

Научная статья

УДК 631.552/.554:629.7

EDN NCFDOL

DOI: 10.22450/19996837_2023_2_92

Способ уборки зерновых культур с применением беспилотных летательных аппаратов

Юрий Александрович Гуськов¹, Антон Федорович Курносов²

^{1,2} Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирская область, Новосибирск, Россия

¹ nsauii@ngs.ru, ² anton_kurnosov@mail.ru

Аннотация. Развитие технологий и средств уборки урожая зерновых культур способствует повышению уровня механизации работ, производительности труда, качеству обмолота и снижению сроков уборки, но все технологии и средства имеют специфические недостатки. Это связано с тем, что разработка технологий осуществляется без применения новшеств, принципиально отличающихся от традиционных средств. В статье проведен анализ современных способов и средств уборки зерновых культур различными методами, определены их основные недостатки. Установлено, что большинство существующих способов уборки не обеспечивают обмолот зерновых культур в условиях повышенной влажности почв; на участках полей с большим уклоном и сложным рельефом местности, а также оказывают значительное силовое воздействие на почву, приводящее к ее переуплотнению. Получено уравнение сменной производительности беспилотного летательного аппарата, а также условие эффективности его функционирования. Рассчитана сменная производительность этого аппарата при уборке зерновых культур с учетом его грузоподъемности, урожайности зерновых культур и расстояния транспортировки колосовой части растений к пункту обмолота. Установлено, что увеличение расстояния транспортировки колосовой части растений к пункту обмолота приводит к снижению сменной производительности беспилотного летательного аппарата; увеличение урожайности зерновых культур и грузоподъемности приводит к увеличению сменной производительности аппарата. С учетом полученных теоретических результатов исследований на основе стандартного беспилотного летательного аппарата разработана компоновочная схема агрегата для уборки зерновых культур.

Ключевые слова: уборка зерновых культур, повышенная влажность почв, уборочно-транспортная система, беспилотный летательный аппарат, производительность

Для цитирования: Гуськов Ю. А., Курносов А. Ф. Способ уборки зерновых культур с применением беспилотных летательных аппаратов // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 2. С. 92–101. doi: 10.22450/19996837_2023_2_92.

Original article

Method for harvesting grain crops using unmanned aerial vehicles

Yuriy A. Guskov¹, Anton F. Kurnosov²

^{1,2} Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russia

¹ nsauii@ngs.ru, ² anton_kurnosov@mail.ru

Abstract. The development of technologies and means of harvesting grain crops contributes to an increase in the level of mechanization of work, labor productivity, the quality of threshing and a reduction in harvesting time, but they all have specific drawbacks. This is due to the fact that the development of technologies is carried out without the use of innovations that are fundamentally different from traditional means. The article analyzes modern methods and means of harvesting grain crops by various methods, identifies their main shortcomings. It

has been established that most of the existing harvesting methods do not provide threshing of grain crops in conditions of high soil moisture; in areas of fields with a large slope and difficult terrain; and also have a significant force effect on the soil, leading to its overcompaction. An equation for the variable performance of an unmanned aerial vehicle is obtained, as well as a condition for the efficiency of its operation. The shift productivity of the vehicle was calculated when harvesting grain crops, taking into account its carrying capacity, the yield of grain crops and the distance of transportation of the spike part of plants to the threshing point. It has been established that an increase in the distance of transportation of the ears of plants to the threshing point leads to a decrease in the shift productivity of the unmanned aerial vehicle; an increase in crop yields and carrying capacity leads to an increase in the shift productivity of the vehicle. Taking into account the obtained theoretical results of the research, a layout diagram of a unit for harvesting grain crops was developed on the basis of a standard unmanned aerial vehicle.

Keywords: grain crop harvesting, increased soil moisture, harvesting and transport system, unmanned aerial vehicle, productivity

For citation: Guskov Yu. A., Kurnosov A. F. Sposob uborki zernovykh kul'tur s primeneniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Method for harvesting grain crops using unmanned aerial vehicles]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2023; 17; 2: 92–101 (in Russ.). doi: 10.22450/19996837_2023_2_92.

Введение. Агропромышленное производство в России достигло определенного развития, о чем свидетельствуют стабилизация уровня инвестиций в сельское хозяйство и рост конкуренции среди производителей сельхозпродукции. Длительное время сельское хозяйство не было бизнесом, привлекательным для инвесторов, в связи с длинным производственным циклом; подверженностью природным рискам и большим потерям урожая при выращивании, сборе и хранении; невозможностью автоматизации биологических процессов и отсутствием прогресса в повышении производительности и инноваций.

