
4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.354.2

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_79

EDN: ELGECS

Оптимизация параметров системы замены сменных бункеров соргоуборочного комбайна

**Алексей Иванович Ряднов^{1✉}, Сергей Викторович Тронеv²,
Ренат Вильевич Шарипов³, Дмитрий Сергеевич Павловский⁴**

^{1, 2, 3, 4} Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

¹ alex.rjadnov@mail.ru✉

Аннотация. Продолжительность уборки как зерновых, так и метелочных культур не должна превышать пяти дней, в этом случае потери зерна будут находиться на допустимом уровне. Сократить продолжительность уборки можно за счет исключения потерь времени на выгрузку зерна из бункера комбайна в транспортное средство (ТС). При замене сменного бункера (СБ) при движении комбайна по полю будет исключено не только время на выгрузку зерна, но и организационное время на ожидание ТС, транспортирующего зерно от комбайнов к местам переработки или хранения. Описана система автоматической замены заполненного зерном СБ пустым для разработанного соргоуборочного комбайна, в котором реализован инерционно-очесный способ обмолота метелочных культур на корню. Данная система позволяет при заполнении одного из СБ отключать подачу в него зерна, перенаправляя обмолачиваемую зерновую массу в компенсатор. Заполненный зерном СБ заменяется пустым и одновременно с этим спускается на поле для дальнейшей транспортировки роботизированным манипулятором на край поля для выгрузки зерна в ТС или перегружатель зерна. Оптимизированы параметры системы автоматической замены заполненного зерном СБ пустым сменным с использованием плана Рехтшафнера. По критерию оптимизации – степени заполнения СБ зерном на 95% – определены диапазоны оптимальных значений выбранных параметров системы: угол установки СБ по отношению к горизонту должен быть от 30° до 34°, объем зернопровода подающего блока – от 4,7 до 5,6 л, высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в СБ – от 130 до 150 мм. Для практического применения приняты следующие значения базовых параметров: угол установки СБ по отношению к горизонту – 30°, объем зернопровода от затвора компенсатора до входного отверстия бункера – 5 л и высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в СБ – 140 мм.

Ключевые слова: зерновое сорго, соргоуборочный комбайн, сменный бункер, степень заполнения, система замены бункеров, оптимальные конструктивные параметры

Для цитирования: Ряднов А.И., Тронеv С.В., Шарипов Р.В., Павловский Д.С. Оптимизация параметров системы замены сменных бункеров соргоуборочного комбайна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 2(81). С. 79–89. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_2_79–89.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Parametric optimization of the system for replacing exchangeable tankers of a sorghum harvester

Aleksey I. Ryadnov^{1✉}, Sergey V. Tronev², Renat V. Sharipov³, Dmitriy S. Pavlovsky⁴

^{1, 2, 3, 4} Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

¹ alex.rjadnov@mail.ru✉

Abstract. The duration of harvesting of both grain crops and headings should not exceed five days, in this case, grain losses will be at an acceptable level. It is possible to reduce the duration of harvesting by eliminating the loss of time for unloading grain from the combine tanker into the vehicle. At replacing one tanker for another, when the combine moves along the field, not only the time for unloading grain will be eliminated, but also the organizational time for waiting for vehicles transporting grain from combines to processing or storage sites. A system of automatic replacement of an exchangeable grain-filled tanker by an empty one in a proposed sorghum harvester, which implements an inertial-stripping method for threshing broom crops on the root, is

described. This system allows, when filling one of the exchangeable tanker, to turn off the grain supply to it, redirecting the threshed grain mass to the compensator. The grain-filled tanker is replaced by an empty one and at the same time descends to the field for further transportation by a robotic manipulator to the edge of the field for unloading grain into a vehicle or grain reloader. The parameters of the system for automatic replacement of a grain-filled exchangeable tanker with an empty one using the Rechtshafner plan have been optimized. According to the optimization criterion, i.e. the degree of filling of the exchangeable tanker with grain by 95%, the ranges of optimal values of the selected system parameters are determined: the angle of installation of the exchangeable tanker with respect to the horizon should be from 30 to 34°, the volume of the grain pipeline of the feeding unit – from 4.7 to 5.6 liters, the installation height of the end sensor of the grain supply flap in the exchangeable tanker – from 130 up to 150 mm. For practical application, the following values of basic parameters are accepted: the angle of installation of the exchangeable tanker with respect to the horizon is 30°, the volume of the grain pipeline from the compensator gate to the tanker inlet is 5 liters and the installation height of the end sensor of the grain supply overlap flap in the exchangeable tanker is 140 mm.

Keywords: grain sorghum, sorghum harvester, exchangeable tanker, degree of filling, tanker replacement system, optimal design parameters

For citation: Ryadnov A.I., Tronev S.V., Sharipov R.V., Pavlovsky D.S. Parametric optimization of the system for replacing exchangeable tankers of a sorghum harvester. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(2):79-89. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_2_79-89.

