УДК 631.37
DOI: 10.24412/1999-6837-2021-1-79-87

Кокиева[1,2] Г.Е., д-р техн. наук, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»;

Друзьянова[1,2] В.П., д-р техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова

[1]Арктический государственный агротехнологический университет;

[2]Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ И МАЛОГАБАРИТНЫХ ВИНТОВЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ-ЗЕРНОПОГРУЗЧИКОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

© Кокиева Г.Е., Друзьянова, В.П., 2021

Резюме. В агропромышленном комплексе Дальнего Востока за последние годы произошли изменения, вызвавшие значительный спад его уровня развития, в том числе, и в отраслях растениеводства. Ухудшилась материально-техническая база, отмечаются значительные колебания валовых сборов продукции. Условия хозяйствования в современных условиях ориентированы на получение экономической выгоды от вложения средств в освоение технологий, современную технику и применение инновационных разработок. Повышение производительности, а также надежности зерноуборочных агрегатов приводит к эффективности зерноуборочных работ. Для повышения эффективности агропромышленного комплекса в целом и сельского хозяйства в частности необходимы новые прогрессивные технологии, основанные на современных рабочих органах машин для подготовки почвы, посева, ухода за посевами, всей уборочной техники. Однако реализация программы их создания из-за отсутствия финансирования практически не выполняется, что сдерживает формирование и развитие рыночных производственных отношений в цивилизованных формах в агропромышленном комплексе на основе передовой технологии и новой техники. В статье приводятся исследования способа повышения производительности винтового шнекового транспортера, позволяющего создать малогабаритную конструкцию путем увеличения его оборотов. Описана технология работы транспортеров-зернопогрузчиков, исследован механизм работы и описаны недостатки работы, а именно: неполноценное обеспечение возможности переброски зерна на большие расстояния по пространственной трассе или усложнение технологической схемы. Кроме того, при работе во время погрузки напрямую из бурта требуется ручной труд или дополнительная техника.

Ключевые слова: производительность, агропромышленный комплекс, переброска зерна, дополнительная техника, транспортер-зернопогрузчик, подача зерна, технологическая схема, траектория передвижения материала.

UDC 631.37

G. E. Kokieva, Dr. Tech. Sci.,
V.P. Druzianova, Dr. Tech. Sci., Professor

RESEARCH OF HIGH-PERFORMANCE AND SMALL-SIZED SCREW GRAIN LOAD CONVEYORS IN AGRICULTURE

Abstract. In recent years there have been changes in the Far East agro-industrial complex that caused the significant decrease in its development level, including the fields of crops production. Material and technical base has got into a decline; there are significant fluctuations in gross product collections. Business management in modern conditions is focused on obtaining economic benefits from investing in the development of technologies, modern equipment and the use of innovative workings.

The productivity and reliability increase of the grain harvesters leads to the efficiency of grain harvesting. To increase the efficiency of the agro-industrial complex in general and agriculture in particular, new progressive technologies, based on modern working machinery bodies for soil preparation, sowing, crop care and all harvesting equipment are needed. However, the implementation of their creation program, due to the lack of funding, is practically not being realized, and it restrains the formation and development of market production relations in the agro-industrial complex in civilized forms based on advanced technology and new technology. The article presents research on the increasing method of the screw auger conveyor productivity, which makes it possible to create a small-sized structure by boosting its speed. The operation technology of grain loader conveyors is described; the operation mechanism is investigated; the disadvantages of work are described, namely, the inadequate provision of the possibility of transferring grain over long distances along a spatial route or the technological scheme complications. In addition, during loading work directly from the pile, manual labor or additional equipment is required.

Key words: productivity, agro-industrial complex, transfer of grain, additional equipment, grain load conveyor, grain supply, technological scheme, trajectory of material movement.

Введение. Вопросами автоматизации процессов послеуборочной обработки зерна занимается ряд научно-исследовательских и проектных организаций. Однако ими часто принимаются несогласованные решения. Развитие технологии и машин для уборки зерновых культур происходит без учета биологических особенностей и динамики накопления сухой массы зерна, которая прекращается при влажности 35-40%. Убранное в этот период зерно имеет наилучшие посевные и пищевые качества.

