

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

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЗАХВАТЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Аннотация. В статье представлен анализ экспериментальных исследований оптимальных параметров автоматизированного захватывающего устройства.

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

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

ANALYSIS OF RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES TO SUBSTANTIATE OPTIMAL PARAMETERS OF AUTOMATED GRIPPING DEVICE

Abstract. The article presents an analysis of experimental studies of optimal parameters of an automated gripping device.

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

Введение

За последние 10 лет в Беларуси успешно зарекомендовала себя технология заготовки травяных кормов различной влажности в рулонах, упакованных в пленку, которая прошла длительную хозяйственную проверку, в результате которой подтверждена несомненная эффективность данной технологии. А именно:

- меньшая зависимость от погодных условий позволяет сократить сроки заготовки кормов;
- комплексная механизация заготовки кормов, наряду со значительным (25–30 %) снижением общих трудозатрат, исключает ручной труд, экономит энергозатраты;
- исключены потери кормов при их заготовке и скармливании;
- обеспечивается высокое качество кормов.

Основными технологическими звеньями этого способа заготовки кормов являются:

- процесс подбора и прессования провяленной до влажности 45–55 % травяной массы, обеспечивающие повышенную плотность (400–500 кг/м³) прессования сенажа и качественную форму рулона;
- процесс обмотки (упаковки) рулона пленкой;
- процесс погрузки и транспортировки рулонов сенажа к месту хранения.

В настоящее время по данной технологии заготавливается около 1 400 тыс. т сенажа. Технические возможности позволяют заготавливать до 1 533 тыс. т [1]. Примечательно, что Минсельхозпрод считает целесообразным довести в ближайшие годы эти объемы до 3 млн т, что позволит обеспечить потребность дойного стада в высококачественных кормах.

Однако существенными причинами, сдерживающими 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 % [2]. Нерешенной остается и проблема, связанная с погрузкой, перевозкой, скирдованием рулонов сенажа, упакованных в полимерную пленку. Из-за несовершенства конструкций погрузочных устройств, а также транспортных платформ происходит повреждение упаковки рулона [3].

Эффективная заготовка кормов по удельным затратам ресурсов может быть организована только при правильном наборе технологических операций и технических средств. Последние должны быть адаптированы к конкретным производственным условиям: виду убираемых культур, типу имеющихся в наличии кормоуборочных и транспортных машин, объемам заготовки, расстояниям транспортировки корма, природно-климатическим условиям и др.

Для повышения эффективности работ необходима разработка погрузочно-транспортного средства с грузозахватным устройством для рулонов, позволяющего укладывать рулон как на образующую, так и на основание, конструкция которого не препятствовала бы плотной укладке рулонов на транспортную платформу с последующей укладкой в штабель, предусматривала маневренность при подборе и укладке рулона на платформу, не нарушая при этом целостности упаковки, а также выполняла процесс подбора и укладки рулона на платформу в автоматическом или ручном режиме.

Основная часть

На основании проведенных теоретических исследований, а также выполненных расчетов, позволивших определить основные конструктивные и технологические параметры автоматизированного захватывающего устройства, лабораторией механизации заготовки кормов РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» была разработана конструкторская документация АПЗУ 00.00.000 на макетный образец захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу (рисунок 1).

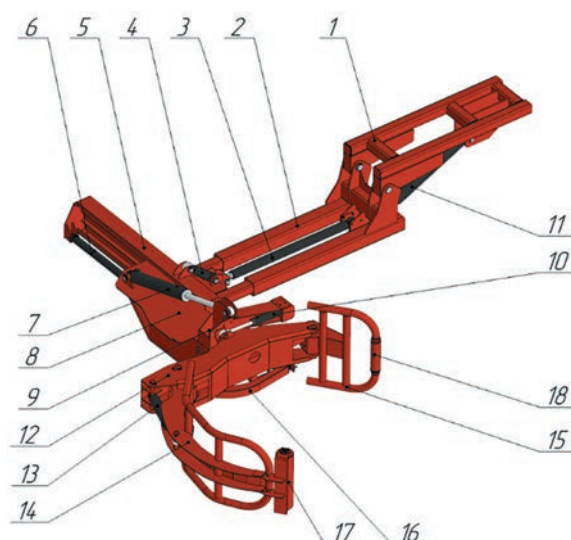


Рисунок 1 – 3D-модель макетного образца захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу: 1 – основание; 2 – рычаг; 3, 4, 6, 7, 10, 11, 13 – гидроцилиндры; 5 – балка (несущая); 8 – корпус (несущий); 9 – блок (подъемно-поворотный); 12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

Погрузочно-захватывающее устройство (в соответствии с рисунком 1) 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 по отработке алгоритма функционирования захватывающего устройства в автоматизированном и ручном режиме при подборе и погрузке рулонов на транспортную платформу в вертикальном положении, а также по установлению влияния усилия сжатия рулона и угла обхвата рулона захватывающим устройством на надежность удержания рулона ОАО «Вороновская сельхозтехника» изготовлен макетный образец захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу (рисунок 2).

