17. Russello H. Convolutional neural networks for crop yield prediction using satellite images // IBM Center for Advanced Studies. 2018. <https://esc.fnwi.uva.nl/thesis/centraal/files/f1570224447.pdf>.

18. Trukhachev V. I. Estimation of condition of cultivated pastures under remote sensing of earth // Engineering for Rural Development Proceedings. 2019. P. 442-449.

Information about the author

Alexey F. Rogachev, Professor, Department of Mathematical Modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskii Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation), Doctor of Technical Sciences, Professor <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru

Elena V. Melikhova, Head of the Department of Mathematical Modeling and Computer Science, Volgograd State Agrarian University (26, Universitetskii Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation), Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, mel-v07@mail.ru

Информация об авторах

Рогачев Алексей Фруминович, профессор кафедры "Математическое моделирование и информатика" Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), доктор технических наук, профессор <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru

Мелихова Елена Валентиновна, заведующий кафедры «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д.26), доктор технических наук, доцент <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, mel-v07@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-41

SELECTION OF THE METHOD OF MOVEMENT OF THE SORGHUM COMBINE WHEN HARVESTING THE BROOM SORGHUM

A.I. Ryadnov, O.A. Fedorova, V.A. Baril

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Received 12.03.2021

Submitted 28.05.2021

Summary

A comparison is made of four standard non-loop ways of moving a combine harvester when harvesting broom sorghum: with the expansion of the combined mowing from the periphery of the pen to its center, and with the overlap with the expansion of the mowing by the value of the working stroke coefficient. It is established that the values of the coefficient of working strokes for the gon non-loop methods of movement used for harvesting broom sorghum differ by no more than 2%, but at the same time the maximum value of the coefficient of working strokes, and, consequently, the operating productivity, has a sorghum harvester when using the gon non-loop combined method of movement. It is possible to significantly increase the productivity of the sorghum harvester for harvesting broom sorghum by using the gon shuttle method of movement.

Abstract

Introduction. Labor productivity in agricultural production largely depends on the potential capabilities of the existing machine and tractor fleet of the economy and is determined by a number of indicators, including the productivity of machine and tractor units, which depends not only on the technical capabilities of the machines that make up the unit, but also on the conditions and the organization of its work. Until now, there are practically no publications related to the study of the influence of the methods of movement of units during agricultural work on their productivity. The purpose of this work is to determine the most efficient way of moving a sorghum harvester in terms of productivity while harvesting broom sorghum. **Materials and methods.** Based on the analysis of the materials of scientific works, it has been established that it is possible to assess the performance of a sorghum harvester when using possible methods of movement on the paddock when harvesting crops in the same conditions by the coefficient of working strokes. Knowing the coefficient of the working strokes ϕ , it is possible to determine the operational performance of the sorghum harvester without linking its determination with many different factors, but to determine it as a function of the technical capabilities of the combine, the kinematics of its movement and the size of the corral to

be removed. **Results and conclusions.** When harvesting broom sorghum, several ways of moving the sorghum harvester on the paddock can be used: loopless rutting with swath widening; loopless combined rut; loopless rutting from the periphery of the corral to its center; loopless overlap with swath widening. Having considered the diagrams of the ways of movement of the sorghum harvester, it was determined that the number of turns of the harvester at the headland is related to the number of working strokes. In the general case, the number of working strokes is determined by the formula: $n_r = (C - C_{pr})/B_r$, where C is the width of the pen, m; C_{pr} - swath width, m. The total distance covered by the sorghum harvester while harvesting one corral when making turns and passing a straight section at all turns at the headland is: $L_1 = L_k N_l + \sum_{i=1}^{N_{kr}} L_{x,i} + \sum_{j=1}^{N_l} L_{l,j}$ where L_k is the path traveled by the sorghum harvester at one turn, m, $L_{x,i}$ is the distance traveled by the sorghum harvester on the straight section of the i -th circle, $i = 1 \dots N_{kr}$ - the number of laps made by the combine harvester when cleaning the corral, pcs; $L_{l,j}$ - the path covered by the combine harvester with a turn of 180° , m; $j = 1 \dots N_l$ is the number of turns per 180° made by the sorghum harvester when cleaning the corral, pcs. Dependencies have been determined for calculating the coefficients of the working strokes of a sorghum harvester for four rut loopless and rut shuttle modes of movement. Based on the dependences obtained, the calculations of the coefficients of the working strokes of a single-module sorghum harvester with a working width of $B_r = 0,7$ m for five ways of its movement when harvesting broom sorghum on a corral with an area of $S_z = 3.5$ hectares, at different values of the width of the corral C and the path of the working stroke L_r . The results of calculations showed that the coefficients of the working strokes for the loopless broom sorghum methods used for harvesting the broom do not differ by more than 2%, but at the same time the maximum value of the coefficient of the working strokes, and, consequently, the operational efficiency, is possessed by the sorghum harvester when using the loopless rotor. combined mode of movement. With an increase in the length of the run, the coefficient of working strokes increases. The productivity of the combine harvester can be increased by 15 - 25% when using the rut shuttle mode of movement. However, this method of movement can be used after changing the design of the combine harvester. Of the four loopless ways of movement of the sorghum harvester used for harvesting broom sorghum, the loopless combined one is the most productive. The productivity of the harvester for harvesting broom sorghum can be significantly increased by improving its design, which ensures the use of the rut shuttle method of movement.