Уборка зерновых современными комбайнами начинается не ранее чем через 7-10 дней после достижения максимальной урожайности по сухой массе зерна. Для обеспечения устойчивости процесса уборки и обработки урожая зерновых культур в различных регионах страны необходим комплекс технологических, технических и организационных мероприятий, проведение которых должно предопределять экономически обоснованную степень риска с учетом природно-климатических и производственных условий. Наиболее рациональным способом повышения производительности винтового шнекового транспортера, позволяющим создать малогабаритную конструкцию, является увеличение его оборотов [2]. Производительность шнека зависит также от равномерности подачи зерна. При использовании бункерных и им подобных питателей сыпучий материал поступает в транспортер через окно заборной камеры сверху, и часть его отбрасывается восходящей ветвью винта. Поэтому материал попадает в шнек порциями, количественно зависящими от оборотов, угла наклона шнека к горизонту и коэффициента внутреннего трения материала. Однако все эти конструкции не обеспечивают возможность переброски зерна на большие расстояния по пространственной трассе или усложняют технологическую схему [3]. У большинства спиральных конвейеров не предусмотрено изменение расстоя-

ния и траектории передвижения материала. Кроме того, при работе с ними во время погрузки напрямую из бурта требуется ручной труд или дополнительная техника. При захвате зерна из насыпи с увеличением частоты вращения спирали происходит его разбрасывание, а внутри кожуха создается сопротивление осевому перемещению [4] в результате чрезмерного перемешивания материала и проворачивания зерна внутри пружинного шнека. В связи с этим был достигнут предел увеличения производительности при существующем принципе транспортирования.

Цель работы. В решении задач по обеспечению устойчивого развития сельскохозяйственного производства, надежного снабжения населения страны продуктами питания важное место отводится укреплению материально-технической базы агропромышленного комплекса, его целенаправленному техническому перевооружению. В связи с этим целью работы является исследование рационального способа повышения производительности винтового шнекового транспортера, позволяющего создать малогабаритную конструкцию. Способом достижения этой цели является увеличение оборотов транспортера.

Методика исследований. Увеличение производительности с возрастанием оборотов винта (от 400 до 1100 оборотов в минуту) происходит до определенного момента, после которого обороты продолжают повышаться, а производительность падает (рис. 1). В зависимости от диаметра шнека D максимум производительности смещается. При угле наклона к горизонту 20° и влажности зерна 14-15% он наблюдается: у шнека, имеющего D = 100 мм при 900-950 об/мин, у шнека с D = 125 мм – при 800-850 об/мин, у шнека с D = 150 мм – при 700-725 об/мин.

Пользуясь экспериментальными данными, составим параметрическое уравнение траектории движения зерна:

$$\left.\begin{aligned} x &= R\cos\theta, \\ y &= R\sin\theta, \\ z &= \frac{S_з}{2\pi}\left(\theta + \frac{\pi}{6}\sin\theta\right), \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где – средний радиус кольцевой проекции зернового винта на плоскость *XOY*; $S_з$ – шаг зернового винта; $\theta=\omega_з t$ – угол поворота; $\omega_з$ – угловая скорость зерна; t – время поворота. Выражение $\frac{\pi}{6}\sin\theta$ определено из условий: при $z = 0$ $y = 0$, при $z = \frac{S_з}{3}$ $y = R$.

Если эти требования выполнены, то проекции траектории движения зерна на плоскости *ZOY* и *ZOX* будут асимметричны и периодичны по (периодом, равным $S_з$). Проекция траектории на плоскость *XOY* будет иметь вид окружности с радиусом *R*. Из проекции траектории на плоскость *ZOY*, как и в опытах, следует, что угловые скорости восходящей и падающей ветвей зернового винта разные: при подъеме скорость $\omega_з$ меньше чем при сбросе. Кроме того, она непостоянна и изменяется от минимума до максимума [1].

При работе высокооборотного шнека осевая скорость зерна $\upsilon_з$ отстает от осевой скорости шнека υ_z. Это отставание можно выразить коэффициентом k_υ, который необходимо учитывать при расчете производительности высокооборотного транспортера [7]:

$$k_\upsilon = \frac{\upsilon_з}{\upsilon_z}, \quad \upsilon_з = k_\upsilon \frac{Sn}{60}, \quad (2)$$

где *S* и *n*– шаг и число оборотов шнека. Коэффициент k_υ можно определить и через угловые скорости зерна $\omega_{зер}$ и винта ω:

$$k_\upsilon = \frac{\omega_{зер}}{\omega}. \quad (3)$$

Величина k_υ, полученная опытным путем для горизонтального винта и зерна влажностью 14-15% (f = 0,35-0,40), равна 0,57-0,60.

