

**Боровой Евгений Павлович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Мелиорация земель и комплексное использование водных ресурсов», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: borovoy.e.p@mail.ru

**Белоусов Илья Станиславович**, аспирант кафедры «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: neznaukaknatz@mail@gmail.com.

#### Author's Information

**Rogachev Aleksey Fruminovich**, Doctor of engineering Sciences, Professor of the Department of mathematical modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: rafr@mail.ru

**Melikhova Elena Valentinovna**, Candidate of engineering Sciences, associate Professor, head of the Department of mathematical modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: Mel-v07@mail.ru

**Borovoy Evgeny Pavlovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Land Reclamation and Integrated Use of Water Resources, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy pr., 26), e-mail: borovoy.e.p@mail.ru

**Belousov Ilya Sergeevich**, Graduate Student of the Department of mathematical modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: neznaukaknatz@mail@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-43

## PERFORMANCE AND UPTIME ASSESSMENT LOADER-TRANSPORTER OF HAY ROLLS

**A. I. Ryadnov<sup>1</sup>, R. V. Lyubimov<sup>1</sup>, A. V. Fedorov<sup>1</sup>, S. M. Voronin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Volgograd State Agrarian University*

*Volgograd, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Kalmyk State University*

*Elista, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Received 10.09.2023

Submitted 02.11.2023

#### Summary

The article presents a constructive and schematic diagram of a loader-conveyor of hay rolls designed by the Volgograd State Agrarian University, which is presented in the form of three interconnected systems: chassis, equipment for grabbing and lifting rolls and hydraulic system with drives for grabbing and lifting rolls. From the point of view of the reliability of the unit, its systems are presented as sequentially connected; the results of studies of replaceable productivity and the main indicators of reliability of the loader-conveyor of hay rolls are presented: failure times and the probability of failure-free operation during operation in real conditions of agricultural enterprises.

#### Abstract

**Introduction.** Animal husbandry in the Russian Federation is one of the main branches of agriculture, and cattle breeding is its most important subspecies. The provision of meat and milk to the population of the country cannot be successfully carried out without the availability of the necessary amount of high-quality feed for cattle. The most important feed for cattle is coarse feed, in particular, hay. When harvesting hay, there is a risk of significant losses not only of feed volumes, but also of its quality, which leads to poor productivity of animals. The level of feed quality losses is associated to a greater extent with violations of agro technical deadlines, the fulfillment of which is ensured by the necessary number of machines performing individual technological operations, their high replaceable productivity and a sufficient level of reliability. To increase the productivity and reliability of newly developed machines to the required level, it is important to know the achieved level of these indicators not only in the laboratory, but also in real operating conditions. **The purpose of the work** is to assess the performance and the main indicators of reliability of the experimental sample of the loader-conveyor of hay rolls. **Materials and methods.** In the preparation of this work, materials from open source websites, scientific articles and other publications of scientists from

research institutes and higher educational institutions were used. The object of the study was experimental samples of a loader-transporter of hay rolls designed by the Volgograd State Agrarian University, the performance of which has been proven by experimental studies. The methodological basis for assessing the reliability indicators of the loader-transporter of hay rolls was the provisions of probability theories and reliability of technical systems, as well as regulatory documents. **Results and discussion.** Hay bale loader productivity per shift was defined as the total weight of hay bales loaded onto the loader platform, delivered and unloaded at the storage location during the shift. The number of rolls was determined based on the results of timing the work of loaders transporting hay rolls in two farms in the Volgograd region. Based on the results of timing the operation of the units over four harvesting seasons, the average values of the following indicators of the use of the loader-transporter under study were determined: time for shift maintenance; additional time spent preparing the unit for operation; time spent loading one roll (grabbing, lifting and lowering a roll of hay onto the platform of a loader-transporter); cycle time; time spent on loading, delivering, unloading rolls of hay from the loader-transporter and returning it to the field; the number of trips and rolls of hay delivered to the storage location per shift of operation of the unit; duration of cleaning, expressed in shifts; the number of rolls of hay delivered by loader-transporters to the storage location during the harvest season; the mass of hay harvested by one loader-transporter during the harvesting season; changeable performance of the hay bale loader-transporter. The curves of the actual and theoretical density of the time – to – failure distribution and the results of testing the hypothesis of the theoretical distribution law according to the criterion  $\chi^2$  are presented. **Conclusions.** According to experimental data obtained as a result of timing two experimental loaders-transporters of hay rolls over four harvesting seasons, it was determined that the number of hay rolls delivered to the storage location by one unit during one shift varied from 40 to 69 pieces; the number of rolls of hay delivered by two loader-transporters to the storage location during the study was 5978 pieces; The productivity of the loader-transporter of hay rolls varied from 53.02 t·km per shift up to 92.50 t·km. With a total operating time of loader-transporters of up to 6,000 pieces of hay rolls, the average time between failures of the chassis was 315 pieces, the equipment for gripping and lifting rolls was 278 pieces, and hydraulic systems with drives for gripping and lifting rolls – 565 pieces, and a loader-transporter of hay rolls – a total of 352 pieces.

**Key words:** loader-transporter of hay rolls, probability of trouble-free operation, interchangeable capacity of loaders.

**Citation.** Ryadnov A. I., Lyubimov R. V., Fedorov A. V., Voronin S. M. Performance and uptime assessment loader-transporter of hay rolls. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 427-440 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-43.

**Author's contribution.** The author of this study was directly involved in the planning, execution and analysis of the results of this study. The author of this article has reviewed and approved the submitted final version.