Введение

Одним из важных этапов завершения сельскохозяйственного года является уборка урожая сельскохозяйственных культур. В настоящее время на уборке зерновых культур используется в основном технология сплошного среза растений, которая имеет существенные недостатки: самые высокие затраты труда и средств, существенные потери урожая, травмирование зерна, неблагоприятное воздействие на почву тяжелыми зерноуборочными комбайнами и транспортом для сбора зерна из бункеров комбайнов [8]. В связи с этим учеными и специалистами научных и учебных организаций и конструкторских бюро ведутся разработки новых технологий уборки зерновых культур [2, 10]. В частности, предложена технология уборки зерновых культур методом очеса растений на корню и машины для ее реализации [12, 15], при этом существенно растет производительность комбайна (в 1,5–2,0 раза) и снижается расход топлива (на 35–50%), однако дробление зерна, например озимой пшеницы, достигает 1,9% [1]. Эта технология позволяет существенно сократить сроки уборки, однако требуется ее дальнейшее совершенствование.

От выполнения агротехнических требований на технологические операции возделывания и уборки зерновых культур существенно зависит валовый сбор зерна. В частности, при уборке зерновых культур необходимо строгое соблюдение агротехнических сроков выполнения каждой предусмотренной технологической операции. Для большинства культур как зерновых, так и метелочных продолжительность уборки не должна превышать пяти календарных дней [6, 11, 14]. Только в этом случае потери зерна будут находиться на допустимом уровне, так как при нарушении агротехнических сроков уборки зерновых культур недобор урожая достигает 23–30% [9], а при уборке зерновых культур на семена снижается их качество [11, 16].

Сократить продолжительность уборки до оптимальных сроков можно за счет исключения потерь времени на выгрузку зерна из бункера комбайна в транспортное средство [5, 14, 17]. Это может быть достигнуто путем использования комбайна, который имеет возможность замены заполненного зерном бункера пустым сменным. При этом заполненный зерном бункер должен сбрасываться на поле или перегружаться в транспортное средство без остановки комбайна.

При замене заполненного зерном бункера пустым при движении комбайна по полю будет исключено не только время на выгрузку зерна из бункера, но и организаци-

онное время на ожидание транспортных средств, обеспечивающих транспортировку зерна от комбайнов к местам переработки или хранения. Только за счет исключения времени на выгрузку зерна из бункера, как показали наши исследования работы соргоуборочного комбайна методом сплошного хронометража, коэффициент использования времени смены увеличивается с 0,62 до 0,72, т. е. на 16%.

Постановка задачи и метод решения

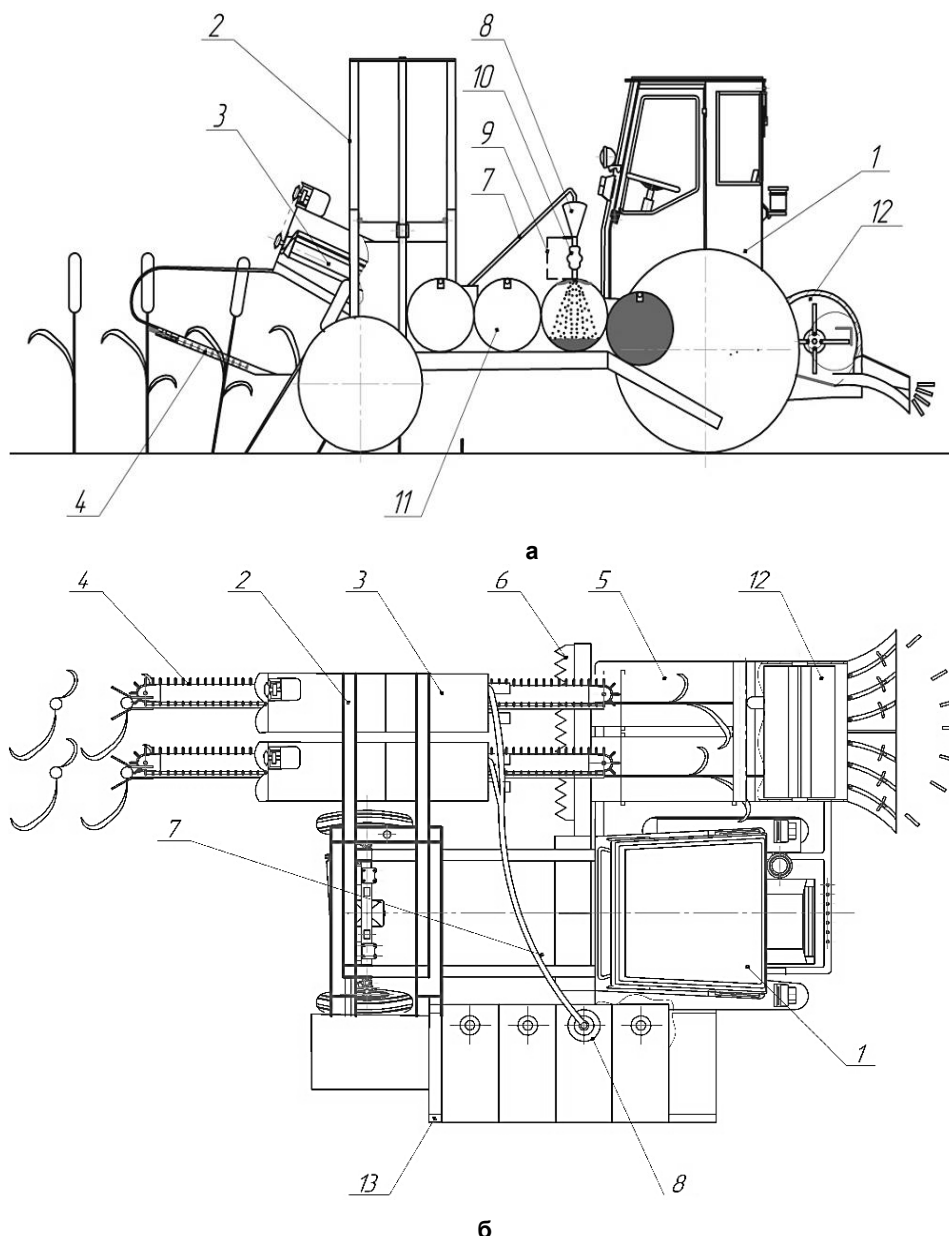
В Волгоградском ГАУ разработан экспериментальный навесной соргоуборочный комбайн с обмолотом метелочных культур на корню молотильно-сепарирующим устройством инерционно-очесного типа [15]. Данный соргоуборочный комбайн явился базовой моделью ряда других навесных и прицепных соргоуборочных комбайнов, в том числе двухмодульного комбайна, оборудованного системой замены заполненного зерном бункера на пустой сменный (патенты РФ 2754450, 2744619, 2496296 и др.).