В современном АПК растет объем и качество применения современных технологий, в том числе цифровых, использующих данные со спутников, датчиков, из операционных и транзакционных систем [1]. Активно разрабатываются беспилотные трактора и роботизированные системы управления комбайнами [2].

Очевидно, что в этих условиях совершенствование процесса получения, например, товарного зерна требует разработки новых технических решений и способов уборки урожая, основанных на применении IT-технологий.

Цель работы состоит в обосновании компоновочной схемы и определении основных эксплуатационных параметров беспилотного летательного аппарата для уборки зерновых культур.

Методы исследований. В настоящее время интенсификация уборочного процесса достигается за счет повышения пропускной способности молотильного аппарата или за счет снижения удельной доли соломы в обмолачиваемой растительной массе, что приводит к усложнению конструкции и росту металлоемкости машин [3].

Чтобы реже останавливаться для разгрузки, комбайн имеет большой бункер, что увеличивает энергозатраты на перевозку зерна, а также габариты, вес и давление на почву. Современные машины значительно уплотняют почву, что в дальнейшем приводит к снижению ее плодородия [4, 5].

Часто уборочные машины имеют ограничения в использовании, например, после выпавших осадков растительная часть высыхает быстрее чем почва, комбайны простаивают, что влечет за собой увеличение сроков уборки, а значит, потери урожая. Для обеспечения уборки всего биологического урожая комбайн измельчает и разбрасывает по полю солому; при этом его производительность снижается, а вымолоченные семена сорняков равномерно рассеиваются по полю. Зерно находится только в колосе, но комбайн обмолачивает, деформирует все растение, расходуя неэффективно до 70 % энергии [6].

Для выгрузки зерна из бункера комбайна на поле заезжает транспортное средство, которое также переуплотняет почву,

кроме того, возникают взаимообусловленные простои, приводящие к дополнительным издержкам.

Таким образом, существующие способы уборки зерновых культур имеют много недостатков, устранение которых представляется возможным за счет разработки принципиально нового направления в механизации растениеводства, основанного на использовании беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [7, 8]. Однако диапазон современного применения данных средств в технологиях возделывания зерновых культур пока ограничен контролем и мониторингом состояния посевов и хода уборки урожая, а также внесения пестицидов и удобрений [9, 10].

Разрабатываемая уборочно-транспортная система (УТС) состоит из нескольких БПЛА, осуществляющих сбор зерновой части растений, стационарного пункта обмолота и пункта временного хранения зерна.

Эффективность уборочно-транспортной системы достигается при выполнении условия (1):

$$W_{\text{БПЛА}} \leq W_{\text{ПО}} + W_{\text{ПХ}} \quad (1)$$

где $W_{\text{БПЛА}}$ – суммарная производительность группы беспилотных летательных аппаратов, т/ч;

$W_{\text{ПО}}$ – производительность стационарного пункта обмолота, т/ч;

$W_{\text{ПХ}}$ – пропускная способность пункта хранения, т/ч.

Выражение (1) справедливо при условии, что пункт хранения будет использоваться кратковременно без его переполнения.

Производительность стационарных пунктов обмолота известна и приводится в технических характеристиках устройств. Суммарная производительность группы беспилотных летательных аппаратов за смену неизвестна и может быть определена по формуле (2):

$$W_{\text{СУМ}} = G_{\text{БПЛА}} m n \gamma \quad (2)$$

где $G_{\text{БПЛА}}$ – грузоподъемность БПЛА, кг;
 m – среднее число работающих БПЛА на поле за смену;

n – количество разгрузок одним БПЛА за смену;

γ – коэффициент использования грузоподъемности БПЛА.

Количество одновременно работающих БПЛА определяется, исходя из текущей необходимости для каждого поля. Максимальная эффективность функционирования УТС будет достигнута при минимальном количестве БПЛА и максимальном количестве разгрузок. Таким образом, теоретическую оценку УТС можно провести на примере одного БПЛА, а суммарную производительность определить по формуле (2).

Сменная производительность БПЛА определяется по формуле (3):

$$W_{\text{С}} = G_{\text{БПЛА}} n \gamma \quad (3)$$

Количество разгрузок одним БПЛА за смену можно определить формулой (4):

$$n = t_{\text{С}} / t_{\text{об}} \quad (4)$$

где $t_{\text{С}}$ – продолжительность смены, ч;
 $t_{\text{об}}$ – продолжительность одного оборота, ч.