Key words: *sorghum combine, replaceable productivity of the combine, method of movement, coefficient of working strokes, sorghum broom.*

Citation. Ryadnov A.I., Fedorova O. A., Baril V. A. Selection of the method of movement of the sorghum combine when harvesting the broom sorghum. Proc. of the Lower Volga Agro – University Comp. 2021. 2(62). 403-415 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-41.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.358

ВЫБОР СПОСОБА ДВИЖЕНИЯ СОРГОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ПРИ УБОРКЕ ВЕНИЧНОГО СОРГО

А. И. Ряднов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

О. А. Федорова, доктор технических наук, доцент

В. А. Бариль, аспирант

Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 12.03.2021

Дата принятия к печати 28.05.2021

Актуальность. Производительность труда в сельскохозяйственном производстве во многом зависит от потенциальных возможностей имеющегося машинно-тракторного парка хозяйства и определяется рядом показателей, в том числе и производительностью машинно-тракторных агрегатов, которая зависит не только от технических возможностей машин, входящих в состав агрегата,

но и от условий и организации его работы. До настоящего времени публикаций, связанных с исследованиями влияния способов движения агрегатов при выполнении сельскохозяйственных работ на их производительность, практически не было. **Цель** настоящей работы – определить наиболее эффективный по производительности способ движения соргоуборочного комбайна на уборке веничного сорго. **Материалы и методы.** На основе анализа материалов научных работ установлено, что оценивать производительность соргоуборочного комбайна при использовании возможных способов движения на загоне при уборке сельскохозяйственных культур в одних и тех же условиях можно по коэффициенту рабочих ходов. Зная коэффициент рабочих ходов φ , можно определить эксплуатационную производительность соргоуборочного комбайна, не связывая ее определение с множеством разнообразных факторов, а определять ее в функции от технических возможностей комбайна, кинематики его движения и размеров убираемого загона. **Результаты.** При уборке веничного сорго может быть использовано несколько способов движения соргоуборочного комбайна на загоне: гоновый беспетлевой с расширением прокоса; гоновый беспетлевой комбинированный; гоновый беспетлевой от периферии загона к его центру; гоновый беспетлевой перекрытием с расширением прокоса. Рассмотрев схемы способов движения соргоуборочного комбайна, определили, что количество поворотов соргоуборочного комбайна в конце гона связано с числом рабочих ходов. В общем случае число рабочих ходов определяется по формуле: $n_r = (C - C_{pr})/B_r$, где C – ширина загона, м; C_{pr} – ширина прокоса, м. Суммарный путь, пройденный соргоуборочным комбайном на уборке одного загона при выполнении поворотов и прохождении прямолинейного участка на всех поворотах в конце гона, равен: $L_1 = L_k N_l + \sum_{i=1}^{i=Nkr} L_{xi} + \sum_{j=1}^{j=Nl} L_{lj}$, где L_k – путь, пройденный соргоуборочным комбайном на одном повороте, м, L_{xi} – путь, пройденный соргоуборочным комбайном на прямолинейном участке i – го круга, м; $i = 1 \dots N_{kr}$ – количество кругов, выполненных соргоуборочным комбайном при уборке загона, шт.; L_{lj} – путь, пройденный соргоуборочным комбайном с поворотом на 180° , м; $j = 1 \dots N_l$ – количество поворотов на 180° , выполненных соргоуборочным комбайном при уборке загона, шт. Определены зависимости для расчета коэффициентов рабочих ходов соргоуборочного комбайна для четырех гоновых беспетлевых и гонового челночного способов движения. По полученным зависимостям выполнены расчеты коэффициентов рабочих ходов одномодульного соргоуборочного комбайна с рабочей шириной захвата $B_r = 0,7$ м для пяти способов его движения при уборке веничного сорго на загоне площадью $S_z = 3,5$ га при разных значениях ширины загона C и пути рабочего хода L_r . Результаты расчетов показали, что коэффициенты рабочих ходов для применяемых на уборке веничного сорго гоновых беспетлевых способов движения отличаются не более чем на 2 %, но при этом максимальное значение коэффициента рабочих ходов, а следовательно, и эксплуатационную производительность имеет соргоуборочный комбайн при использовании гонового беспетлевого комбинированного способа движения. При увеличении длины гона коэффициент рабочих ходов растет. Производительность соргоуборочного комбайна может быть увеличена на 15-25 % при использовании гонового челночного способа движения. Однако данный способ движения можно использовать после изменения конструкции соргоуборочного комбайна. **Выводы.** Из четырех применяемых на уборке веничного сорго гоновых беспетлевых способов движения соргоуборочного комбайна максимально производительным является гоновый беспетлевой комбинированный. Производительность соргоуборочного комбайна на уборке веничного сорго может быть существенно увеличена при усовершенствовании его конструкции, обеспечивающей применение гонового челночного способа движения.