**Conflict of interest.** The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.374

## ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И БЕЗОТКАЗНОСТИ ПОГРУЗЧИКА-ТРАНСПОРТИРОВЩИКА РУЛОННОВ СЕНА

**А. И. Ряднов<sup>1</sup>**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

**Р. В. Любимов<sup>1</sup>**, аспирант

**А. В. Федоров<sup>1</sup>**, аспирант

**С. М. Воронин<sup>2</sup>**, доктор технических наук, профессор

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова»

г. Элиста, Российская Федерация

**Актуальность.** Животноводство в Российской Федерации является одной из основных отраслей сельского хозяйства, а скотоводство – важнейшим его подвидом. Обеспечение населения страны мясом и молоком не может успешно выполняться без наличия необходимого объема корма высокого качества для крупного рогатого скота. Важнейшим кормом для крупного рогатого скота

является грубый корм, в частности сено. При заготовке сена возникает риск существенных потерь не только объемов кормов, но и его качества, что приводит к снижению продуктивности животных. Уровень потерь качества корма связан в большей степени с нарушениями агротехнических сроков, выполнение которых обеспечивается необходимым количеством машин, выполняющих отдельные технологические операции, их высокой сменной производительностью и достаточным уровнем безотказности. Для повышения производительности и безотказности вновь разрабатываемых машин до необходимого уровня важно знать достигнутый уровень данных показателей не только в лабораторных, но и в реальных условиях эксплуатации. **Цель работы** – дать оценку производительности и основных показателей безотказности экспериментального образца погрузчика-транспортировщика рулона сена. **Материалы и методы.** При подготовке настоящей работы были использованы материалы открытых источников сайтов, научные статьи и другие публикации ученых НИИ и высших учебных заведений. Объектом исследования явились экспериментальные образцы погрузчика-транспортировщика рулона сена конструкции Волгоградского ГАУ, работоспособность которых доказана экспериментальными исследованиями. Методической основой оценки показателей безотказности погрузчика-транспортировщика рулона сена послужили положения теорий вероятностей и надежности технических систем, а также нормативные документы. **Результаты и обсуждение.** Производительность погрузчика-транспортировщика рулона сена за смену определялась как суммарная масса рулона сена, погруженных на платформу погрузчика-транспортировщика, доставленных и выгруженных на месте хранения в течение смены. Количество рулона определялось по результатам хронометража работы погрузчиков-транспортировщиков рулона сена в двух хозяйствах Волгоградской области. По результатам хронометража работы агрегатов за четыре уборочных сезона определены средние значения следующих показателей использования исследуемого погрузчика-транспортировщика: время на ежесменное техническое обслуживание; дополнительные затраты времени по подготовке агрегата к работе; затраты времени при погрузке одного рулона (на захват, подъем и опускание рулона сена на платформу погрузчика-транспортировщика); время цикла; затраты времени на погрузку, доставку, выгрузку рулона сена из погрузчика-транспортировщика и возвращение его на поле; количество рейсов и рулона сена, доставленных к месту хранения за смену работы агрегата; продолжительность уборки, выраженная в сменах; количество рулона сена, доставленных погрузчиками-транспортировщиками за уборочный сезон к месту хранения; масса сена, заготовленного одним погрузчиком-транспортировщиком за уборочный сезон; сменная производительность погрузчика-транспортировщика рулона сена. На основе хронометража работы агрегатов дана оценки показателей безотказности погрузчика-транспортировщика рулона сена: наработка на отказ и вероятность безотказной работы. Представлены кривые фактической и теоретической плотности распределения наработка на отказ и результаты проверки гипотезы о теоретическом законе распределения по критерию  $\chi^2$ . **Выводы.** По экспериментальным данным, полученным в результате хронометража двух экспериментальных погрузчиков-транспортировщиков рулона сена в течение четырех уборочных сезонов определено, что количество рулона сена, доставленных к месту хранения одним агрегатом в течение одной смены работы варьировалось от 40 до 69 штук; количество рулона сена, доставленных двумя погрузчиками-транспортировщиками к месту хранения за время исследований, составило 5978 штук; производительность погрузчика-транспортировщика рулона сена за смену изменялась от 53,02 т·км до 92,50 т·км. При суммарной наработке погрузчиков-транспортировщиков до 6000 штук рулона сена средняя наработка на отказ шасси составила 315 шт., оборудования захвата и подъема рулона 278 шт. и гидросистемы с приводами захвата и подъема рулона 565 шт., а погрузчика-транспортировщика рулона сена в целом 352 штук.

**Ключевые слова:** погрузчик-транспортировщик рулона сена, вероятность безотказной работы, сменная производительность погрузчиков.

**Цитирование.** Ряднов А. И., Любимов Р. В., Федоров А. В., Воронин С. М. Оценка производительности и безотказности погрузчика-транспортировщика рулона сена. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 427-440. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-43.

**Авторский вклад.** Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Введение.** Животноводство в Российской Федерации является одной из основных отраслей сельского хозяйства, а скотоводство – важнейшим его подвидом. При этом преимущественный объем мяса (38-40 %) и молока (95-98%) получают от крупного рогатого скота. Обеспечение населения страны мясом и молоком не может успешно выполняться без наличия необходимого объема корма высокого качества для крупного рогатого скота.

Важнейшим кормом для крупного рогатого скота является грубый корм, в частности сено из различных многолетних и однолетних сеяных трав, а также естественных сенокосов.

При заготовке сена возникает риск существенных потерь не только объемов кормов, но и их качества, что приводит к снижению продуктивности животных [14]. Уровень потерь качества корма связан в большей степени с нарушениями агротехнических сроков. Выполнение агротехнических сроков уборки сельскохозяйственных культур обеспечивается необходимым количеством машин, выполняющих отдельные технологические операции, их высокой сменной производительностью, минимальными потерями времени смены, в частности из-за простоев машин по причине отказов и неисправностей их узлов и агрегатов.