Основная часть. Чтобы повысить производительность шнека, необходимо ускорить осевое продвижение материала, т.е. растянуть восходящую и, особенно, падающую ветви траектории материала. Производительность шнека диаметром 125 мм (при наклоне к горизонту 50° на пшенице влажностью 12-13%) с обычной трубой составила 12,6 т/час, а с трубой, имеющей пазы, - 14 т/час.

При высоких оборотах шнека транспортируемый материал образует винтовую поверхность, восходящая *AB* и падающая *BC*, ветви которой (рис.1) имеют разные углы наклона к оси шнека *Z* (δ = 57-60°, γ = 38-40°). За один оборот скоростного шнека восходящая ветвь его продвигает материал вдоль оси на две трети шага зернового винта S_a, а сбрасываемая – на одну треть. Первая ветвь стремится бросить материал вверх и вперед, вторая – круто вниз под винт.

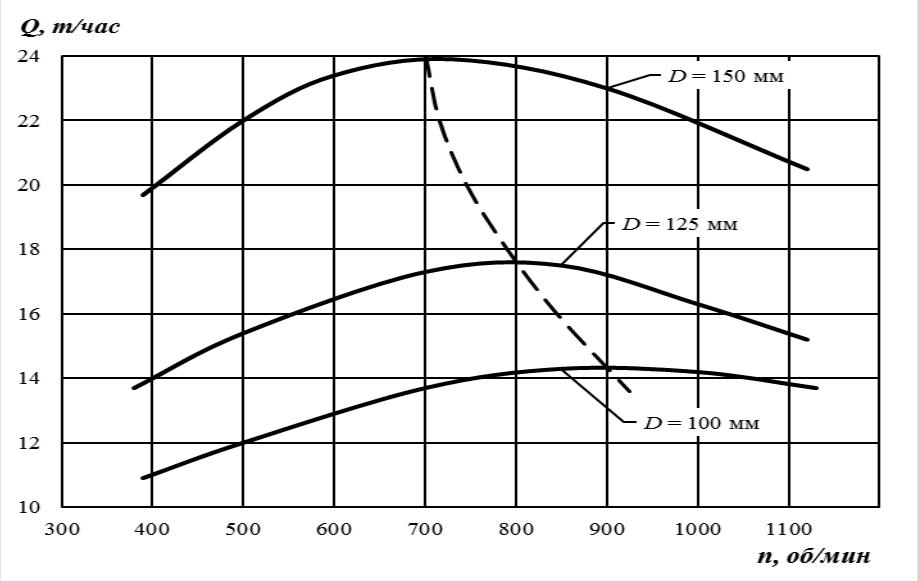


Рис. 1. Изменение производительности скоростного шнека в зависимости от оборота и диаметра винта.

Объясняется это тем, что на высоких оборотах сыпучий материал (зерно), отбрасываемый центробежной силой к внутренней поверхности трубы, заполняет пазы [9]. Так как они расположены довольно близко друг от друга (через 30°), то у поверхности образуется тормозящий слой, под действием которого окружная составляющая скорости абсолютного движения зерна уменьшается, а осевая – возрастает [8].

Проанализируем поступление зерна в шнек в зависимости от оборотов винта. С некоторым допущением примем, что условие, при котором в заборную камеру пройдет наибольшее количество материала, выражается [5]:

$$\upsilon_{\text{окр}} \leq \upsilon_{\text{ист}}, \quad (4)$$

где $\upsilon_{окр}$ – окружная скорость кромки винта шнека; $\upsilon_{ист}$ – скорость истечения зерна из бункера. При этом условии зерно верхней ветвью винта будет отбрасываться меньше, и оно поступит в шнек в основном за счет сбрасывающей ветви [10].