Ключевые слова: соргоуборочные комбайны, сменная производительность комбайнов, способы движения комбайнов, коэффициент рабочих ходов, сорго веничное.

Цитирование. Ряднов А. И., Федорова О. А., Бариль В. А. Выбор способа движения соргоуборочного комбайна при уборке веничного сорго. *Известия НВ АУК*. 2021. 2(62). 403-415. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-41.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Важнейшей задачей развития сельского хозяйства является повышение производительности труда на всех этапах возделывания и уборки сельскохозяйственных культур. Производительность труда в сельскохозяйственном производстве во многом зависит от потенциальных возможностей имеющегося машинно-тракторного парка хозяйства [2] и определяется рядом показателей, в том числе и производительностью машинно-тракторных агрегатов. Данный показатель представляет собой достаточно сложную функцию, зависящую не только от технических возможностей машин, входящих в состав агрегата, но и от условий и организации его работы [3, 7, 12, 14, 15].

До настоящего времени опубликовано достаточно много научных работ по оценке производительности машинно-тракторных агрегатов от технических возможностей энергетических средств и машин, входящих в состав агрегатов, почвенно-климатических и других факторов. Но при этом публикаций, связанных с влиянием способов движения агрегатов при выполнении сельскохозяйственных работ на их производительность, практически нет. Это связано, прежде всего, с материалами, представленными в учебниках по дисциплине «Эксплуатация машинно-тракторного парка», авторами которых являлись основатели данной дисциплины Б. С. Смирновский, Б. А. Линтварев, Г. В. Веденяпин, Ю. К. Киртбая, С. А. Иофинов, М. П. Сергеев. В данных учебниках, в частности дана единая зависимость для примерного расчета длины беспетлевого с прямым участком поворота агрегата при всех возможных беспетлевых способах движения. Однако после публикаций классических учебников по указанной дисциплине внедрены в производство машины, реализующие новые принципы выполнения технологических процессов, например, роторные зерноуборочные комбайны, очесывающие жатки, используются новые технологии выполнения сельскохозяйственных работ, например, с применением GPS. Все это повлияло на рост доли производительного времени и изменение доли других затрат в балансе времени смены [5, 6], а следовательно, и на производительность машин. Отсутствуют работы по оценке влияния способов движения зерноуборочного комбайна конструкции Волгоградского ГАУ на уборку веничного сорго на его производительность.

В связи с этим целью настоящей работы – определить наиболее эффективный по производительности способ движения зерноуборочного комбайна на уборке веничного сорго.

Материалы и методы. На основе анализа материалов научных работ по оценке производительности как уборочных [10, 12, 13], так и других машин, применяемых при возделывании и уборке сельскохозяйственных культур, определено, что технические возможности машин, условия и организация их работы учитывает известная формула для расчета сменной производительности, в том числе и зерноуборочного комбайна на уборке веничного сорго:

$$W_{sm} = 0,36 B_r V_r T_{sm} \tau, \quad (1)$$

где B_r – рабочая (фактическая) ширина захвата жатки комбайна, м; V_r – рабочая скорость движения комбайна, м/с; T_{sm} – продолжительность смены, ч; τ – коэффициент использования времени смены.

Рабочая ширина захвата жатки комбайна B_r определяется конструктивной шириной захвата жатки и коэффициентом ее использования, который зависит от точности вождения комбайна, качества регулировок и настроек рабочих органов комбайна, колебаний ширины захвата от случайных изменений сил.

Однако следует заметить, что рабочая ширина захвата жатки зерноуборочного комбайна при уборке веничного сорго кратна ширине междурядий данной культуры и числу рядков сорго, убираемых комбайном за один проход.

Рабочая скорость комбайна V_r определяется теоретической скоростью комбайна и коэффициентом ее использования, который зависит от квалификации комбайнера, условий уборки, в частности рельефа поля, и ряда других факторов.

Значительное влияние на производительность соргоуборочного комбайна оказывает коэффициент (степень) использования времени смены τ .