Общий вид экспериментального соргоуборочного комбайна представлен на рисунке 1, а его схематичное изображение – на рисунке 2.



Рис. 1. Экспериментальный соргоуборочный комбайн

Экспериментальный соргоуборочный комбайн работает следующим образом. Перед началом уборки зернового сорго гидравлической навеской 2 (рис. 2) устанавливают прямоточную выносную молотильную камеру 3 на заданную высоту, которая соответствует высоте убираемой культуры. На опору 13 самоходного шасси 1 загружают сменные бункеры 11. Сменные бункеры могут быть в виде параллелепипеда, цилиндра, пирамиды или шара. В представленных исследованиях сменный бункер имел форму цилиндра. Опора 13 оборудована цепным транспортером, который приводится в движение от электродвигателя, управляемого системой автоматического перекрытия зерна, поступающего от молотильно-сепарирующего устройства прямоточной выносной молотильной камеры 3 в сменный бункер, захватами бункера, обеспечивающими их расположение в заданном положении, и устройством наклона бункеров. Кроме того, задняя часть опоры 13 выполнена с наклоном в сторону поверхности поля. Опору можно также регулировать по ее наклону к самоходному шасси от горизонтального положения до вертикального с интервалом 5°. Вертикальная установка опоры используется при движении комбайна по дорогам общего пользования.



**Рис. 2. Схема экспериментального соргоуборочного комбайна:
а – вид сбоку; б – вид сверху**

При движении комбайна по полю растения зернового сорго захватываются нормализатором 4, который подает их на инерционно-очесный обмолот в прямоточную выносную молотильную камеру 3. Обмолоченные растения срезаются жаткой 5 комбайна, подаются транспортером 6 к измельчителю 12 на измельчение и разбрасывание по полю.

Обмолоченное молотильно-сепарирующим устройством прямоточной выносной молотильной камеры 3 зерно вентиляционной системой подается по трубопроводу 7 через компенсирующую 8 и промежуточную 10 емкости в сменный бункер 11.

При заполнении до заданного объема сменного бункера 11, размещенного в данный момент времени под компенсирующей 8 и промежуточной 10 емкостями, срабатывает система 9 автоматического перекрытия подачи зерна в сменный бункер 11, схема которой представлена на рисунке 3.

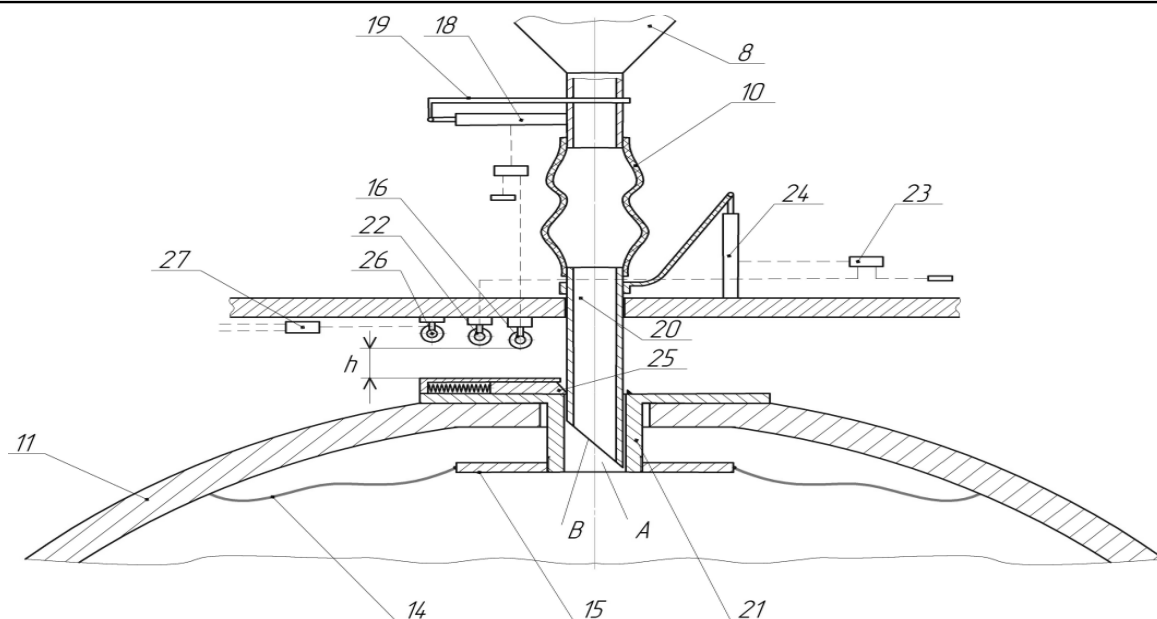


Рис. 3. Система автоматического перекрытия подачи зерна, поступающего от молотильно-сепарирующего устройства в сменный бункер