В сельскохозяйственных предприятиях Волгоградской области при заготовке сена наиболее распространенной является технология заготовки сена с прессованием его в тюки и рулоны, так как она до настоящего времени экономически обоснована. При использовании такой технологии заготовки сена технологический процесс полностью механизирован, а потери сухого вещества в сене снижаются до 30-35% [7] и питательных веществ – в 1.5-2 раза [10]. Однако без совершенствования существующих технологий и разработок новых технических средств, в частности для уборки сена, спрессованного в рулоны, решить проблему заготовки грубого корма в необходимом объеме и высокого качества проблематично. При этом вновь разрабатываемые машины должны иметь высокую производительность за смену, а также необходимый уровень надежности [4, 9].

В настоящее время в агропромышленном комплексе используются погрузчики-транспортировщики рулонов сена, например, разработанные по патентам Ю. Н. Блынского и др. РФ № 2047287 (Опубликован 10.11.1995) и № 2108022 (Опубликован 10.04.1998). Положительными свойствами данных транспортных средств является простота их конструкций. Однако они имеют существенный недостаток – значительную потерю времени на переход из транспортного положения в рабочее на этапе перед подъемом рулона, что существенно снижает сменную выработку.

Повышение производительности машин при выполнении работ, в том числе при транспортировке сельскохозяйственных грузов, неразрывно связано с минимизацией потерь времени смены. Снизить потери времени смены возможно, например, за счет повышения уровня безотказности машин, обеспечения при конструировании машины такой наработки до ее отказа, чтобы ее величина была кратной периодичности технического обслуживания машины [11]. В связи с этим важнейшим свойством надежности машин при выполнении конкретной сельскохозяйственной операции является безотказность. В процессе эксплуатации технических систем необходимо поддерживать соответствующий уровень их безотказности [5] и высокую сменную производительность, что позволит при прочих равных условиях выполнять сельскохозяйственные работы в оптимальные агротехнические сроки и повысить эффективность их использования [8].

Повысить безотказность вновь разрабатываемых машин до необходимого уровня невозможно без их испытаний в лабораторных и реальных условиях эксплуатации. Однако до начала исследований машины по оценке уровня показателей ее надежности следует определить необходимый и достаточный объем испытаний [2]. Кроме того, для получения достоверных и достаточно точных результатов необходимо также использовать методы математической статистики [6].

В связи с этим цель настоящей работы – дать оценку производительности и основным показателям безотказности экспериментального образца погрузчика-транспортировщика рулонов сена.

**Материалы и методы.** При подготовке настоящей работы были использованы материалы открытых источников сайтов, научные статьи и другие публикации ученых НИИ и высших учебных заведений.

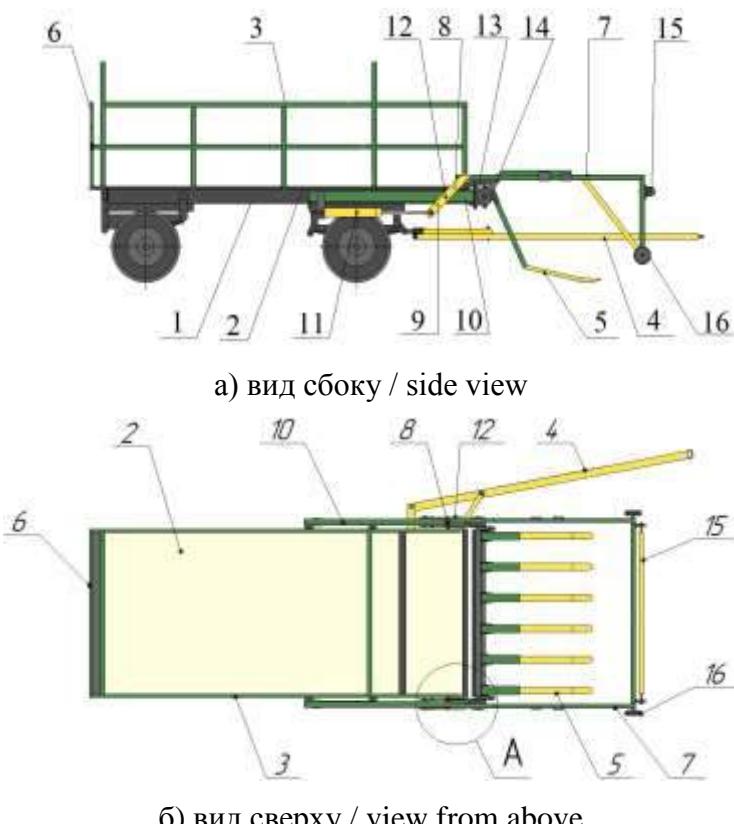


Рисунок 1 – Схема погрузчика-транспортировщика рулонов сена  
 Figure 1 – Diagram of a loader-transporter of hay rolls

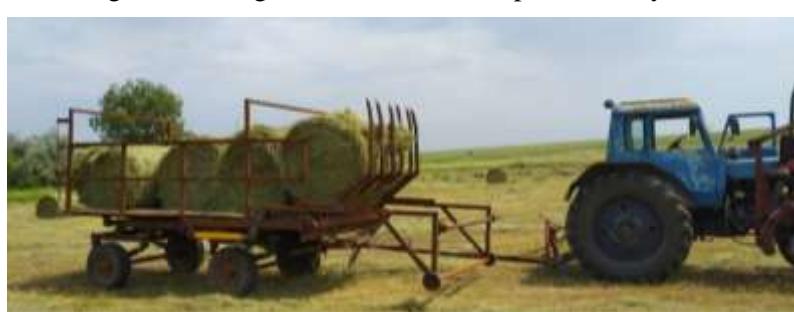


Рисунок 2 – Погрузчик-транспортировщик рулонов сена  
 Figure 2 – Loader-transporter of hay rolls

Объектом исследования явились экспериментальные образцы погрузчика-транспортировщика рулонов сена конструкции Волгоградского ГАУ (пат. РФ № 2728961. Опубликовано 03.08.2020. Бюллетень № 22) в количестве двух штук.