Известно, что формула (4) не отражает характера изменения производительности шнекового транспортера при работе на высоких (более 300-400 в минуту) оборотах и поэтому нуждается в коррективах [6]. С учетом наших исследований производительность скоростного шнека можно определить следующим образом:

$$Q = 47{,}1\, D^2 S n k_\upsilon \psi \gamma c, \text{ т/час.} \quad (5$$

Используя опытные данные, выразим коэффициент наполнения ψ через n

$$\psi = 1 - A\frac{\bar{n}}{1000}; \quad (6)$$

где A – коэффициент пропорциональности.

Для шнека D = 100 мм A = 0,40, для D = 125 мм A = 0,50 и для D =150 мм A = 0,58.

Подставим в формулу (5) среднюю величину k_υ = 0,6 и значение ψ, выраженное через:n

$$Q = 28{,}2\, D^2 S n \left(1 - A\frac{n}{1000}\right)\gamma c. \quad (7)$$

Определим обороты шнека, соответствующие оптимальным условиям поступления материала в транспортер.

Напишем выражение для скоростей:

$$\upsilon_{\text{ист}} = \sqrt{\frac{gR_\text{г}}{f}}\text{, м/сек,} \quad (8)$$

$$\upsilon_{\text{окр}} = \frac{\pi R_\text{в} n}{30}\text{, м/сек,} \quad (9)$$

где $R_\text{г}$ – гидравлический радиус отверстия истечения, м; f – коэффициент внутреннего трения материала; g - ускорение свободного падения, м/с2; $R_\text{В}$ – радиус винта шнека, м.

Приравняем правые части этих уравнений и решим полученное выражение относительно числа оборотов винта:

$$n = n_{\text{опт}} = \frac{30}{\pi R_\text{в}}\sqrt{\frac{gR_\text{г}}{f}} \quad (10)$$

Выразим условие (1) через отношение скоростей:

$$\frac{\upsilon_{\text{ист}}}{\upsilon_{\text{окр}}} = \varepsilon = \frac{30}{\pi R_\text{в} n}\sqrt{\frac{gR_\text{г}}{f}} \quad (11)$$

и назовем – коэффициентом возможности проникновения. Значения его, подсчитанные при различных оборотах винта n и $R_\text{г}$ = 0,17 м, 0,5 (зерно), $R_\text{г}$ = 0,62 м, $\upsilon_{\text{ист}}$ = 1,8 м/сек, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Факторы, воздействующие на производительность шнека

Показатели	Число оборотов винта в минуту							
	300	500	700	900	1100	1300	1500	3000
Окружная скорость винта , $\upsilon_{\text{окр}}$, м/сек	1,8	3,14	4,4	5,6	7,0	8,2	9,5	19,0
Коэффициент проникновения ε	0,94	0,57	0,41	0,32	0,26	0,22	0,19	0,09
Коэффициент наполнения ψ	0,9	0,75	0,65	0,45	0,4	0,3	0,2	–