Система автоматического перекрытия подачи зерна в сменный бункер работает следующим образом. При заполнении зерном бункера 11 зерно воздействует на полотно 14 и соединенное с ним кольцо 15, которое по мере заполнения бункера зерном перемещается вверх вместе с втулкой 21. При касании верхней поверхности клапана 25, закрепленного сверху втулки 21, концевого датчика 16 срабатывает реле устройства 18 перемещения затвора 19. Затвор 19 перекрывает поступление зерна из компенсирующей емкости 8 в промежуточную емкость 10 и в сменный бункер 11. Зерно из промежуточной емкости 10 и трубки 20 высыпается в бункер 11.

Затем, после срабатывания концевого датчика 22 и реле 23, включается устройство 24 подъема трубки 20, которое перемещает трубку 20 в верхнее положение. Клапан 25 под действием пружины перекрывает проходное отверстие A во втулке 21 и закрывает бункер 11. Одновременно с этим срабатывают концевой датчик 26 и реле 27, которое подключает электродвигатель механизма замены бункеров. Заполненный зерном бункер спускается на поле по наклонной части опоры 13, а очередной сменный бункер с помощью захватов цепного механизма устанавливает его в необходимое положение и подается на заполнение зерном.

Движение сменных бункеров осуществляется до подачи сигнала от концевого датчика 26 на остановку движения цепного транспортера. Одновременно с этим срабатывает концевой датчик 22, связанный электрической цепью с реле 23, которое включает устройство 24 подъема трубки. Трубка 20 опускается, клапан 25 обеспечивает опускание трубки 20 в сменный бункер. При этом срабатывает реле 16, и устройство 18 перемещает затвор 19, открывая проход зерна из компенсирующей емкости 8 и от прямой выносной молотильной камеры 3 в сменный бункер 11, установленный под заполнение зерном.

Заполненный зерном сменный бункер заменяется пустым и одновременно опускается на поле для дальнейшей транспортировки роботизированным манипулятором на край поля для выгрузки зерна в транспортное средство или перегружатель зерна.

При заполнении зерном всех сменных бункеров на комбайн устанавливается комплект других сменных бункеров.

Качественная работа экспериментального соргоуборочного комбайна при уборке сорго, в частности зернового, будет достигнута при оптимальных геометрических и кинематических параметрах всех систем и механизмов комбайна. В связи с этим цель настоящей работы – оптимизация основных конструктивных параметров системы замены зерновых бункеров.

При заполнении сменного бункера зерном важно не допускать пересыпания зерна из зернопровода (от затвора компенсатора до входного отверстия бункера) во время смены заполненного зерном бункера пустым сменным и потерь зерна при перекрытии клапаном входного отверстия бункера. Кроме того, необходимо максимально использовать объем бункера.

В связи с этим выбран критерий оптимизации системы замены зерновых бункеров – степень заполнения зерном объема сменного бункера, определяемая коэффициентом заполнения сменного бункера K_3 :

$$K_3 = 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{V_\phi}{V_T}\right)^2}, \quad (1)$$

где V_ϕ – фактический объем заполненного зерном сменного бункера, л;

V_T – теоретический объем сменного бункера, л.

Предварительные экспериментальные исследования позволили установить – бункер до момента перекрытия затвором подачи зерна из компенсирующей емкости в промежуточную емкость должен быть заполнен в среднем на 95%.

На экспериментальный соргоуборочный комбайн было установлено 4 сменных бункера. Объем каждого бункера равен 200 л.

Степень заполнения зерном сменного бункера определялась с использованием мерной емкости, объем которой равнялся 220 л. При этом мерная емкость размещалась на устройстве, позволяющем имитировать колебания сменного бункера за время его наполнения зерном при движении соргоуборочного комбайна по полю. Точность измерения степени заполнения зерном сменного бункера ± 1 л.

В результате полевых исследований экспериментального соргоуборочного комбайна, оборудованного системой замены бункера, заполненного зерном, на пустой сменный, на уборке зернового сорго сорта Премьер на опытном поле УМПЦ «Горная Поляна» Волгоградского ГАУ выявлено, что наибольшее влияние на степень заполнения сменного бункера зерном оказывают:

- угол установки сменного бункера по отношению к горизонту;
- объем зернопровода от затвора компенсатора до входного отверстия бункера;
- высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный бункер.

