткой, при средней плотности 150 кг/м^3

При выдвижении захватов на поверхности контакта рулона и грузозахватного устройства, помимо сил трения, возникает также усилие опирания рулона на захваты, способствующее надежному удер-

жанию рулона. При малом угле обхвата рулона а = 240° и приложении усилия сжатия больше 18 кН надежность удержания снижается из-за изменения направления действия сил, возникающих на концах выдвижных захватов. Силы, выталкивающие рулон из грузозахватного устройства, начинают превышать силы трения, возникающие на поверхности контакта.

Значение коэффициента удержания рулона в вертикальном положении практически не зависит от угла обхвата рулона грузозахватным устройством, поскольку в таком положении удержание рулона происходит в основном за счет сил трения рулона о захваты (прижимные лапы), а при выдвижении захватов площадь поверхности трения увеличивается незначительно. Выталкивания рулона не происходит из-за влияния составляющей усилия прижатия рулона к раме захвата.

Коэффициент удержания рулона, упакованного в пленку, по сравнению с рулоном, обвязанным шпагатом или сеткой, снижается в результате снижения сил трения, возникающих на поверхности контакта. Зависимость коэффициента удержания от плотности рулона показывает, что с увеличением плотности надежность удержания снижается, что вызвано возрастанием упругих свойств материала.

В ходе наблюдения за процессом автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу, а также анализируя проведенные исследования и построенные графики, было установлено, что при подборе рулона сенажа, упакованного в пленку, усилия сжатия $F_{сж}$ = 18 кН недостаточно, а именно рулоны с большей плотностью и массой медленно выскальзывают из захвата. При усилии сжатия $F_{сж}$ = 18 кН коэффициент удержания $К_у$ рулона составил 2,11–2,21 при углах обхвата рулона а = 240°–270° соответственно (рис. 6). В свою очередь, при силе сжатия $F_{сж}$ = 36 кН обеспечивается надежное удержание рулона без повреждения упаковочного материала, коэффициент удержания $К_у$ рулона составил 4,23–4,42.

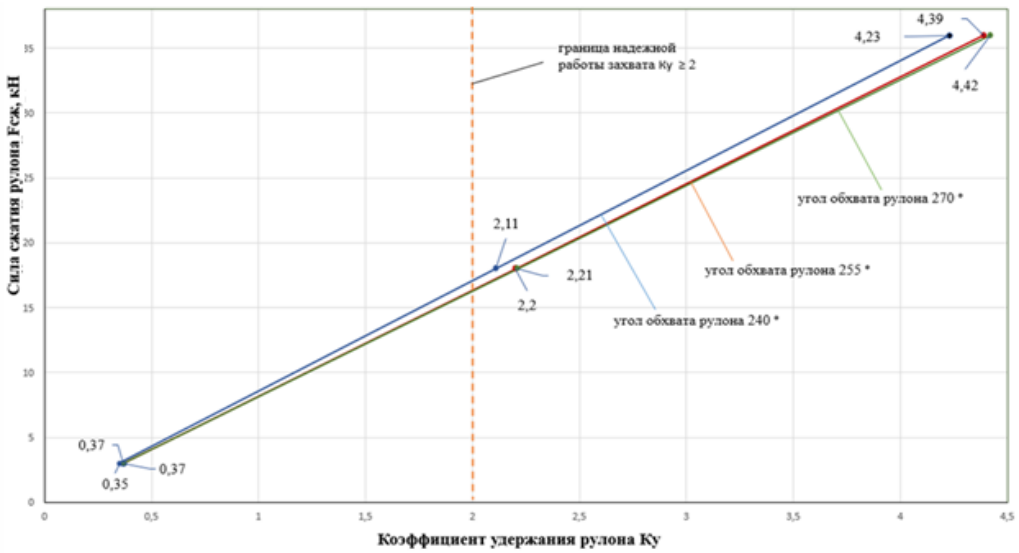


Рис. 6. Зависимость коэффициента удержания от усилия сжатия и угла обхвата рулона грузозахватным устройством для рулонов, упакованных в пленку, при средней плотности 500 кг/м^3

Главным критерием оценки надежной работы захватывающего устройства следует признать коэффициент удержания рулона, который должен быть больше или равен двум, поскольку учитывает инерционные нагрузки в процессе погрузки рулона, неточность захвата рулона, а также неоднородность его материала.

Фактическая грузоподъемность захватывающего устройства при подборе рулонов спрессованных травяных кормов составила до 1050 кг, продолжительность цикла загрузки рулона – до 23 с, диаметр загружаемых рулонов – 1,30–1,85 м. Деформация рулонов и повреждение упаковочного материала рулонов при оптимальных режимах работы захватывающего устройства отсутствует.

Заключение

В результате экспериментальных исследований установлены следующие рациональные параметры макетного образца захватывающего устройства автоматизированного типа:

– угол обхвата рулона а = 255°;

– радиус кривизны рамы захватывающего устройства r = 0,7 м;

– для рулонов в вертикальном положении массой до 300 кг и плотностью до 150 кг/м^3 сила сжатия рулона $F_{сж}$ = 18 кН;

– для рулонов в вертикальном положении массой до 900 кг и плотностью до 500 кг/м^3 сила сжатия рулона $F_{сж}$ = 36 кН.

При оценке функциональных показателей макетного образца захватывающего устройства автоматизированного типа рабочая скорость при номинальных оборотах двигателя трактора составила 3,0–10,0 км/ч. Захватывающее устройство обеспечивает качественное выполнение технологического процесса подбора и погрузки рулонов в автоматическом и ручном режимах.

В ходе проведения экспериментальных исследований и отработки функционирования захватывающего устройства в автоматическом режиме было выявлено, что для надежного удержания при захвате рулона сенажа, упакованного в пленку, необходимо приложение усилия не менее 18 кН. При этом, для надежного удержания рулона без повреждения упаковочного материала необходимо усилие сжатия $F_{сж}$ = 36 кН, так как рулоны с большей массой (более 850 кг) медленно выскальзывают из захвата, а также повреждается упаковочный материал. Остальные конфигурации захватывающего устройства при углах обхвата рулона 255° и 270° обеспечивают надежный захват и удержание рулона диаметром от 1500 мм до 1800 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Планируемый объем заготовки травяных кормов в сельскохозяйственных организациях республики в 2024-2025 гг. // Официальный сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: https://mshp.gov.by/uploads/ Files/documents/plant/rplan-korma2025.pdf (дата обращения: 24.03.2026).

2. Измайлов, А. Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК / А. Ю. Измайлов; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса». – Москва: Росинформагротех, 2007.

3. Станкевич, С. И. Современные технологии заготовки кормов: рекомендации для специалистов и руководителей сельскохозяйственных предприятий / С. И. Станкевич, С. И. Холдеев. – Горки: БГСХА, 2016. – 29 с.

4. 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.

5. Лабоцкий, И. М. Техническое обеспечение кормоуборочных работ. Состояние и перспективы / И. М. Лабоцкий [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». В 2 т. – Минск, 2013. – Вып. 46, 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 Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2017. – С. 59–68.