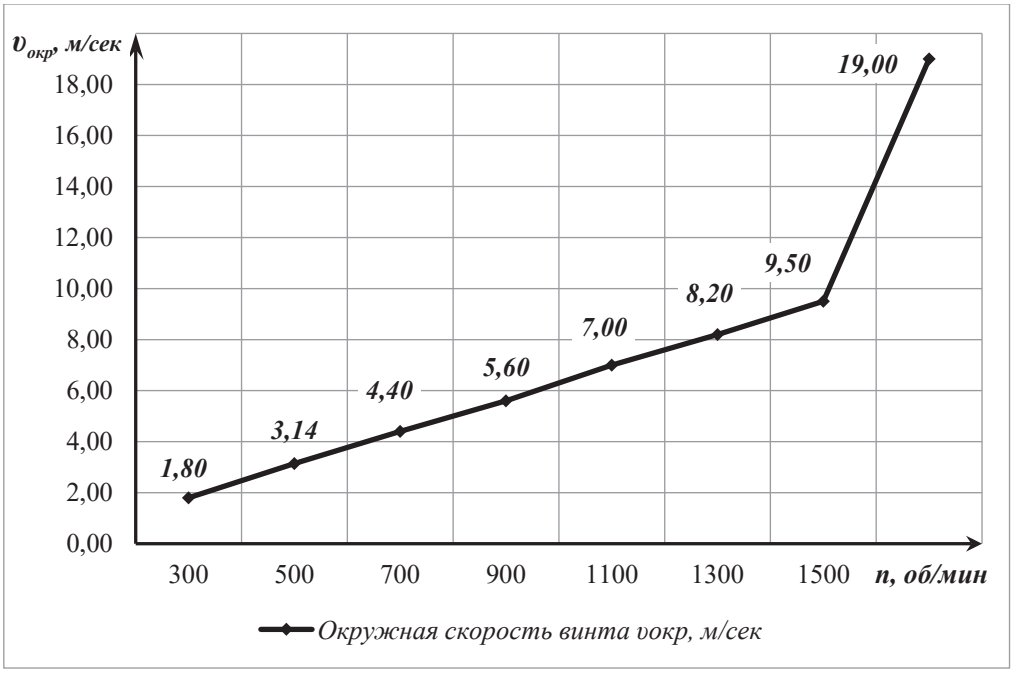


Рис. 2. Изменение окружной скорости винта.

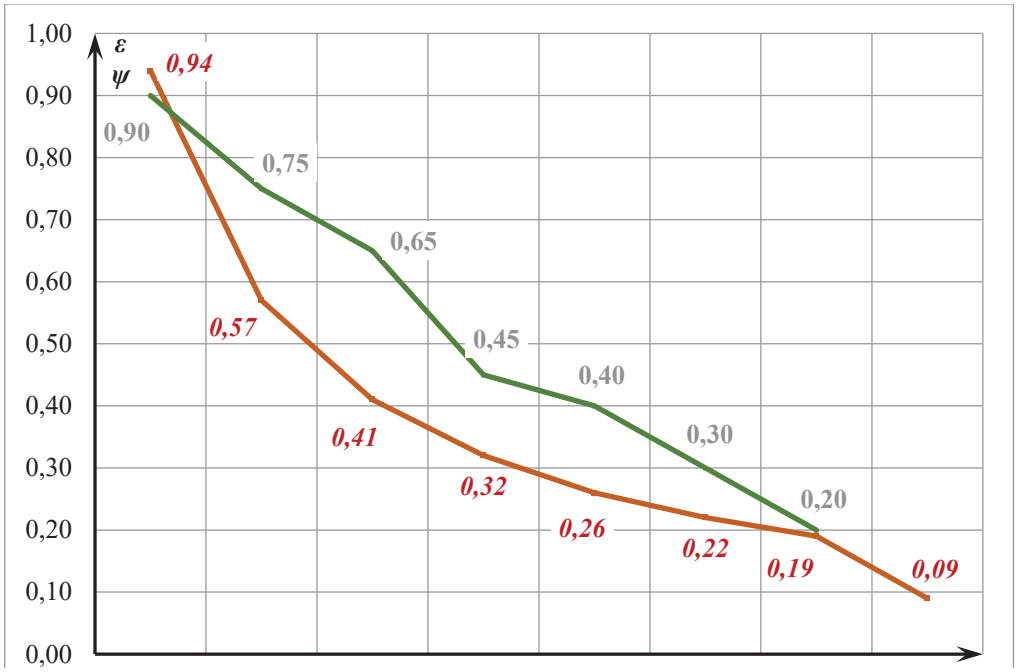


Рис. 3. Изменение коэффициента проникновения и наполнения.

Из графика видно, что значение ε убывает с возрастанием оборотов. При этом и коэффициент наполнения шнека зерном также снижается, что вызывает уменьшение производительности.

Коэффициент производительности ρ выразим следующим образом:

$$\rho = k_{\upsilon}\psi.$$

Значение ρ можно увеличить, сделав винт шнека с переменным шагом [6]. При этом часть винта, приходящаяся на заборную камеру, должна иметь шаг несколько меньше основного (в наших опытах он был вдвое меньше).

Существующая расчетная формула производительности шнека имеет вид:

$$Q = 60\frac{\pi D^2}{4} Sn\psi\gamma c, \text{ т/час,} \quad (12)$$

где γ – объемный вес материала, т/м^3; *c*– коэффициент, учитывающий угол наклона шнека.