В соответствии с ГОСТ 24055 – 2016 (Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. М.: Стандартинформ, 2020), а также с учетом материалов работ [1, 6], технически обоснованное значение коэффициента использования времени смены определяют из баланса времени смены:

$$T_{\text{см}} = T_O + T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10}, \quad (2)$$

где T_O – время основной или чистой работы, ч; T_1 – время на повороты в конце гона поля, ч; T_2 – затраты времени на технологические переезды, ч; T_3 – затраты времени на технологическое обслуживание, ч; T_4 – время на ежесменное техническое обслуживание и заправку топливом, ч; T_5 – затраты времени на перевод машины в рабочее и транспортное положение, ч; T_6 – затраты времени на проведение наладок и регулировок, ч; T_7 – затраты времени на составление агрегата, ч; T_8 – затраты времени на устранение нарушений технологического процесса, ч; T_9 – время отдыха, ч; T_{10} – затраты времени на переезды к месту работы и обратно (в начале и в конце смены), ч.

Баланс времени смены составляется на основе хронометража работы соргоуборочного комбайна, по результатам которого определяется коэффициент использования смены:

$$\tau = T_O / T_{\text{см}}. \quad (3)$$

Рассматривая составляющие времени смены, можно отметить, что повысить коэффициент использования времени смены можно за счет снижения непроизводительных затрат времени на холостые переезды машинно-тракторного агрегата [4].

Кроме того, при прочих равных условиях основным фактором, влияющим на производительность машинно-тракторного агрегата, в том числе и соргоуборочного комбайна, являются затраты времени на повороты в конце гона поля (T_1):

$$T_1 = L_1 / V_1, \quad (4)$$

где L_1 – путь соргоуборочного комбайна, пройденный на повороте, м; V_1 – скорость соргоуборочного комбайна на повороте, м/с.

Из отмеченного выше следует, что оценивать производительность соргоуборочного комбайна при использовании возможных способов движения на загоне при уборке сельскохозяйственных культур в одних и тех же условиях можно только по затратам времени на повороты агрегата в конце гона. Поэтому если допустить, что скорость соргоуборочного комбайна на всех участках поворота является постоянной величиной, то сравнивать способы движения можно по коэффициенту рабочих ходов [8]:

$$\varphi = \frac{\sum_1^{N_{rx}} L_r}{\sum_1^{N_{rx}} L_r + \sum_1^{N_1} L_1}, \quad (5)$$

где $\sum_1^{N_{rx}} L_r$ – суммарный путь соргоуборочного комбайна на N_{rx} рабочих ходах, м; $\sum_1^{N_1} L_1$ – суммарный путь соргоуборочного комбайна на N_1 поворотах, м.

Путь соргоуборочного комбайна на одном рабочем ходе определяется по формуле:

$$L_r = \frac{S_z}{C} - 2E, \quad (6)$$

где S_z – площадь загона, м², C – ширина загона, м; E – ширина поворотной полосы, м.

Путь соргоуборочного комбайна, пройденный на повороте, зависит от вида поворота.

В общем случае виды поворотов комбайна могут быть с поворотом на 90° и 180°, для каждого из которых L_1 различен (рисунок 1).

Рисунок 1 – Виды поворотов соргоуборочного комбайна:
а) на 90° с прямолинейным участком, б) на 180°

Figure 1 – Types of turns of the combine harvester:
a) at 90° with a straight section, b) at 180°

Поворот вида а) (рисунок 1) включает выезд комбайна на поворотную полосу шириной E , непосредственно поворот комбайна – переход из прямолинейного направления движения в криволинейное, например, по дуге радиуса R_a , движение на прямолинейном участке с дальнейшим заездом также по дуге радиуса R_a на следующий рядок убираемых растений.

Поворот вида б) (рисунок 1) включает выезд комбайна на поворотную полосу шириной E , непосредственно разворот комбайна по дуге радиуса R_a с заездом на следующий рядок убираемых растений сорго. В этом случае $L_x = 0$.

Путь соргоуборочного комбайна, пройденный на повороте, определится по формуле:

$$L_l = L_k + L_x, \quad (7)$$

где L_k – путь соргоуборочного комбайна, пройденный на криволинейном участке поворота, м;
 L_x – путь, пройденный соргоуборочным комбайном на прямолинейном участке поворота, м.

Путь соргоуборочного комбайна, пройденный на криволинейных участках поворотах видов а) и б) (рисунок 1), определяется соответственно по известным формулам:

$$L_k = (1,6R_a + le), \quad (8)$$

$$L_k = (6R_a + 2le), \quad (9)$$

где le – длина выезда комбайна на поворотную полосу, м

Зная коэффициент рабочих ходов φ , можно определить эксплуатационную производительность соргоуборочного комбайна, не связывая ее определение со множеством разнообразных факторов, а определяли ее в функции от технических возможностей комбайна, кинематики его движения и размеров убираемого загона [9].

Результаты и обсуждение. При уборке веничного сорго можно использовать несколько способов движения соргоуборочного комбайна на загоне (рисунки 2-5): № 1 – гоновый беспетлевой с расширением прокоса; № 2 – гоновый беспетлевой комбинированный; № 3 – гоновый беспетлевой от периферии загона к его центру; № 4 – гоновый беспетлевой перекрытием с расширением прокоса.