Схема погрузчика-транспортировщика рулонов сена представлена на рисунке 1, а его фотография – на рисунке 2.

Работоспособность погрузчика-транспортировщика доказана экспериментальными исследованиями.

Погрузчик-транспортировщик рулона сена состоит из шасси 1, платформы 2, боковых бортов 3, прицепного устройства 4, погрузочного устройства 5, заднего борта 6, захвата 7, верхних роликов 8, нижних роликов 9, направляющих 10, гидроцилиндров 11, рычагов захвата 12, тяги 13, рычага погрузочного устройства 14, вращающейся балки 15 и ограничителя захвата 16.

В качестве энергетического средства погрузчика-транспортировщика рулона сена использовался трактор МТЗ-82.1.

Работает погрузчик-транспортировщик рулона сена следующим образом.

До начала погрузки рулона сена с поля, на котором рулоны сена уложены рядами, погрузчик-транспортировщик переводят из транспортного положения в рабочее, что обеспечивает параллельное движение по полю энергетического средства, например, трактора МТЗ-82.1 и погрузчика-транспортировщика.

Затем погрузочное устройство 5 с помощью гидросистемы энергетического средства опускается до контакта с поверхностью поля. Одновременно с этим захват 7 погрузочного устройства 5 выдвигается вперед на расстояние  $S$ , равное 0,5-0,6 диаметра рулона  $D_{рул}$ . (рисунок 3).

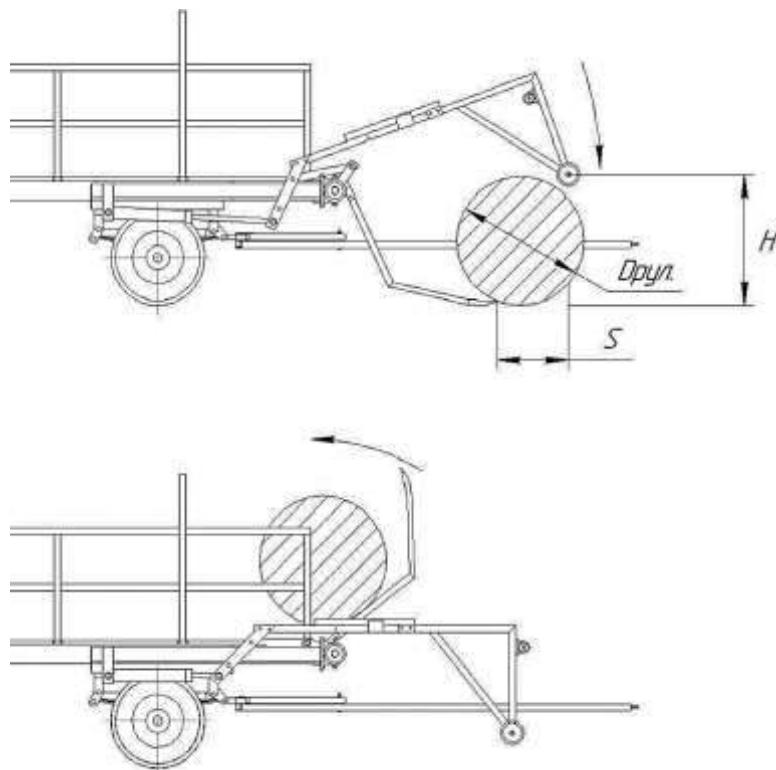


Рисунок 3 – Направление движения погрузочного устройства в процессе погрузки рулона  
Figure 3 – The direction of movement of the loading device during the loading of the roll

Оператор направляет машинно-тракторный агрегат таким образом, чтобы рулон располагался между направляющими погрузчика 5 и переводит рукоять гидрораспределителя на «опускание». При этом штоки гидроцилиндров 11 втягиваются, воздействуя на рычаги захвата 7 и поворачивая его под углом относительно осей верхних роликов 8 до момента, когда они упрются в направляющие 11. Погрузчик 5 также уже

опустится, а захват 7 продолжит движение, подтягивая рулон на погрузчик 5. Затем оси начнут толкать рычаги погрузчика 14, заставляя тем самым его поднять рулон и подать его на платформу 2, а рулон скатится по платформе 2 к заднему борту 6 транспортировщика.

Процесс погрузки следующих рулонов сена повторяется. Затем прицепное устройство 4 переводят в транспортное положение. Рулоны сена доставляются к месту хранения. На месте разгрузки рулонов сена задний борт 6 открывают, при опускании которого егодерживают при помощи закрепленных цепей в подвешенном положении таким образом, чтобы он мог образовать рампу, по которой рулоны скатываются.

Показатели производительности и безотказности погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена определялись на основе результатов хронометража их работы в течение четырех уборочных сезонов (2020-2023 гг.) при погрузке рулонов сена со средней массой 147 кг, сформированных пресс-подборщиками ПР-110М, и транспортировке на край поля. При этом первый погрузчик-транспортировщик рулонов сена использовался в «АК/Ф/Х «Кузнецкая» Иловлинского района, а второй – в ИП Алмазова П. К. Кумылженского района Волгоградской области.