Заключение. В решении задач по обеспечению устойчивого развития сельскохозяйственного производства, надежного снабжения населения страны продуктами питания важное место отводится укреплению материально-технической базы агропромышленного комплекса, его целенаправленному техническому перевооружению. Рациональным способом повышения производительности винтового шнекового транспортера, позволяющим создать малогабаритную конструкцию, является увеличение его оборотов. Чтобы повысить производительность шнека, необходимо ускорить осевое продвижение материала, т.е. растянуть восходящую и, особенно, падающую ветви траектории материала. Таким образом, дальнейшие исследования позволят найти новые пути повышения коэффициента скорости k_υ и коэффициента ψ и создать скоростные высокопроизводительные и малогабаритные винтовые транспортеры-зернопогрузчики.

Список литературы

1. Авдеев, А.В. Агрегаты и комплексы для послеуборочной обработки и хранения зерна и семян (учебное пособие) /А.В. Авдеев, В.С. Сечкин, В.Д. Галкин [и др.]. – Санкт-Петербург, Изд-во Санкт-Петербургского АГУ, 2005. – 130 с.

2. Бурков, А. И. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян / А. И. Бурков, В. Л. Андреев, О. П. Рощин // Сельскохозяйственная техника. - 2006. - № 1. - С. 16-19.

3. Дринча, В.М. Качество зернового материала и эффективность послеуборочной обработки / В.М. Дринча, И.Г. Зубаилов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. - № 9. - С. 12-15.

4. Кирпа, Н. Хранение без потерь и ухудшения качества // Зерно. Журнал современного агропромышленника. – 2011. – № 6. – URL: https://www.zerno-ua.com/journals/2011/iyun-2011-god/hranenie-bez-poter-i-uhudsheniya-kachestva/ (дата обращения: 10.01.2021).

5. Курочкин, А.А. Практикум по сооружениям и оборудованию для хранения продукции растениеводства и животноводства (учебное пособие) / А.А. Курочкин, В.А. Мимошкин, А.Ю. Сергеев [и др.]. – Москва : КолосС, 2007. – 153 с.

6. Личко, Н.М. Технология переработки продукции растениеводства / Н.М. Личко. – Москва : КолосС, 2006. – 616 с.

7. Малин, Н.И. Технология хранения зерна / Н.И. Малин; Под ред. Н.И. Малина-Москва : Колос, 2005. - 280 с.

8. Манжесов, В.И. Технология хранения растениеводческой продукции /В.И. Манжесов, И.А. Попов, Д.С. Щедрин – Москва : Колос, 2005. – 390 с.

9. Технология послеуборочной обработки и сушки зерна // Колхоз. [Электронный ресурс]. – URL:http://colxoz.com/texnologiya-posleuborochnoj-obrabotki-i-sushkizerna/ (дата обращения 29.07.2015).

10. Хранение зерна // Информационно-аналитический портал для крестьянских фермерских хозяйств. [Электронный ресурс]. – URL: http://fermer.zol.ru/ (дата обращения 28.07.2015).

References

1. Avdeev, A.V. Agregaty i kompleksy dlya posleuborochnoi obrabotki i khraneniya zerna i semyan (uchebnoe posobie) (Units and complexes for post-harvest processing and storage of grain and seeds (textbook)), A.V. Avdeev, V.S. Sechkin, V.D. Galkin [i dr.], Sankt- Peterburg, Izd-vo Sankt-Peterburgskogo AGU, 2005, 130 p.

2. Burkov, A. I. Mekhanizatsiya posleuborochnoi obrabotki zerna i semyan (Mechanization of post-harvest processing of grain and seeds), A. I. Burkov, V. L. Andreev, O. P. Roshchin, Sel'skokhozyaistvennaya tekhnika, 2006, No 1, PP. 16-19.

3. Drincha, V.M. Kachestvo zernovogo materiala i effektivnost' posleuborochnoi obrabotki (V.M. Drincha, I.G. Zubailov), Traktory i sel'skokhozyaistvennye mashiny, 2002, No 9, PP. 12-15.

4. Kirpa, N. Khranenie bez poter' i ukhudsheniya kachestva ((Storage without losses and deterioration of quality), Zerno. Zhurnal sovremennogo agropromyshlennika, 2011, No 6, URL: https://www.zerno-ua.com/journals/2011/iyun-2011-god/hranenie-bez-poter-i-uhudsheniya-kachestva/ (data obrashcheniya: 10.01.2021).