Выбор способов движения веничного сорго соргоуборочным комбайном обоснован его конструкцией – жатка комбайна расположена с правой стороны энергетического средства (трактора, самоходного шасси), а выгрузка зерна из бункера комбайна осуществляется с левой стороны. В связи с этим комбайн должен двигаться при уборке по предварительно выполненному прокосу, чтобы обеспечить скашивание растений и выгрузку зерна из бункера комбайна в транспортное средство.

При сравнении указанных способов движения соргоуборочного комбайна необходимо выполнить на убираемом поле следующие операции:

- разбить поле на загоны шириной C ;
- между загонами сделать прокосы для проезда энергетического средства соргоуборочного комбайна и транспортного средства для сбора зерна, обмолоченного соргоуборочным комбайном;
- отбить поворотные полосы шириной E ;
- на загонах, которые предполагается убирать веничным способом движения №1, №2 и №4, выполнить прокосы шириной C_{pr} ;
- до начала уборки загонов убрать растения с поворотных полос и прокосов.

Так как соргоуборочный комбайн конструкции Волгоградского ГАУ может осуществлять обмолот сорго при высокой влажности листостебельной массы, то противопожарное опаживание можно не выполнять.

Рисунок 2 – Способ движения соргоуборочного комбайна на загоне №1

Figure 2 – Method of movement of the sorghum harvester on the paddock No.1

Рисунок 3 – Способ движения соргоуборочного комбайна на загоне №2

Figure 3 – Method of movement of the sorghum harvester on the paddock No.2

Рисунок 4 – Способ движения соргоуборочного комбайна на загоне №3

Figure 4 – Figure 2-Method of movement of the sorghum harvester on the paddock No.3

Рисунок 5 – Способ движения соргоуборочного комбайна на загоне №4

Figure 5 – Figure 2-Method of movement of the sorghum harvester on the paddock No.4

Из представленных рисунков (рисунки 2-5) следует, что количество поворотов соргоуборочного комбайна в конце гона при рассматриваемых способах движения связано с числом рабочих ходов.

В общем случае число рабочих ходов определяется по формуле:

$$n_r = \frac{C - C_{pr}}{B_r}, \quad (10)$$

где C – ширина загона, м; C_{pr} – ширина прокоса, м.

Суммарный путь, пройденный соргоуборочным комбайном на уборке одного загона при выполнении поворотов и прохождении прямолинейного участка на всех поворотах в конце гона, равен:

$$L_1 = L_k N_l + \sum_{i=1}^{N_{kr}} L_{x,i} + \sum_{j=1}^{N_l} L_{l,j}, \quad (11)$$

где L_k – путь, пройденный соргоуборочным комбайном на одном повороте, м; $L_{x,i}$ – путь, пройденный соргоуборочным комбайном на прямолинейном участке i -го круга, м; $i = 1 \dots N_{kr}$ – количество кругов, выполненных соргоуборочным комбайном при уборке загона, шт.; $L_{l,j}$ – путь, пройденный соргоуборочным комбайном на повороте вида б) (рисунок 1), м; $j = 1 \dots N_l$ – количество поворотов вида б) (рисунок 1), выполненных соргоуборочным комбайном при уборке загона, шт.

Суммарный путь, пройденный соргоуборочным комбайном на прямолинейных участках с обеих сторон загона, равен:

$$L_x = 2L_x^{sr} \cdot N_{kr} \pm \Delta L_1, \quad (12)$$

где ΔL_1 – разница между суммарными холостыми пробегами комбайна с одной и другой сторон загона.

В общем случае средний холостой путь комбайна после поворотов на одной стороне загона можно определить следующим образом:

$$L_x^{sr} = (L_x^{max} + L_x^{min})/2, \quad (13)$$

где L_x^{max} и L_x^{min} – соответственно максимальный и минимальный пути, пройденные соргоуборочным комбайном на прямолинейном участке на одной стороне загона.

Количество полных кругов, выполненных соргоуборочным комбайном при уборке загона,

– при способе движения № 1:

$$N_{kr}^I = \frac{n_r}{2}; \quad (14)$$

– при способе движения №2:

$$N_{kr}^{II} = \frac{C/3 - C_{pr}}{2B_p} + \left(\frac{C}{6B_r} - 1 \right) + \frac{C}{6B_r} = \left(\frac{C - C_{pr}}{2B_r} - 1 \right); \quad (15)$$

– при способе движения №3:

$$N_{kr}^{III} = \left(\frac{C}{2B_r} - 1 \right); \quad (16)$$

– при способе движения №4:

$$N_{kr}^{IV} = \frac{n_r}{2}. \quad (17)$$

При сравнении способов движения соргоуборочного комбайна следует принять допущение об идентичности условий уборки сельскохозяйственных культур, в частности количество убираемых рядков веничного сорго на загоне должно быть равным для всех рассматриваемых вариантов способов движения. Поэтому при способе движения № 3 ширину загона следует уменьшить на величину ширины прокоса, выполняемого при способах движения № 1, № 2 и № 4.