Макетный образец в виде подборщика-транспортировщика рулонов с автоматизированным захватывающим устройством предназначен для подбора, самозагрузки и транспортирования рулонов сена, соломы и провяленной зеленой массы в полимерной упаковке с последующей самогрузкой их в местах складирования или хранения. Агрегатируется с тракторами мощностью от 120 до 150 л. с., и допускается агрегатирование с тракторами меньшей мощности при соответствующей массе транспортируемых рулонов или их количестве. 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 $16,7 \text{ с}^{-1}$) посредством карданного вала и входного редуктора с гидронасосом. Управление гидросистемой (рабочими органами) подборщика-транспортировщика осуществляется из кабины трактора при помощи пульта управления, питание которого осуществляется от бортовой системы трактора напряжением 12 В.

Макетный образец погрузочно-захватывающего устройства осуществляет подбор и погрузку 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.

Согласно технологическому процессу подбор и загрузка рулонов будет происходить в движении (без остановки подборщика-транспортировщика), следовательно, в момент захвата и подъема рулона он не должен двигаться по почве (стерне), чтобы не повреждать упаковку и не загрязняться.



Рисунок 2 – Общий вид макетного образца захватывающего устройства для автоматизированного подбора и загрузки спрессованных кормов на транспортную платформу

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. Рабочая скорость движения несущего корпуса с захватом должна составлять 0,8–1,0 м/с. 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 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.

Сравнение и анализ значений выбранных критериев оптимизации позволят определить конструктивные параметры захватывающего устройства, способствующие наиболее надежному захвату и удержанию рулона при минимальных энергетических затратах.

Для проведения исследований работы захватывающего устройства были заготовлены рулоны из соломы, сена и провяленных трав различной плотности – 80–130, 140–200, 400–500 кг/м³ 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 [2, 4, 5].

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 1 800 мм не обеспечивается надежное удержание рулона, поскольку возникает необходимость приложения больших усилий, что приводит к деформации и выскальзыванию (выталкиванию) рулона из захвата. Также выявлено, что для надежного 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 1 500 до 1 800 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 (рисунок 3).

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.



Рисунок 3 – Подбор и загрузка рулона, упакованного в пленку автоматизированным захватывающим устройством

Также следует отметить, что в процессе автоматизированного подбора рулонов соломы и сена при небольшой плотности ($70\text{--}130\text{ кг/м}^3$) и при силе сжатия рулона 36 кН происходит сильная деформация рулона, при угле 240° происходит выталкивание рулона.

Для расчетов данных по усилию удержания рулона на весу применялись средние показатели замеров массы, диаметра и длины реального рулона (таблица 1).

Таблица 1 – Перечень вспомогательных показателей для расчета плотности рулона

| Масса рулона, m_p , кг | Диаметр рулона, d , м | Длина рулона, L , м | Плотность рулона, ρ , кг/м^3 |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|--|
| Рулон обвязан шпагатом | | | |
| 235 | 1,85 | 1,44 | 60,7 |
| 300 | 1,81 | 1,42 | 82,0 |
| 293 | 1,86 | 1,41 | 76,5 |
| Рулон обвязан сеткой | | | |
| 326 | 1,54 | 1,22 | 143,6 |
| 330 | 1,50 | 1,24 | 150,6 |
| 342 | 1,52 | 1,2 | 157,2 |
| Рулон упакован в пленку | | | |
| 852 | 1,35 | 1,23 | 485 |
| 820 | 1,32 | 1,2 | 500 |
| 815 | 1,28 | 1,23 | 515 |

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 (таблица 2).

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 к следующему рулону при максимальной скорости 3 км/ч . Согласно технологическому процессу подбор и загрузка рулонов происходит в движении (без остановки подборщика-транспортёрщика). 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) 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.

Таблица 2 – Перечень показателей, определяемых при проведении исследований по усилию удержания рулона

| Угол обхвата рулона, град. | Масса рулона, m_p , кг | Плотность, кг/м^3 | Коэффициент удержания рулона K_u 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 выталкивание рулона |
| 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 | |

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.

Фактическая грузоподъемность захватывающего устройства при подборе рулонов спрессованных травяных кормов составила до 1 050 кг, продолжительность цикла загрузки рулона составила до 23 с, диаметр загружаемых рулонов составил 1,30–1,85 м. Деформация рулонов и повреждение упаковочного материала рулонов 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 показателей по усилию удержания рулона на весу в вертикальном положении, а также по определению функциональных показателей работы макетного образца захватывающего устройства в автоматизированном режиме выполнен анализ данных, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований, и обобщены полученные результаты.