5. Kurochkin, A.A. Praktikum po sooruzheniyam i oborudovaniyu dlya khraneniya produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva (uchebnoe posobie) (Workshop on facilities and equipment for storing crop and livestock products (textbook)), A.A. Kurochkin, V.A. Mimoshkin, A.Yu. Sergeev [I dr.], Moskva, KolosS, 2007, 153 p.

6. Lichko, N.M. Tekhnologiya pererabotki produktsii rastenievodstva (Processing technology of crop production), N.M. Lichko, Moskva, KolosS, 2006, 616 p.

7. Malin, N.I. Tekhnologiya khraneniya zerna (Grain storage technology), N.I. Malin, pod red. N.I. Malina, Moskva, Kolos, 2005, 280 p.

8. Manzhesov, V.I. Tekhnologiya khraneniya rastenievodcheskoi produktsii (Crop storage technology), V.I. Manzhesov, I.A. Popov, D.S. Shchedrin, Moskva, Kolos, 2005, 390 p.

9. Tekhnologiya posleuborochnoi obrabotki i sushki zerna (Technology of post-harvest processing and drying of grain), Kolkhoz. [Elektronnyi resurs], URL: http://colxoz.com/texnologiya-posleuborochnoj-obrabotki-i-sushkizerna/ (data obrashcheniya 29.07.2015).

10. Khranenie zerna (Grain storage), Informatsionno-analiticheskii portal dlya krest'yanskikh fermerskikh khozyaistv. [Elektronnyi resurs], URL: http://fermer.zol.ru/ (data obrashcheniya 28.07.2015).

Информация об авторах:

***Кокиева[1,2] Галия Ергешевна**, д-р техн. наук, декан инженерного факультета ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Сергеляхское шоссе, 3 км, дом 3; тел.89248666537; e-mail:kokievagalia@mail.ru;*

***Друзьянова[1,2] Варвара Петровна**, д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис» автодорожного факультета ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», 677000, Россия, Республика Саха (Якутия), 677000, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58.; тел.89841138724; e-mail:druzvar@mail.ru.*

[1]Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское шоссе, 3 км, дом 3, 677007, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия;

[2]Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, ул. Белинского, дом 58, 677007, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия.

Information about the authors

***Galia E. Kokieva[1,2]**, Doctor of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Engineering; 1Arctic State Agrotechnological University; 3, 3 km Sergelyakhskoe sh., Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia); Russia; 677007; phone number: 89248666537; e-mail: kokievagalia@mail.ru.*

***Varvara P. Druzianova[1,2]**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Operation of Road Transport and Car Service" of the Faculty of Road Traffic; 2North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 58, Belinsky st., Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia; 677007; mobile: 89841138724; e-mail: druzvar@mail.ru.*

[1]Arctic State Agrotechnological University, 3, 3 km Sergelyakhskoe sh., 677007, Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia;

[2]North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 58, Belinsky st., 677007, Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia.

УДК 631.372:629.36
DOI: 10.24412/1999-6837-2021-1-87-98

Кузнецова О.А., аспирант кафедры транспортно-энергетических средств и механизации АПК;

Кривуца З.Ф., д-р техн. наук, доцент;

Щитов С.В., д-р техн. наук, профессор;

Кузнецов Е. Е., д-р техн. наук, доцент;

Евдокимов В. Г., д-р техн. наук, профессор;

Поликутина Е.С., канд. техн. наук, доцент;

Двойнова Н. Ф. канд. с.-х. наук, доцент

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОЛЁСНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

© Кузнецова О.А., Кривуца З.Ф., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Евдокимов В.Г., Поликутина Е.С., Двойнова Н.Ф., 2021

Резюме. В статье рассматривается возможность использования сельскохозяйственных угодий, которые до этого времени считались непригодными для ведения сельскохозяйственного производства, по причине сложного рельефа местности. Решение вышеобозначенной проблемы может быть найдено за счёт применения специальных устройств, способных расширять функциональные возможности серийной техники. Одним из таких устройств является устройство, способное за счёт рационального распределения весовой нагрузки между колёсными движителями повышать поперечную устойчивость колёсной энергетики. Проведенные сравнительные хозяйственные испытания показали, что использование предлагаемого устройства позволяет регулировать взаимодействие движителя с почвой для повышения поперечной устойчивости, стабилизации движения трактора в условиях склоновых поверхностей и корректировать вертикальные нагрузки на движителе.