Методической основой оценки показателей безотказности погрузчика-транспортировщика рулонов сена послужили положения теорий вероятностей [1] и надежности технических систем [5, 6, 9, 12, 13], а также нормативные документы (ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 22 с. и ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017. 16 с.).

**Результаты и обсуждение.** Производительность погрузчика-транспортировщика рулонов сена за смену  $W_{\text{см}}$  (т·км) определялась как суммарная масса рулонов сена, погруженных на платформу погрузчика-транспортировщика, доставленных и выгруженных на месте хранения в течение смены:

$$W_{\text{см}} = \sum_{i=1}^{i=N_p} m_i L_i, \quad (1)$$

где  $m_i$  – масса одного рулона, т;  $N_p$  – количество рулонов, доставленных в течение смены к месту хранения, шт.,  $L_i$  – расстояние перевозки рулонов, км.

Количество рулонов ( $N_p$ ) и расстояние перевозки рулонов ( $L_i$ ) определялись по результатам хронометража работы погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена в двух хозяйствах.

Средние значения составляющих затрат времени смены, зависимых от технологии уборки рулонов сена с использованием исследуемого погрузчика-транспортировщика, полученные в результате хронометража агрегатов за четыре уборочных сезона, представлены в таблице 1.

Из данных, представленных в табл. 1, следует:

- за все годы исследований затраты времени на захват одного рулона сена, на его подъем и опускание на платформу погрузчика-транспортировщика без учета времени на подъезд агрегата к рулона примерно одинаковы для исследуемых объектов;

- затраты времени на погрузку, доставку, выгрузку рулонов сена из погрузчика-транспортировщика и возвращение его на поле составили 0,7 ч и 0,56 ч соответственно для первого и второго агрегата. Отличие затрат этого времени связано, в основном, с расстоянием транспортировки рулонов сена с поля к месту их хранения.

Таблица 1 – Результаты хронометража использования агрегатов в течение смены  
Table 1 – Results of timing the use of units during a shift

Исследуемый показатель / Test parameter	№ погрузчика- транспортировщика ру- лонов сена / No. of hay bale loader-transporter	
	1	2
Затраты времени на ЕТО, ч / Wasting time on THIS, h	0,40	0,33
Дополнительные затраты времени на подготовку агрегата к работе, ч / Additional time spent on preparing the unit for operation, h	0,24	0,26
Затраты времени при по- грузке одного рулона, ч / Time spent loading one roll, h	захват / capture подъем / climb опускание / lowering	0,0028 0,0030 0,0023
Время цикла погрузки, ч / Loading cycle time, h		0,023
Затраты времени на погрузку, доставку, выгрузку рулона сена из погрузчика-транспортировщика и возвращение его на поле, ч / Ti- me spent on loading, delivery, unloading rolls of hay from a loader- transporter and returning it to the field, h		0,70 0,56

В табл. 2 представлены средние значения показателей использования двух исследуемых погрузчиков-транспортировщиков рулона сена, полученные в результате хронометража агрегатов за четыре уборочных сезона.

Таблица 2 – Показатели использования погрузчиков-транспортировщиков  
Table 2 – Indicators of use of loader-transporters

Исследуемый показатель / Test parameter	№ погрузчика-транспортировщика рулона сена / No. of hay bale loader-transporter							
	1				2			
	Год исследований / A year of research							
	1	2	3	4	1	2	3	4
Количество рейсов за смену / Number of flights per shift	8	10	10	9	11	13	13	14
Количество рулона сена, доставленных за смену к месту хранения, шт. / Number of rolls of hay delivered to the storage location per shift, pcs.	40	48	50	47	55	62	65	69
Продолжительность уборки, смен / Duration of cleaning, shifts	11	13	12	10	14	15	16	16
Количество рулона сена, доставленных за уборочный сезон к месту хранения, шт. / Number of rolls of hay delivered to the storage location during the harvest season, pcs.	440	624	600	470	770	930	1040	1104
Масса сена, заготовленного одним погрузчиком-транспортировщиком за уборочный сезон, т / Weight of hay harvested by one loader-transporter during the harvest season, t	64,660	91,748	88,234	69,066	113,160	136,740	152,890	162,278
Расстояние перевозки рулона сена, км / Distance of transportation of hay rolls, km	0,82	0,74	0,77	0,98	0,68	0,65	0,60	0,57
Производительность погрузчика-транспортировщика рулона сена за смену, т·км. / Productivity of the loader-transporter of hay rolls per shift, t·km	53,02	67,89	67,94	67,68	76,95	88,88	91,73	92,50

Из данных, представленных в таблице 2 следует:

- количество рулонов сена, доставленных к месту хранения в течение одной смены работы погрузчика-транспортировщика, варьировалось от 40 до 69. При этом второй погрузчик-транспортировщик доставлял рулонов сена к месту хранения больше, чем первый. Это связано с меньшим расстоянием транспортировки рулонов сена с поля к месту их хранения;

- за четыре уборочных сезона два погрузчика-транспортировщика доставили к месту хранения 5978 рулонов сена с общей массой 878,776 т. Средняя масса одного рулона составила 147 кг;

- производительность первого погрузчика-транспортировщика рулонов сена за смену изменялась от 53,02 т·км до 67,89 т·км, а второго – от 76,95 т·км до 92,50 т·км.

При оценке уровня безотказности погрузчика-транспортировщика рулонов сена он был представлен в виде структурной схемы (рисунок 4). Погрузчик-транспортировщик рулонов сена включает три системы: шасси, оборудование захвата и подъема рулонов и гидросистему с приводами захвата и подъема рулонов, каждая из которых состоит из узлов, собранных из деталей и стандартных изделий.