В процессе проведения исследований был отработан алгоритм функционирования и работы захватывающего устройства в автоматизированном режиме. Установлено, что захватывающее устройство полностью выполняет технологический процесс подбора и погрузки рулона на транспортную платформу в автоматическом и ручном режимах, а именно, специальная конструкция погрузочно-захватывающего устройства позволяет захвату при подборе рулона автоматически выполнять движение назад (около 1 м или 1,2–2,0 с), 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 и более.

Анализируя проведенные исследования и построенные графики (рисунки 4–6), можно сделать вывод, что грузозахватное устройство с углом обхвата рулона $\alpha = 255^\circ$ и более при усилии сжатия 18 кН обеспечивает надежное удержание рулона в вертикальном положении. Полученные зависимости показывают, что 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 сжатия рулона. Однако в ходе проведения исследований было установлено, что при угле обхвата 240° происходит выталкивание рулона диаметром 1 800 мм, так как в процессе автоматизированного подбора рулонов соломы и сена при небольшой плотности ($70\text{--}130 \text{ кг/м}^3$) и при силе сжатия рулона 36 кН происходит его сильная деформация. Так, при усилии сжатия $F_{\text{сж}} = 18 \text{ кН}$ коэффициент удержания рулона, обвязанного шпагатом, при средней плотности 100 кг/м^3 составил $K_y = 6,00\text{--}7,56$ при углах обхвата рулона $\alpha = 240\text{--}270^\circ$ соответственно (рисунок 4). В свою очередь, при силе сжатия $F_{\text{сж}} = 36 \text{ кН}$ коэффициент удержания рулона составил $K_y = 12,00\text{--}15,32$, чем и объясняется сильная деформация рулона, а также его выталкивание из захвата.

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

При выдвигании захватов на поверхности контакта рулона и грузозахватного устройства помимо сил трения возникает также усилие опирания рулона на захваты, способствующее надежному удержанию рулона. При малом угле обхвата рулона $\alpha = 240^\circ$ и приложении усилия сжатия больше 18 кН надежность удержания снижается из-за изменения направления действия сил, возникающих на концах выдвигаемых 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 выдвигании захватов площадь поверхности трения увеличивается незначительно. Выталкивание 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 поверх-

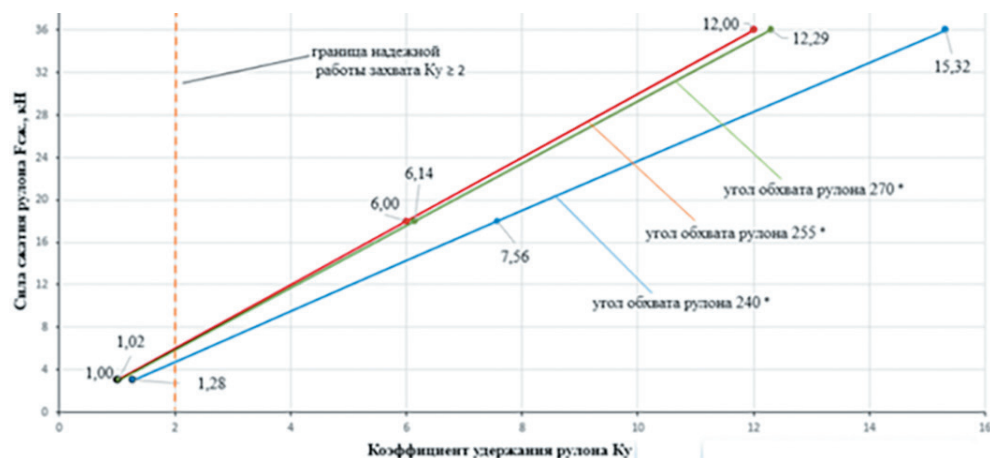


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента удержания от усилия сжатия и угла обхвата рулона грузозахватным устройством для рулонов, обвязанных шпагатом, при средней плотности 100 кг/м^3

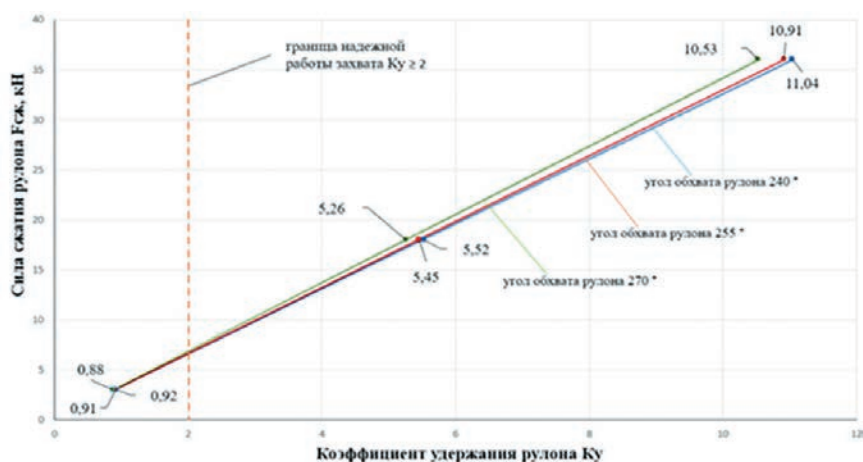


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента удержания от усилия сжатия и угла обхвата рулона грузозахватным устройством для рулонов, обвязанных сеткой, при средней плотности 150 кг/м³