Исследуемый диапазон изменения угла установки сменного бункера по отношению к горизонту выбираем из следующих положений. Известно, что при работе машинно-тракторных агрегатов на уклонах поверхности поля $5-7^\circ$ наблюдается снижение его рабочей скорости, а также ухудшаются условия труда механизатора [3]. В данной работе отмечается также, что в ЦЧР РФ имеются поля с особо опасными уклонами (10° и более). В связи с этим для обеспечения горизонтального расположения сменного бункера при движении комбайна поперек уклона поля минимальный угол установки сменного бункера должен быть 10° . С целью исключения возможного опрокидывания комбайна с полностью заполненным зерном сменным бункером при движении комбайна поперек уклона поля с особо опасным уклоном при расположении сменных бункеров ниже по склону, чем шасси комбайна, максимальный угол установки сменного бункера, как показали расчеты, должен быть не более 40° .

Минимальное значение второго выбранного для оптимизации конструктивного параметра – объема зернопровода подающего блока (объема зернопровода от затвора компенсатора до входного отверстия бункера) – определяется размерами трубки 20 (рис. 3), диаметр и длина которой рассчитываются с учетом ее конструктивных параметров, толщины клапана 25, высоты датчика 16 и кронштейна его крепления, а длина – еще и минимально возможным перемещением ее с целью выхода из сменного бункера. Расчеты показали, что минимальное значение второго оптимизируемого показателя равно 2,0 л, то есть этот объем составляет 1,0% объема сменного бункера.

Максимальное значение объема зернопровода от затвора компенсатора до входного отверстия бункера определено предварительными исследованиями и равно 8 л, что составляет 4,0% объема сменного бункера.

Высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный бункер определена следующим образом. Минимальное значение выбрано исходя из возможности заполнения бункера зерном на 92%, а максимальное – на 100%.

Для выбранных оптимизируемых параметров назначены уровни и интервалы их варьирования (табл. 1).

Таблица 1. Оптимизируемые параметры, их уровни и интервалы варьирования

Параметр	Уровни фактора			Интервал варьирования, ε
	0	-1	+1	
x_1 – угол установки сменного бункера, град.	25	10	40	15
x_2 – объем зернопровода подающего блока, л	5	2	8	3
x_3 – высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный бункер, мм	130	80	180	50

Настройка системы замены бункера, заполненного зерном, пустым сменным осуществлялась по принятой методике исследования, а оптимизация трех выбранных ее конструктивных параметров – по предельно насыщенному плану Рехтшафнера. По специальной программе для ЭВМ определены коэффициенты уравнения регрессии, значимость которых оценивалась по критерию Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

В результате расчетов получены уравнения регрессии в кодированном виде для изменения доли заполнения сменного бункера зерном в зависимости от исследуемых параметров:

$$K_3 = 0,947 + 0,019x_1 + 0,001x_2 + 0,003x_3 + 0,005x_1x_2 + 0,003x_1x_3 + 0,003x_2x_3 - 0,022x_1^2 - 0,026x_2^2 - 0,011x_3^2. \quad (2)$$

Полученная математическая модель (2) проверялась на адекватность с использованием критерия Фишера [13]:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2(y)}, \quad (3)$$

где $S^2(y) = \sum_1^N \sum_1^n (y_{iq} - \bar{y}_i)^2 / N(n - 1)$ – дисперсия ошибки опыта;

$S_{ад}^2 = n \sum_1^n (y_l - \bar{y}_i)^2 / (N - [k - 1])$ – дисперсия неадекватности модели;

y_l – случайная величина, рассчитанная по математической зависимости;

y_i – среднееарифметическое значение случайной величины;

y_{iq} – значение i -й величины в q -м опыте;

n – число повторностей опыта;

N – число строк матрицы плана;

k – число параметров.

При исследовании критерия оптимизации – доли заполнения сменного бункера зерном – определено, что $F = 1,033$, то есть $F_{0,05} > F$ (здесь $F_{0,05} = 2,599$ – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5% [13]).

Таким образом, полученная математическая модель адекватна экспериментальным результатам.

По программе, предложенной в работе [4], определены оптимальные значения исследуемых параметров (табл. 2).

Таблица 2. Оптимальные значения выбранных для оптимизации конструктивных параметров

Параметр	Оптимальные значения
x_1 – угол установки сменного бункера, град.	$\frac{0,45}{32}$
x_2 – объем зернопровода подающего блока, л	$\frac{0,07}{5,2}$
x_3 – высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный бункер, мм	$\frac{0,21}{141}$

Примечание: в числителе – в кодированном виде, в знаменателе – в раскодированном виде.

Для анализа и систематизации полученную математическую модель второго порядка привели к типовой канонической форме.

Расчетами на ЭВМ определены коэффициенты регрессии в канонической форме и значения критерия оптимизации в оптимальной точке Y_s .

Уравнения регрессии в канонической форме (2) имеет вид

$$K_3 - 0,952 = -0,021X_1^2 - 0,027X_2^2 - 0,011X_3^2. \quad (4)$$

В связи с тем, что в уравнении (4) все коэффициенты при квадратных членах отрицательны, то поверхности откликов, описанные уравнением (2), представляют трехмерные параболоиды с координатами центров поверхностей в оптимальных значениях параметров.

При анализе двумерного сечения поверхностей отклика по уравнению регрессии (2) относительно угла установки сменного бункера (x_1) и объема зернопровода подающего блока (x_2), параметр – высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный бункер – находился на уровне оптимального значения $x_3 = 0,21$.