Рисунок 4 – Структурная схема погрузчика-транспортировщика рулонов сена  
Figure 4 – Block diagram of a loader-transporter of hay rolls

Уровень безотказности погрузчика-транспортировщика рулонов сена оценивался как в целом, так и по отдельным его системам.

Рассматривая погрузчик-транспортировщик рулонов сена, его системы и узлы с точки зрения оценки их уровня безотказности, выбрали два основных показателя – наработка на отказ  $\bar{t}_o$  и вероятность безотказной работы  $P(t)$ .

В соответствии со схемой, представленной на рисунке 4, шасси, оборудование захвата и подъема рулонов и гидросистема с приводами захвата и подъема рулонов погрузчика-транспортировщика представлены с точки зрения их работы как параллельные системы. Однако с точки зрения оценки надежности погрузчика-транспортировщика данные системы последовательно соединены, так как отказ одной из них приводит к отказу агрегата в целом. Аналогично при оценке надежности каждой из систем ее узлы (с точки зрения надежности) также соединены последовательно.

Число машин, поставленных под наблюдение при оценке средних показателей надежности, равно:

$$N = \chi \cdot \bar{t}_o / t, \quad (2)$$

где  $\chi$  – коэффициент;  $t$  – продолжительность наблюдений;  $\bar{t}_o$  – средняя наработка на отказ.

Величина коэффициента  $\chi$  определяется в зависимости от точности и доверительной вероятности.

При относительной ошибке средней наработки на отказ  $\delta = 0,2$ , относительной вероятности оценки показателя надежности  $\beta = 0,8$ , средней наработки на отказ  $\bar{t}_0 = 320$  шт. (данная наработка на отказ в штуках загруженных рулонах сена в погрузчик-транспортировщик получена исходя из предварительных экспериментальных исследований в условиях лаборатории) получим, что достаточно поставить под наблюдение 2 агрегата.

По результатам экспериментальных исследований, полученных на основе хронометража работы двух погрузчиков-транспортировщиков новой конструкции в течение 4 уборочных сезонов с суммарной наработкой до 6000 рулона, были составлены статистические ряды информации наработки до отказов, которые послужили основой для расчета необходимых показателей безотказности.

Количество интервалов статистического ряда  $n_J$  для погрузчика-транспортировщика рулона сена определяли по формуле [6]:

$$n_J = \sqrt{M_J}, \quad (3)$$

где  $M_J$  – суммарное количество отказов погрузчика-транспортировщика рулона сена период исследований.

В настоящей работе наработку на отказ определяли в штуках рулона сена, убранных с поля погрузчиком-транспортировщиком рулона сена.

Распределение наработки на отказ рассматриваемых систем погрузчика-транспортировщика представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Статистические данные по наработкам на отказ систем погрузчика-транспортировщика рулона сена при суммарной наработке до 6000 штук рулона сена  
Table 3 – Statistical data on the operating time for failure of the systems of the loader-transporter of hay rolls with a total operating time of up to 6,000 pieces of hay rolls

Система / System	Наработка на отказ, шт. / Time to failure, pcs.						
	380	251	548	152	260	221	303
Шасси / Chassis	148	288	425	428	333	264	524
	175	408	294	271	-	-	-
	291	441	317	268	261	252	264
Оборудование захвата и подъема рулона / Equipment for grabbing and lifting rolls	312	174	260	200	444	167	223
	195	229	474	350	271	176	-
	326	252	884	674	820	458	281
Гидросистема с приводами захвата и подъема рулона / Hydraulic system with drives for grabbing and lifting rolls	679	493	780	-	-	-	-

В процессе экспериментальных исследований зафиксировано 48 отказов двух погрузчиков-транспортировщиков рулона сена при использовании их до суммарной наработки 6000 штук рулона сена.

Определено, что средняя наработка на отказ шасси составила 315 шт., оборудования захвата и подъема рулона 278 шт. и гидросистемы с приводами захвата и подъема рулона 565 шт., а погрузчика-транспортировщика рулона сена в целом 352 шт.

Для дальнейших расчетов по зависимости (3) получили, что  $n_j = 6$ .

В таблице 4 представлены результаты расчета плотности распределения  $f_\phi(N_{0i})$  и вероятности безотказной работы  $P_\phi(N_{0i})$  по статистическим данным и теоретической плотности распределения  $f_T(N_{0i})$ .

Таблица 4 – Результаты расчета плотности распределения и вероятности безотказной работы погрузчика-транспортировщика рулонов сена

Table 4 – Results of calculation of distribution density and probability of trouble-free operation of the loader-transporter of hay rolls

Интервал наработки, шт. / Operating time interval, pcs.	$m_i$	$\Sigma m_i$	$N_{0i}$	$f_\phi(N_{0i}) 10^{-3}$	$P_\phi(N_{0i})$	$f_T(N_{0i}) 10^{-3}$
0 – 1000	6	6	500	0.118	0.882	0,026
1001 – 2000	12	18	1500	0.275	0.608	0,230
2001 – 3000	10	28	2500	0.235	0.373	0,255
3001 – 4000	8	36	3500	0.157	0.216	0,184
4001 – 5000	6	42	4500	0.090	0.098	0,109
5001 – 6000	5	47	5500	0.075	-	0,058

По данным таблицы 4 построены зависимости фактической  $f_\phi(N_{0i})$  и теоретической  $f_T(N_{0i})$  плотности распределения (рисунок 5).