Продолжительность одного оборота состоит из времени наполнения бункера ($t_{\text{Н}}$) и времени транспортировки колосовой части растений к месту обмолота ($t_{\text{Т}}$) с учетом коэффициента простоя ($k_{\text{П}}$):

$$t_{\text{об}} = (t_{\text{Н}} + t_{\text{Т}}) / k_{\text{П}} \quad (5)$$

Коэффициент простоя зависит от технического состояния БПЛА и организации уборочно-транспортных работ и принимается равным 0,90–0,95.

Время наполнения бункера можно определить, исходя из грузоподъемности БПЛА и его производительности:

$$t_{\text{Н}} = G_{\text{БПЛА}} / B_{\text{Р}} V_{\text{Р}} U \quad (6)$$

где $B_{\text{Р}}$ – рабочая ширина захвата режущего аппарата, м;

$V_{\text{Р}}$ – рабочая скорость движения при загрузке, м/с;

U – урожайность, кг/м².

Время транспортировки колосовой части растений к месту обмолота определяется по формуле (7):

$$t_T = 2S_T / V_T \quad (7)$$

где S_T – расстояние транспортировки, м;
 V_T – скорость транспортировки, м/с.

Решая совместно уравнения (3)–(7) относительно сменной производительности БПЛА, получаем выражение (8):

$$W_C = t_{cy} / (1/B_p V_p U k + 2S_T / k_{п} V_T G_{БПЛА}) \quad (8)$$

В соответствии с представленными расчетами нами разработана компоновочная схема беспилотного летательного аппарата, с помощью которого может быть реализован новый способ уборки зерновых культур.

Результаты исследований. Проведенное математическое моделирование процесса уборки зерновых культур с использованием беспилотных летательных аппаратов позволило установить сменную производительность БПЛА в зависимости от внешних и внутренних факторов. На

рисунке 1 представлены результаты расчетов сменной производительности БПЛА в зависимости от урожайности и среднего расстояния транспортировки колосовой части от места уборки до пункта обмолота.

Анализ графика показывает, что увеличение расстояния транспортировки отрицательно сказывается на сменной производительности, причем степень влияния увеличивается при повышении урожайности зерновых культур. Так, при урожайности 10 ц/га увеличение расстояния транспортировки от 100 до 600 м приводит к снижению сменной производительности с 13 до 8 ц/смену; когда при урожайности 40 ц/га и аналогичном увеличении расстояния транспортировки сменная производительность снижается с 39 до 14 ц/смену.

Это объясняется тем, что при уборке зерновых культур с высокой урожайностью время наполнения бункера минимально, а основную долю затрат времени составляет транспортировка зерновой части убираемой культуры.

Увеличение сменной производительности БПЛА происходит и при повышении его грузоподъемности (рис. 2).