Результаты расчетов представлены графически на рисунке 4.

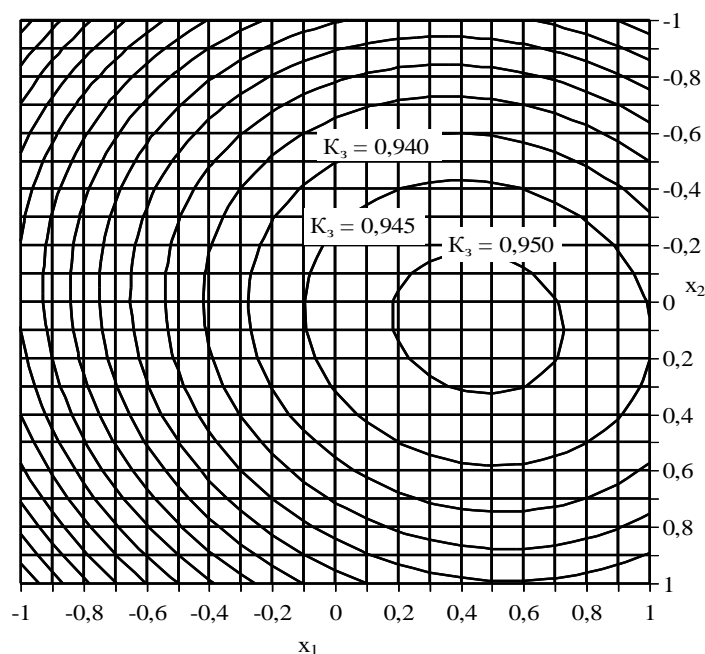


Рис. 4. Двумерное сечение при изучении влияния параметров x_1 и x_2 при $x_3 = 0,21$ на коэффициент заполнения зерном сменного бункера K_3

В соответствии с рисунком 4 можно рекомендовать следующие диапазоны оптимальных значений параметров: x_1 – от 0,3 до 0,6; и x_2 – от –0,1 до –0,2.

При анализе двумерного сечения поверхностей отклика по уравнению регрессии (2) относительно угла установки сменного бункера (x_1) и высоты установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный бункер (x_3), параметр – объем зернопровода подающего блока – фиксировался на уровне оптимального значения $x_2 = 0,07$.

Результаты расчетов представлены графически на рисунке 5.

В соответствии с рисунком 5 можно рекомендовать следующие диапазоны оптимальных значений параметров: $x_1 = 0,3-0,6$ и $x_3 = 0-0,4$.

При анализе двумерного сечения поверхностей отклика по уравнению регрессии (2) относительно объема зернопровода подающего блока (x_2) и высоты установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный бункер (x_3) параметр – угол установки сменного бункера – фиксировался на уровне оптимального значения $x_1 = 0,45$.

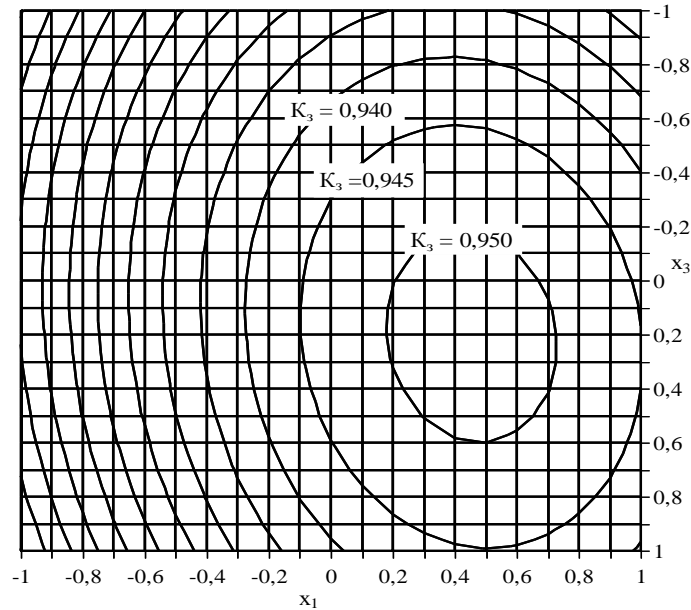


Рис. 5. Двумерное сечение при изучении влияния параметров x_1 и x_3 при $x_2 = 0,07$ на коэффициент заполнения зерном сменного бункера K_3

Результаты расчетов представлены графически на рисунке 6.

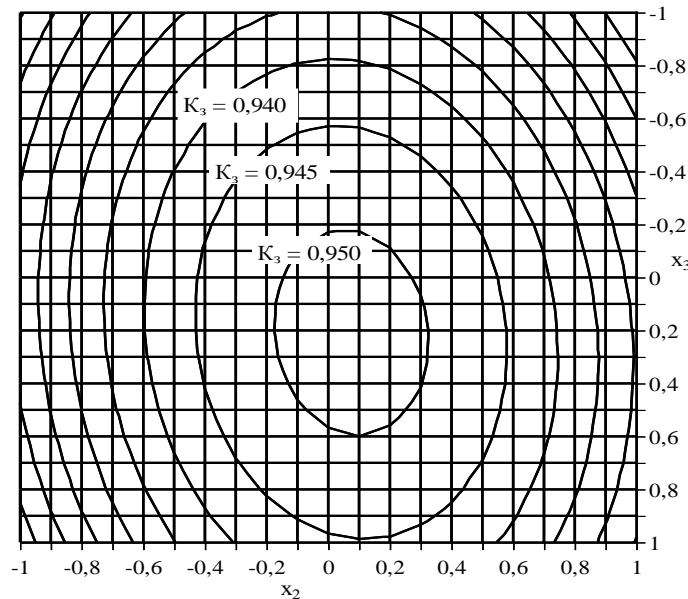


Рис. 6. Двумерное сечение при изучении влияния параметров x_2 и x_3 при $x_1 = 0,45$ на коэффициент заполнения зерном сменного бункера K_3