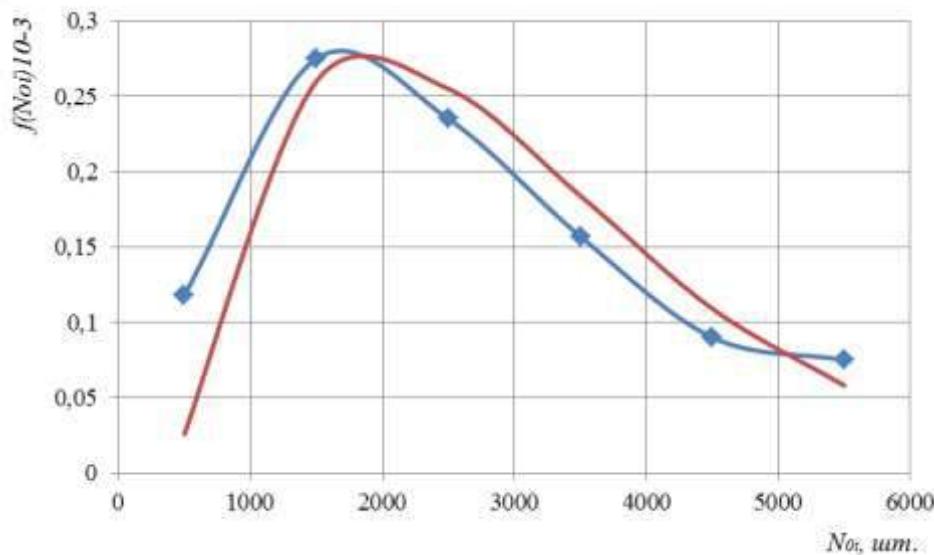


Рисунок 5 – Кривые фактической и теоретической плотности распределения наработки на отказ  
Figure 5 – Curves of actual and theoretical time-to-failure distribution density

Проверку гипотезы о теоретическом законе распределения проводили по критерию  $\chi^2$ . По расчетам  $\Sigma \chi^2 = 5,631$ . Тогда при числе степеней свободы,  $r = 3$  вероятность совпадения теоретического закона с экспериментальными данными  $P(\chi^2) = 0,15$ .

Для логарифмически-нормального закона теоретические значения плотности распределения определяются по зависимости:

$$f(W_0) = \begin{cases} \frac{1}{W_0 b \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln W_0 - a)^2}{2b^2}} & , W_0 \geq 0, b > 0, -\infty < a < +\infty \\ 0 & , W_0 < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Параметры выбранного закона распределения теоретических значений плотности распределения оцениваются методом максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned}\hat{a} &= \frac{1}{n} \sum_1^n \ln W_{0i}, \\ \hat{b} &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (\ln W_{0i} - \frac{1}{n} \sum_1^n (\ln W_{0i}))^2}.\end{aligned}\quad (5)$$

Определено, что  $\hat{a} = 5,4$  и  $\hat{b} = 0,57$ .

В случае определения законов распределения наработки на отказ выбранных систем погрузчика-транспортировщика рулонов сена с учетом их последовательного соединения (с точки зрения надежности) вероятность безотказной работы агрегата может быть рассчитана по зависимости:

$$P(t) = \sum_1^K P_i(t). \quad (6)$$

В этом случае  $P(t)$  погрузчика-транспортировщика рулонов сена будет представлять композицию законов распределения трех его систем, которые могут быть как одинаковыми, так и различными.

**Выводы.** По экспериментальным данным, полученным в результате хронометража двух экспериментальных погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена в течение четырех уборочных сезонов, определено, что количество рулонов сена, доставленных к месту хранения одним агрегатом в течение одной смены работы, варьировалось от 40 до 69 штук; количество рулонов сена, доставленных двумя погрузчиками-транспортировщиками к месту хранения за время исследований, составило 5978 штук; производительность погрузчика-транспортировщика рулонов сена за смену изменялась от 53,02 т·км до 92,50 т·км.

При суммарной наработке погрузчиков-транспортировщиков до 6000 штук рулонов сена средняя наработка на отказ шасси составила 315 шт., оборудования захвата и подъема рулонов 278 шт. и гидросистемы с приводами захвата и подъема рулонов 565 шт., а погрузчика-транспортировщика рулонов сена в целом 352 шт.

**Conclusions.** According to experimental data obtained from the timekeeping of two experimental loaders-transporters of hay rolls during four harvesting seasons, it was determined that the number of hay rolls delivered to the place of storage by one unit during one shift of work ranged from 40 to 69 pieces; the number of hay rolls delivered by two transport loaders to the place of storage during the studies amounted to 5978 pieces; the capacity of the loader-transporter of hay rolls per shift varied from 53.02 t·km to 92.50 t·km.

With a total operating time of loaders-transporters up to 6,000 pieces of hay rolls, the average time between failures of the chassis was 315 pcs., equipment for gripping and lifting rolls 278 pcs. And a hydraulic system with drives for gripping and lifting rolls 565 pcs., and a loader-transporter of hay rolls as a whole 352 pcs.

#### Библиографический список

1. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерное приложение. М.: Наука, 1988. 480 с.
2. Габаев А. Х. Надежность и безотказность работы модернизированного сошника зерновой сеялки с фторопластовыми бороздообразующими накладками. Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. 2019. № 4 (26). С. 54-58.
3. Грибенченко А. В., Ряднов А. В., Гапич Д. С., Моторин В. А. Характеристика показателей надёжности работы деталей машин сельскохозяйственного назначения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 507-515.