ности 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 анализа проведенного исследования и построенных графиков 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 рулона составил $K_y = 2,11–2,21$ при углах обхвата рулона $\alpha = 240–270^\circ$ соответственно (рисунок 6). В свою очередь, при силе сжатия $F_{сж} = 36$ кН выявлено надежное удержание рулона без повреждения упаковочного материала, коэффициент удержания рулона составил $K_y = 4,23–4,42$.

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.

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.

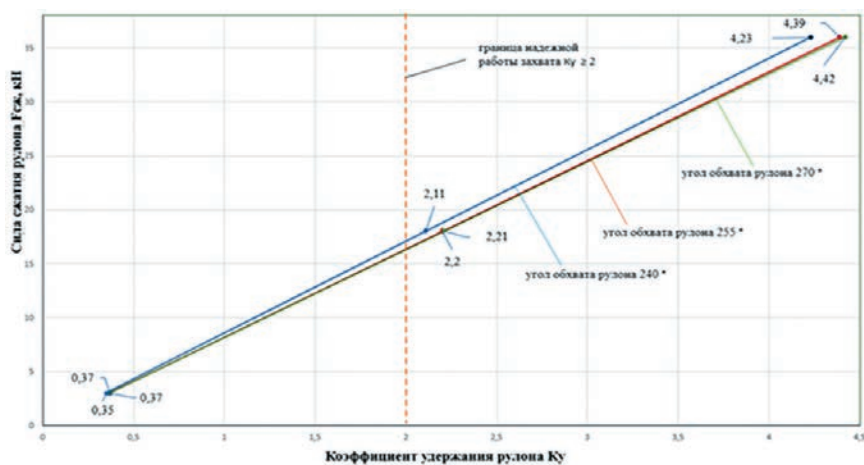


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента удержания от усилия сжатия и угла обхвата рулона грузозахватным устройством для рулонов, упакованных в пленку, при средней плотности 500 кг/м³

Фактическая грузоподъемность захватывающего устройства при подборе рулонов спрессованных травяных кормов составила до 1 050 кг, продолжительность цикла загрузки рулона составила до 23 с, диаметр загружаемых рулонов составил 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 $a = 255^\circ$;
- 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 $F_{\text{сж}} = 18$ кН;
- для рулонов в вертикальном положении массой до 900 кг и плотностью до 500 кг/м^3 сила сжатия рулона $F_{\text{сж}} = 36$ 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.

Фактическая грузоподъемность захватывающего устройства при подборе рулонов спрессованных травяных кормов составила до 1 050 кг, продолжительность цикла загрузки рулона составила до 23 с, диаметр загружаемых рулонов составил 1,30–1,85 м. Деформация рулонов и повреждение упаковочного материала рулонов при оптимальных режимах работы захватывающего устройства отсутствует.

В ходе проведения экспериментальных исследований и отработки функционирования захватывающего устройства в автоматическом режиме было выявлено, что обхват рулона менее, чем на 240° при диаметре рулона 1 800 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 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 $F_{\text{сж}} = 36$ 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 1 500 до 1 800 мм.

Также следует отметить, что в процессе автоматизированного подбора рулонов соломы и сена при небольшой плотности ($70\text{--}130 \text{ кг/м}^3$) и при силе сжатия рулона 36 кН происходит сильная деформация рулона, при угле обхвата 240° происходит выталкивание рулона.

Список использованных источников

1. Планируемый объем заготовки травяных кормов в сельскохозяйственных организациях республики в 2024–2025 гг. : офиц. сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Мн., 2007–2026. – URL: <https://mshp.gov.by/uploads/Files/documents/plant/tplan-korma2025.pdf> (дата обращения: 18.11.2025).
2. 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.
3. 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.
4. Ахламов, Ю. Л. Заготовка корма в рулонах / Ю. Л. Ахламов, А. В. Шевцов // Кормопроизводство. – 2001. – № 6. – С. 28–29.
5. Техническое обеспечение кормоуборочных работ. Состояние и перспективы / И. М. Лабодский, 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», в 2 т. – Мн. : 2013. – Вып. 47. – Т. 2. – С. 3–10.