Суммарный путь, пройденный соргоуборочным комбайном на прямолинейных участках с обеих сторон загона, определится по зависимостям:

– при способе движения № 1:

$$L_x^I = (C - 2B_r + C_{pr}) \left(\frac{C - C_{pr}}{2B_r} \right) - (C - 2B_r); \quad (18)$$

– при способе движения №2:

$$L_x^{II} = (C - 6B_r + C_{pr}) \left(\frac{C - C_{pr}}{2B_r} - 1 \right) - \left(\frac{C}{6} - B_r \right); \quad (19)$$

– при способе движения №3:

$$L_x^{III} = (C - 4B_r) \left(\frac{C}{2B_r} - 1 \right) + (C - 2B_r); \quad (20)$$

– при способе движения №4:

$$L_x^{IV} = (C - 2B_r + C_{pr}) \left(\frac{C - C_{pr}}{2B_r} \right) - \left(\frac{C}{2} - B_r + \frac{C_{pr}}{2} \right). \quad (21)$$

Путь, пройденный соргоуборочным комбайном на криволинейных участках поворотов, рассчитывается по зависимостям:

– при способе движения №1:

$$L_k^I = 2(1,6R_a + le) \cdot \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} - 1 \right); \quad (22)$$

– при способе движения №2:

$$L_k^{II} = (1,6R_r + le) \cdot \left[\left(2 \frac{C/3 - C_{pr}}{B_r} \right) + \left(\frac{C}{3B_r} - 10 \right) \right] + 3(6R_a + 2le); \quad (23)$$

– при способе движения №3:

$$L_k^{III} = (1,6R_a + le) \cdot \left(2 \frac{C}{B_r} - 3 \right) + (6R_a + 2le); \quad (24)$$

– при способе движения №4:

$$L_k^{IV} = 2(1,6R_a + le) \cdot \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} - 1 \right). \quad (25)$$

С учетом зависимостей (18) - (25) формулу (5) представим в виде:

– для способа движения № 1:

$$\varphi_I = L_r \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} \right) / \left[L_r \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} \right) + 2(1,6R_a + le) \cdot \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} - 1 \right) + (C - 2B_r + C_{pr}) \cdot \left(\frac{C - C_{pr}}{2B_r} \right) - (C - 2B_r) \right]; \quad (26)$$

– для способа движения № 2:

$$\begin{aligned} \varphi_{II} = L_r \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} \right) / \{ & L_r \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} \right) + (1,6R_a + le) \cdot \left[\left(2 \frac{C/3 - C_{pr}}{B_r} \right) + \right. \\ & \left. + \left(\frac{C}{3B_r} - 10 \right) \right] + 3(6R_a + 2le) + \\ & \left. + (C - 6B_r + C_{pr}) \cdot \left(\frac{C - C_{pr}}{2B_r} - 1 \right) - \left(\frac{C}{6} - B_r \right) \right\}; \quad (27) \end{aligned}$$

– для способа движения № 3:

$$\begin{aligned} \varphi_{III} = L_r \frac{C}{B_r} / [& L_r \frac{C}{B_r} + (1,6R_a + le) \cdot \left(2 \frac{C}{B_r} - 3 \right) + \\ & + (6R_a + 2le) + (C - 4B_r) \cdot \left(\frac{C}{2B_r} - 1 \right) + (C - 2B_r)]; \quad (28) \end{aligned}$$

– для способа движения №4:

$$\begin{aligned} \varphi_{IV} = L_r \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} \right) / \{ & L_r \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} \right) + 2(1,6R_a + le) \cdot \left(\frac{C - C_{pr}}{B_r} - 1 \right) + \\ & + (C - 2B_r + C_{pr}) \cdot \left(\frac{C - C_{pr}}{2B_r} \right) - \left(\frac{C}{2} - B_r + \frac{C_{pr}}{2} \right) \}. \quad (29) \end{aligned}$$

Допустим, что конструкция соргоуборочного комбайна будет изменена и позволит выполнять уборку веничного сорго челночным способом. Для данного способа движения комбайна число холостых поворотов равно:

$$Nx = \left(\frac{C}{B_r} - 1 \right). \quad (30)$$

Тогда путь, пройденный соргоуборочным комбайном на поворотах, равен:

$$L_k^V = (6R_a + 2le) \cdot \left(\frac{C}{B_r} - 1 \right), \quad (31)$$

и коэффициент рабочих ходов:

$$\varphi_V = L_r \frac{C}{B_r} / \left[L_r \frac{C}{B_r} + (6R_a + 2le) \cdot \left(\frac{C}{B_r} - 1 \right) \right]. \quad (32)$$

Выполнены расчеты коэффициентов рабочих ходов одномодульного соргоуборочного комбайна ($B_r = 0,7$ м) для пяти способов его движения при уборке веничного сорго на загоне площадью $S_z = 3,5$ га, близкой к производительности комбайна за смену ($T_{sm} = 7$ ч), при разных значениях ширины загона C и пути рабочего хода L_r . При расчетах принято, что во всех случаях радиус поворота $R_a = 2,0$ м, длина выезда $l_e = 0$, ширина поворотной полосы $E = 4$ м, а ширина прокоса при способах движения №1, №2 и №4 $C_{pr} = 2,8$ м, при №3 и №5 $C_{pr} = 0$.