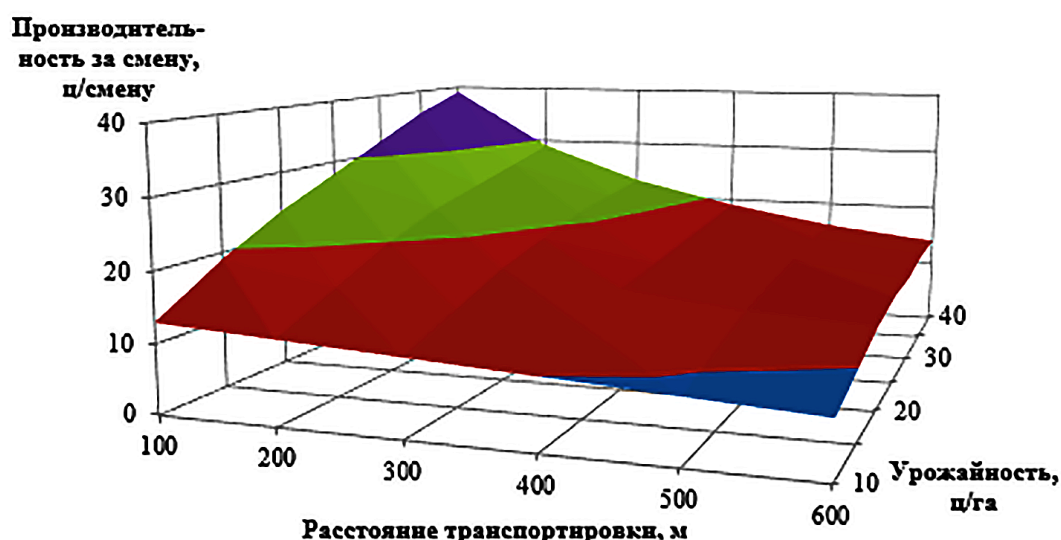


Рисунок 1 – Зависимость сменной производительности БПЛА грузоподъемностью 10 кг от урожайности и расстояния транспортировки
Figure 1 – Dependence of the replacement performance of the UAV with a load capacity of 10 kg on the yield and distance of transportation

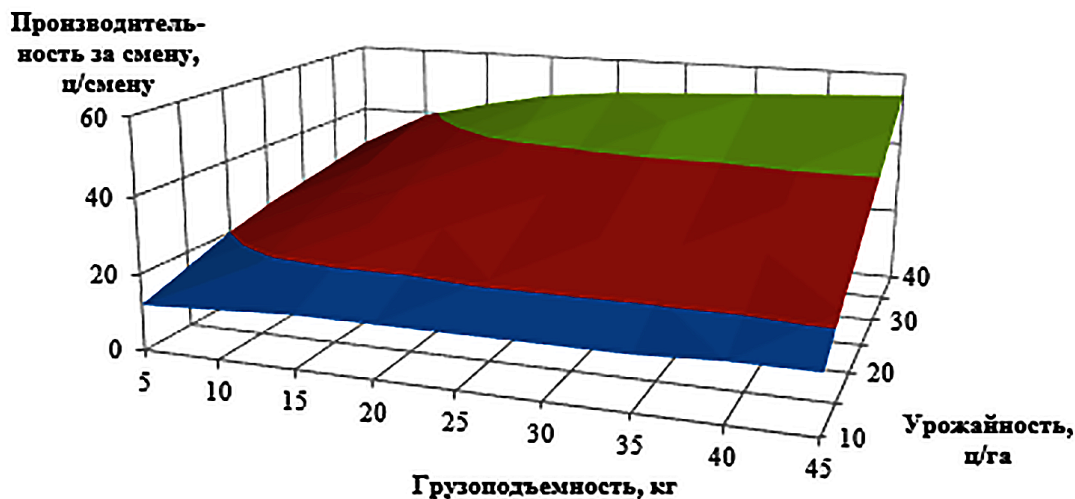


Рисунок 2 – Зависимость сменной производительности от грузоподъемности БПЛА и урожайности зерновых при расстоянии перевозки 100 м

Figure 2 – The dependence of shift productivity on the UAV load capacity and grain yield at a distance of transportation of 100 m

Так, при урожайности 10 ц/га увеличение грузоподъемности с 5 до 45 кг приводит к повышению сменной производительности только с 12 до 15 ц/смену; при урожайности 40 ц/га и аналогичном увеличении грузоподъемности, сменная производительность увеличивается с 29 до 54 ц/смену.

Предлагаемый беспилотный летательный аппарат для уборки зерновых культур планируется создать на основе стандартного беспилотного летательного аппарата 1 (рис. 3) [11], на который устанавливается накопитель 2 для сбора зерновой части растений; ее срез осуществляется режущим аппаратом 3, имеющим