В соответствии с рисунком 6 можно рекомендовать следующие диапазоны оптимальных значений параметров: x_2 – от $-0,1$ до $-0,2$ и x_3 – от 0 до $-0,4$.

Анализ двумерных сечений, представленных на рисунках 4, 5 и 6, показал, что для выбранной степени заполнения зерном объема сменного бункера, равной 95% ($K_3 = 0,95$), могут быть рекомендованы следующие диапазоны оптимальных значений параметров:

x_1 – от $0,3$ до $0,6$ (30 – 34°), x_2 – от $-0,1$ до $-0,2$ ($4,7$ – $5,6$ л), x_3 – от 0 до $0,4$ (130 – 150 мм).

Для удобства при практическом применении оптимальных значений параметров системы автоматической замены заполненного зерном сменного бункера пустым в конструкции соргоуборочного комбайна принято, что угол установки сменного бункера по отношению к горизонту должен быть равным 30° , объем зернопровода от затвора компенсатора до входного отверстия бункера – 5 л и высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный бункер – 140 мм.

Таким образом, определены оптимальные значения параметров системы автоматической замены заполненного зерном сменного бункера пустым, обеспечивающие заполнение зерном сменных бункеров на 95%.

Заключение

Оптимизация конструктивных параметров системы замены сменных бункеров соргоуборочного комбайна осуществлялась по плану Рехтшафнера.

По критерию оптимизации – степени заполнения сменного бункера зерном на 95% – определены диапазоны оптимальных значений выбранных параметров конструкции системы замены сменных бункеров соргоуборочного комбайна:

- угол установки сменного бункера по отношению к горизонту – от 30 до 34°;
- объем зернопровода подающего блока – от 4,7 до 5,6 л;
- высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный блок – от 130 до 150 мм.

Для практического применения приняты следующие значения базовых параметров:

- угол установки сменного бункера по отношению к горизонту – 30°;
- объем зернопровода от затвора компенсатора до входного отверстия бункера – 5 л;
- высота установки концевого датчика заслонки перекрытия подачи зерна в сменный бункер – 140 мм.

Список источников

1. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Червяков И.В. и др. Разработка и совершенствование методов обоснования технологии комбайновой уборки зерновых колосовых культур очесом // Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 2(38). С. 59–72.
2. Виневский Е.И., Папуша С.К., Жадько В.В. Оценка конкурентоспособности отечественных и зарубежных зерноуборочных комбайнов // Сельский механизатор. 2022. № 1. С. 6–7.
3. Ворохобин А.В. Повышение устойчивости движения колесного трактора корректированием вертикальных нагрузок на колеса // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. № 4(67). С. 63–72. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.4.63.
4. Дегтярев Ю.П., Филатов А.И. Регрессионный анализ на ПЭВМ // Повышение надежности и эффективности использования сельскохозяйственной техники: труды Волгоградского СХИ. Волгоград: ВолСХИ. 1992. С. 128–131.
5. Ломакин С.Г., Бердышев В.Е. Условия уборки зерна в Российской Федерации и обеспеченность сельскохозяйственных предприятий зерноуборочными комбайнами // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2016. № 4(74). С. 11–15.
6. Маслов Г.Г. Оптимизация продолжительности уборки озимой пшеницы многофункциональным агрегатом // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 6. С. 48–51.
7. Маслов Г.Г., Палапин А.В., Ринас Н.А. Оптимизация продолжительности уборки зерновых культур и основных параметров многофункционального агрегата // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2014. № 2. С. 3–8.
8. Маслов Г.Г., Папуша С.К., Юдина Е.М. и др. Принципы совершенствования технологии уборки зерновых колосовых культур методом очёса // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 3(95). С. 145–150. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-95-3-145-150.
9. Маслов Г.Г., Ткаченко В.Т. Проблемы повышения качества механизированных работ // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 107. С. 318–332.
10. Маслов Г.Г., Юдина Е.М., Палагута А.А. и др. Инновационно-технологические предпосылки повышения конкурентоспособности зерна // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 249–264.
11. Орбинский В.И., Гиевский А.М., Чернышов А.В. и др. Исследование качественных показателей семян озимой пшеницы при комбайновой уборке и послеуборочной обработке // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2020. № 21(184). С. 84–97.
12. Ридный С.Д., Фусточенко А.Ю. К вопросу об уборке зерновых методом очёсывания на корню // Известия Горского государственного аграрного университета. 2012. № 1-2. С. 244–245.
13. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента: справочное руководство. Москва: Наука, 1971. 192 с.
14. Ряднов А.И., Федорова О.А., Поддубный О.И. Потери зерна от увеличения сроков уборки зерновых культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2(58). С. 375–384. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-37.
15. Ряднов А.И., Шарипов Р.В. Совершенствование конструкции соргоуборочного комбайна // Сельский механизатор. 2019. № 7. С. 10–11.
16. Тарасенко А.П., Орбинский В.И., Гиевский А.М. и др. Улучшение качества зернового вороха при уборке и послеуборочной обработке // Техника и оборудование для села. 2009. № 5. С. 23–26.
17. Шабанов Н.И. Резервы повышения эффективности комбайновой уборки зерновых культур // Вестник аграрной науки Дона. 2014. Т. 4, № 28. С. 23–29.