4. Кartoшkin A. P., Valge A. M., Sоловьев Я. С. Влияние надежности машин на риски потерь кормов при заготовке сеносы из трав. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (67). С. 175-183.
5. Лебедев А. Т., Серегин А. А., Арженовский А. Г. Повышение эффективности функционирования машин и оборудования АПК управлением надежностью их систем. Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2 (46). С. 4-11.
6. Надежность и эффективность в технике: справочник. Эффективность технических систем. М.: Машиностроение, 1986. Т. 3. 328 с.
7. Попов В. Д., Кartoшkin A. P., Sоловьев Я. С. Оценка рисков технологического процесса заготовки кормов из трав по показателю надежности машин. Известия Международной академии аграрного образования. 2020. № 49 (6). С. 50-56.
8. Ряднов А. И., Фандеев С. Ю. Выбор высокоеффективной технологии уборки рулона сена из суданской травы. Известия Нижневолжского аграрного университетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1 (65). С. 370-380.
9. Ряднов А. И., Федоров А. В. Повышение надежности прицепа-зерновоза и расширение возможностей его использования. Известия НВ АУК. 2022. № 1 (65). С. 442-451.
10. Трухачев В. И., Орлянский А. В., Орлянская И. А. Обоснование рациональных параметров процесса заготовки сенажа в рулонах с использованием имитационного моделирования: монография. Ставрополь: АГРУС, 2018. 176 с.
11. Царев Ю. А., Адамчукова Е. Ю., Белоусов С. В., Мельников Д. Г. Сервисная книжка или как повысить надежность сложной сельскохозяйственной техники. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 161. С. 290-297.
12. Царев Ю. А., Царев О. Ю. Метод повышения эксплуатационной надежности сложных сельскохозяйственных машин. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 189. С. 153-163.
13. Царев Ю. А., Царев О. Ю. О нормировании показателей надежности деталей и сборочных единиц сложных сельскохозяйственных машин. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 184. С. 260-266.
14. Sinéad Devaney Silage Analysis – Why it's important and what it all means. Teagasc Adviser. Galway/Clare Regional Unit. <https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2015/Silage-analysis.pdf>.

#### References

1. Venzel E. S., Ovcharov L. A. Probability theory and its engineering application. Moscow: Nauka, 1988. 480 p.
2. Gabaev A. H. Reliability and trouble-free operation of the modernized coulter of a grain seeder with fluoroplastic furrowing pads. Proceedings of Kabardino-Balkarian State University. 2019. № 4 (26). Pp. 54-58.
3. Gribenchenko A. V., Ryadnov A. V., Gapich D. S., Motorin V. A. Characteristics of indicators of reliability of work of agricultural machinery parts. Proceedings of NV AUK. 2023. No 2 (70). Pp. 507-515.
4. Kartoshkin A. P., Valge A. M., Solovyov Ya. S. The influence of machine reliability on the risks of feed losses when harvesting silage from grasses. Proceedings of St. Petersburg State Agrarian University. 2022. No 2 (67). Pp. 175-183.
5. Lebedev A. T., Seregin A. A., Arzhenovsky A. G. improving the efficiency of the functioning of agricultural machinery and equipment by managing the reliability of their systems. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2019. No 2 (46). Pp. 4-11.
6. Reliability and efficiency in technology: Handbook. Efficiency of technical systems. 1986. V. 3. 328 p.

7. Popov V. D., Kartoshkin A. P., Solovyov Ya. S. Risk assessment of the technological process of harvesting forage from grasses according to the reliability of machines. Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2020. No 49 (6). Pp. 50-56.
8. Ryadnov A. I., Fandeev S. Yu. The choice of a highly efficient technology for harvesting hay rolls from Sudanese grass. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversitetskiy complex: Science and higher professional education. 2022. No 1 (65). Pp. 370-380.
9. Ryadnov A. I., Fedorov A. V. Improving the reliability of the grain carrier trailer and expanding the possibilities of its use. Proceedings of NV AUK. 2022. No 1 (65). Pp. 442-451.
10. Trukhachev V. I., Orlyansky A. V., Orlyanskaya I. A. Substantiation of the rational parameters of the haylage harvesting process in rolls using simulation modeling: monograph. Stavropol: AGRUS, 2018. 176 p.
11. Tsarev Yu. A., Adamchukova E. Y., Belousov S. V., Melnikov D. G. Service book or how to increase the reliability of complex agricultural machinery. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2020. No 161. Pp. 290-297.
12. Tsarev Yu. A., Tsarev O. Yu. Method of improving the operational reliability of complex agricultural machines. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2023. No 189. Pp. 153-163.
13. Tsarev Yu. A., Tsarev O. Yu. On rationing reliability indicators of parts and assembly units of complex agricultural machines. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2022. No 184. Pp. 260-266.
14. Sinéad Devaney Silage Analysis – Why it's important and what it all means. Teagasc Adviser. Galway/Clare Regional Unit. <https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2015/Silage-analysis.pdf>.

#### Информация об авторах

**Ряднов Алексей Иванович**, Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

**Любимов Роман Вячеславович**, аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2796-9321>, e-mail: luybimov95@mail.ru

**Федоров Алексей Валерьевич**, аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-5459>, e-mail: alex\_fedorow\_97@mail.ru

**Воронин Сергей Михайлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, г. Элиста, ул. Пушкина, д. 11), e-mail: s.voronin-1@yandex.ru

#### Author's Information

**Ryadnov Alexey Ivanovich**, Honored worker of the higher school of the Russian Federation, doctor of agricultural Sciences, Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture", Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

**Lyubimov Roman Vyacheslavovich**, graduate student of the department "Operation and technical service of machines in the agro-industrial complex" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Agrarian University" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2796-9321>, e-mail: luybimov95@mail.ru

**Fedorov Aleksey Valerievich**, graduate student of the department "Operation and technical service of machines in the agro-industrial complex" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Agrarian University" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave. 26.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-5459>, e-mail: alex\_fedorow\_97@mail.ru

**Voronin Sergei Mikhailovich**, Doctor of technical sciences, professor of Kalmyk State University (Russian Federation, Elista, ul. Pushkina, 11), e-mail: s.voroninl@yandex.ru