Таблица – Значения коэффициента рабочих ходов соргоуборочного комбайна при различных способах движения на уборке веничного сорго

Table – Values of the coefficient of working strokes of the sorghum harvester with different methods of movement for harvesting broom sorghum

Показатели загона / Paddock indicators	Значение φ при гоновых беспетлевых способах движения / The value of φ for gon non-loop modes of movement				Значение φ при челночном способе движения / The value of φ in the shuttle mode of movement
	№1	№2	№3	№4	№5
$C = 37,8$ м, $L_r = 992$ м	0,973	0,979	0,977	0,973	0,988
$C = 75,6$ м, $L_r = 455$ м	0,912	0,920	0,917	0,911	0,975
$C = 147$ м, $L_r = 230$ м	0,742	0,754	0,749	0,741	0,951

Результаты расчетов показали, что коэффициенты рабочих ходов для применяемых на уборке веничного сорго гоновых беспетлевых способов движения отличаются не более чем на 2 %, но при этом максимальное значение коэффициента рабочих ходов, а следовательно, и эксплуатационную производительность имеет соргоуборочный комбайн при использовании гонового беспетлевого комбинированного способа движения. При увеличении длины гона коэффициент рабочих ходов растет.

Производительность соргоуборочного комбайна может быть увеличена на 5-25 % при использовании гонового челночного способа движения. Однако данный способ движения можно эффективно использовать после изменения конструкции соргоуборочного комбайна.

Выводы. Таким образом, из четырех применяемых на уборке веничного сорго гоновых беспетлевых способов движения соргоуборочного комбайна максимально производительным является гоновый беспетлевой комбинированный. Производительность соргоуборочного комбайна на уборке веничного сорго может быть существенно увеличена при усовершенствовании его конструкции, обеспечивающей применение гонового челночного способа движения.

Библиографический список

1. Елисеев А. Г., Костомахин М. Н. Анализ сельскохозяйственной техники. Зерноуборочные и кормоуборочные комбайны // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2013. № 9. С. 20-28.
2. Жалнин Э. В. Оптимизация машиноиспользования мощный резерв повышения эффективности сельскохозяйственного производства // Наука в Центральной России. 2013. № 1. С. 5-17.
3. Журавлев С. Ю. Влияние переменных внешних факторов на производительность машинно-тракторных агрегатов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 8. С. 207-211.
4. Охотников Б. Л. Маневренность МТА и размеры обрабатываемой площади // Аграрный вестник Урала. 2015. №1 (131). С. 60-65.
5. Повышение производительности соргоуборочного комбайна за счет применения усовершенствованного режущего аппарата жатки / А. И. Ряднов, О. А. Федорова, Р. В. Шарипов, В. А. Бариль // Известия НВ АУК. 2021. № 1(61). 441-452.
6. Повышение эффективности уборки зерновых культур / И. В. Коношин, Р. А. Булавинцев, А. В. Волженцев, М. Р. Михайлов, А. В. Звекон // Нива Поволжья. 2019. № 4 (53). С. 141-147.
7. Репетов А. Н., Главинский В. А. Анализ закономерностей производительности машинно-тракторных агрегатов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 5. С. 78-79.
8. Репетов А. Н., Главинский В. А. Анализ кинематических показателей машинно-тракторных агрегатов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 6. С. 80-81.
9. Репетов А. Н., Главинский В. А. Факторы, влияющие на производительность машинно-тракторного агрегата // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 79-80.
10. Ряднов А. И., Тронева С. В., Федорова О. А. Повышение производительности зерноуборочных комбайнов // Сельский механизатор. 2019. № 8. С. 2-3.
11. Ряднов А. И., Федорова О. А. Повышение производительности соргоуборочного комбайна // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1. С. 225.
12. Шабанов Н. И. Резервы повышения эффективности комбайновой уборки зерновых культур // Вестник аграрной науки Дона. 2014. Т. 4. № 28. С. 23-29.
13. Шепелев С. Д., Черкасов Ю. Б., Внуков Д. О. Эффективно использовать зерноуборочные комбайны // Сельский механизатор. 2018. № 10. С. 34-35.
14. Combine harvester productivity calculation model and analysis of suitable operation route / K. Zhang [et al.] // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2018. V. 34 (18). P. 37-43.
15. Optimization of agrotechnical terms of harvesting of crops, design and operating parameters of crop-harvesting machines under conditions of the Amur Region, Russian Federation / I. V. Bumber [et al.]. 2018. V. 18(2). P. 2567-2572.