Reference

1. Burianov M.A., Buryanov A.I., Chervyakov I.V. et al. Design and improvement of methods for substantiating the technology of combine harvesting of grain crops by tow. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2017;2(38):59-72. (In Russ.).
2. Vinevskij E.I., Papusha S.K., Zhad'ko V.V. Assessment of the competitiveness of domestic and foreign grain harvesters. *Selskiy Mechanizator*. 2022;1:6-7. (In Russ.).
3. Vorokhobin A.V. Improving the stability of a wheeled tractor motion by adjusting vertical loads on the wheels. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2020;4(67):63-72. DOI: 10.17238/issn2071-2243. 2020.4.63. (In Russ.).
4. Degtyarev Yu.P., Filatov A.I. Regression analysis on a PC: Proceedings of Volgograd Agricultural Institute. Volgograd: Volgograd Agricultural Institute Publishers; 1992:128-131. (In Russ.).
5. Lomakin S.G., Berdyshev V.E. Conditions of grain harvesting in the Russia and availability of combine harvesters in agricultural enterprises. *Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University Named After V.P. Goryachkin"*. 2016;4(74):11-15. (In Russ.).
6. Maslov G.G. Optimization of duration of winter wheat harvesting by means of a multifunctional unit. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2016;6:48-51. (In Russ.).
7. Maslov G.G., Palapin A.V., Rinas N.A. Optimization of the duration of harvesting grain crops and the main parameters of a multifunctional unit. *Bulletin of Sukhoi State Technical University of Gomel*. 2014;2:3-8. (In Russ.).
8. Maslov G.G., Papusha S.K., Yudina E.M. et al. Principles of improving the technology of harvesting cereal crops using the tow method. *Isvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022;3(95):14-150. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-95-3-145-150. (In Russ.).
9. Maslov G.G., Tkachenko V.T. Improving the quality of mechanized operations. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2015;107:318-332. (In Russ.).
10. Maslov G.G., Yudina E.M., Palaguta A.A. et al. Innovative and technological prerequisites for increasing the competitiveness of grain. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;132:-264. (In Russ.).
11. Orobinsky V.I., Gievsky A.M., Chernyshov A.V. et al. Research of qualitative indicators of winter wheat seeds during combine harvesting and postharvest processing. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2020;21(184):84-97. (In Russ.).
12. Ridny S.D., Fustochenko A.Yu. On the harvesting standing grain crops by combing method. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2012;1-2:244-245. (In Russ.).
13. Rumshinsky L.Z. Mathematical processing of experimental results: reference guide. Moscow: Nauka Publishers; 1971. 192 p. (In Russ.).
14. Ryadnov A.I., Fedorova O.A., Poddubny O.I. Grain losses from increase terms of harvesting grain crops. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2020;2(58):375-384. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-37. (In Russ.).
15. Ryadnov A.I., Sharipov R.V. Improving the design of sorghum harvester. *Selskiy Mechanizator*. 2019;7:10-11. (In Russ.).
16. Tarasenko A.P., Orobinsky V.I., Gievsky A.M. et al. Grain heap quality improvement during harvesting and postharvest processing. *Machinery and Equipment for Rural Areas*. 2009;5:23-26. (In Russ.).
17. Shabanov N.I. Reserves for increasing the efficiency of combine harvesting of grain crops. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2014;4.28:23-29. (In Russ.).

Информация об авторах

А.И. Ряднов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», alex.rjadnov@mail.ru.

С.В. Тронеv – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», stronev@mail.ru.

Р.В. Шарипов – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», renat_sharipov@mail.ru.

Д.С. Павловский – аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», dima.pavlovskiy.20@inbox.ru.

Information about the authors

A.I. Ryadnov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Honorary Figure of Russian Higher Education, Professor, the Dept. of Operation and Technical Service of Machines in Agriculture, Volgograd State Agrarian University, alex.rjadnov@mail.ru.

S.V. Tronev, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Professor, the Dept. of Operation and Technical Service of Machines in Agriculture, Volgograd State Agrarian University, stronev@mail.ru.

R.V. Sharipov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Operation and Technical Service of Machines in Agriculture, Volgograd State Agrarian University, renat_sharipov@mail.ru.

D.S. Pavlovskiy, Postgraduate Student, the Dept. of Operation and Technical Service of Machines in Agriculture, Volgograd State Agrarian University, dima.pavlovskiy.20@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 18.02.2024; одобрена после рецензирования 20.03.2024; принята к публикации 02.04.2024.

The article was submitted 18.02.2024; approved after reviewing 20.03.2024; accepted for publication 02.04.2024.

© Ряднов А.И., Тронеv С.В., Шарипов Р.В., Павловский Д.С., 2024