Conclusions. Of the four loopless ways of movement of the sorghum harvester used for harvesting broom sorghum, the loopless combined one is the most productive. The productivity of the sorghum harvester can be significantly increased by improving its design, which makes it possible to use the gon shuttle method of movement for harvesting broom sorghum.

References

1. Eliseev A. G., Kostomahin M. N. Analiz sel'skokozyajstvennoj tehniki. Zernouborochnye i kormouborochnye kombajny // Sel'skokozyajstvennaya tehnika: obsluzhivanie i remont. 2013. № 9. P. 20-28.
2. Zhالنin Je. V. Optimizaciya mashinoispol'zovaniya moschnyj rezerv povy-sheniya jeffektivnosti sel'skokozyajstvennogo proizvodstva // Nauka v Central'noj Rossii. 2013. № 1. P. 5-17.

3. Zhuravlev S. Yu. Vliyanie peremennyyh vneshnih faktorov na proizvodi-tel'nost' mashinno-traktornyh agregatov // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstven-nogo agrarnogo universiteta. 2011. № 8. P. 207-211.
4. Ohotnikov B. L. Manevrennost' MTA i razmery obrabatyvaemoj ploschadi // Agrarnyj vestnik Urala. 2015. №1 (131). P. 60-65.
5. Povyshenie proizvoditel'nosti sorgouborochnogo kombajna za schet pri-meneniya usovershenstvovannogo rezhushchego apparata zhatki / A. I. Ryadnov, O. A. Fe-dorova, R. V. Sharipov, V. A. Baril' // Izvestiya NV AUK. 2021. № 1(61). P. 441-452.
6. Povyshenie jffektivnosti uborki zernovyh kul'tur / I. V. Konoshin, R. A. Bulavincev, A. V. Volzhencev, M. R. Mihajlov, A. V. Zvekov // Niva Povolzh'ya. 2019. № 4 (53). P. 141-147.
7. Repetov A. N., Glavinskij V. A. Analiz zakonornostej proizvoditel'-nosti mashinno-traktornyh agregatov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2013. № 5. P. 78-79.
8. Repetov A. N., Glavinskij V. A. Analiz kinematcheskih pokazatelej ma-shinno-traktornyh agregatov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyaj-stvennoj akademii. 2013. № 6. P. 80-81.
9. Repetov A. N., Glavinskij V. A. Faktory, vliyayuschie na proizvoditel'-nost' mashinno-traktornogo agregata // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'sko-hozyajstvennoj akademii. 2013. № 4. P. 79-80.
10. Ryadnov A. I., Tronev S. V., Fedorova O. A. Povyshenie proizvoditel'nosti zernouborochnyyh kombajnov // Sel'skij mehanizator. 2019. № 8. P. 2-3.
11. Ryadnov A. I., Fedorova O. A. Povyshenie proizvoditel'nosti sorgoubo-rochnogo kombajna // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 2-1. P. 225.
12. Shabanov N. I. Rezervy povysheniya jffektivnosti kombajnovoj uborki zernovyh kul'tur // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2014. T. 4. № 28. P. 23-29.
13. Shepelev S. D., Cherkasov Yu. B., Vnukov D. O. Jefferektivno ispol'zovat' zernouborochnye kombajny // Sel'skij mehanizator. 2018. № 10. P. 34-35.

Информация об авторах

Ряднов Алексей Иванович, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр-т. Университетский, д. 26.), Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, E-mail: alex.rjadnov@mail.ru.

Федорова Ольга Алексеевна, профессор кафедры «Технические системы в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр-т. Университетский, д. 26.), доктор технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2615-1101>, E-mail: foa_77@mail.ru;

Бариль Вадим Алексеевич – аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (400005, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр-т. им. Ленина, 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4781-2757>. E-mail: vbaril@yandex.ru.

Authors Information

Ryadnov Alexey Ivanovich, Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture", Volgograd state agrarian University (400002, southern Federal district, Volgograd region, Volgograd, 26 Universitetskiy Ave.), honored worker of the higher school of the Russian Federation, doctor of agricultural Sciences, Professor.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>. E-mail: alex.rjadnov@mail.ru.

Fedorova Olga Alekseevna, Professor of the Department of "Technical systems in agriculture", Volgograd state agrarian University (400002, southern Federal district, Volgograd region, Volgograd, 26 Universitetskiy Ave.), Doctor of Technical Sciences, associate Professor.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2615-1101>, E-mail: foa_77@mail.ru;

Baril Vadim Alekseevich, Graduate student of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture", Volgograd state agrarian University (400002, southern Federal district, Volgograd region, Volgograd, 26 Universitetskiy Ave.).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4781-2757>. E-mail: vbaril@yandex.ru.