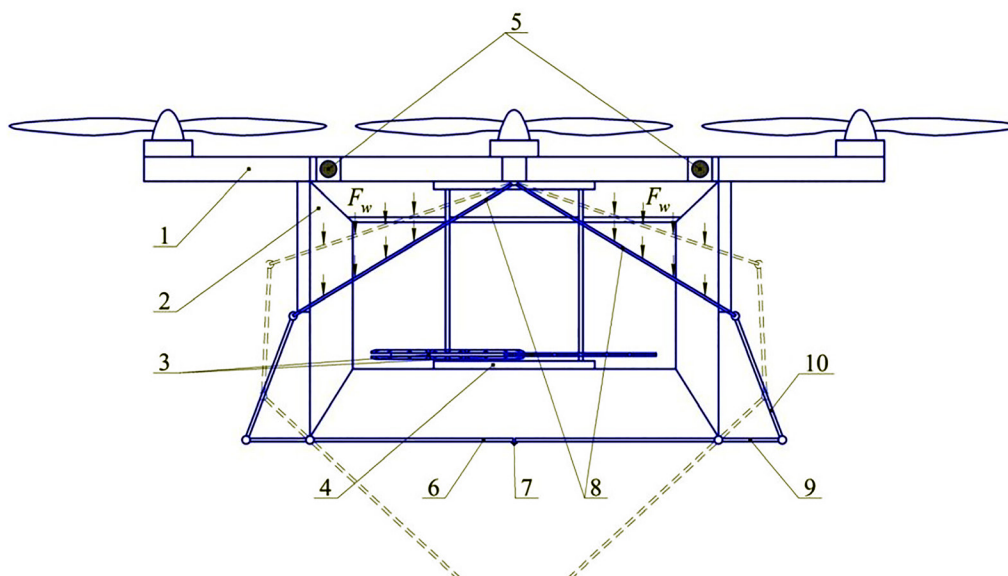


Рисунок 3 – Общий вид БПЛА для уборки зерновых культур
Figure 3 – General view of the UAV for harvesting grain crops

привод 4 от трансмиссии БПЛА. Позиционирование конструкции относительно расположения колосовой части зерновых культур происходит при помощи электронно-оптических датчиков 5, связанных непосредственно с бортовым компьютером аппарата (на рис. 3 не указан). Для разгрузки накопителя 2 предусмотрен люк, состоящий из двух створок 6, шарнирно прикрепленных к бункеру. Фиксация створок происходит при помощи магнитного замка 7, управляемого бортовым компьютером БПЛА.

Для предотвращения воздействия ветровой нагрузки от двигателей на срезаемую колосовую часть предусмотрены ветровые щиты 8, прикрепленные шарнирно к основанию БПЛА, с одной стороны, и через опоры 9, жестко прикрепленные к створкам 6 и рычаги 10, с другой стороны. Подача электрической энергии для заряда аккумуляторной батареи БПЛА происходит при помощи разъема.

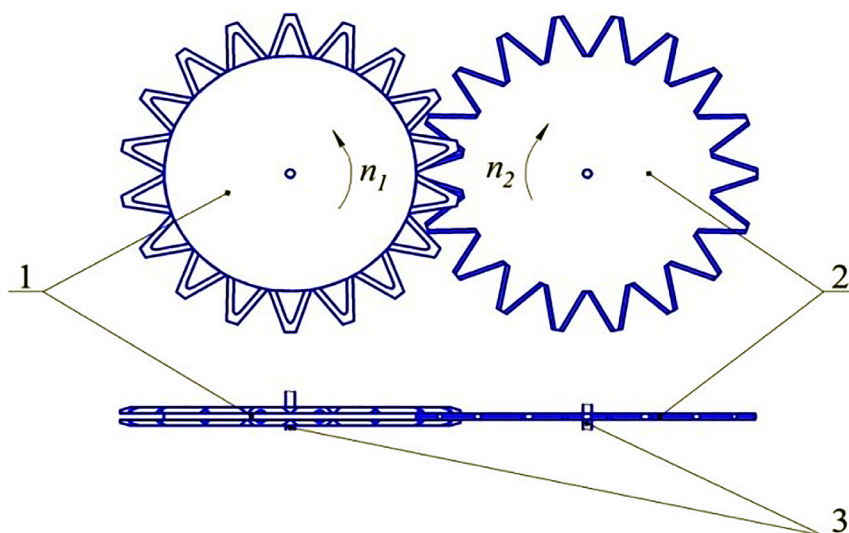
Режущий аппарат 3 состоит из двух зубчатых дисков – двойного 1 (рис. 4) и одинарного 2, расположенных на приводных валах 3 таким образом, что зубья одинарного диска полностью входят в канавку двойного. При этом вращение дисков происходит в противоположные стороны с одинаковой частотой ($n_1 = n_2$), тем самым обеспечивая гарантированный срез

колосовой части растений и ее подачу в бункер.

Технология уборки зерновых осуществляется следующим образом (рис. 5). Движущийся над поверхностью поля БПЛА 1 по заданной программе вдоль направления сева при помощи датчиков 5 и бортового компьютера определяет оптимальную длину колосовой части и, соответственно, высоту среза; позиционирует режущий аппарат 3 относительно каждого растения индивидуально; осуществляет срез колоса и складировает его в накопитель 2. После заполнения накопителя 2 колосовая часть растений по воздуху доставляется на пункт обмолота или пункт хранения.

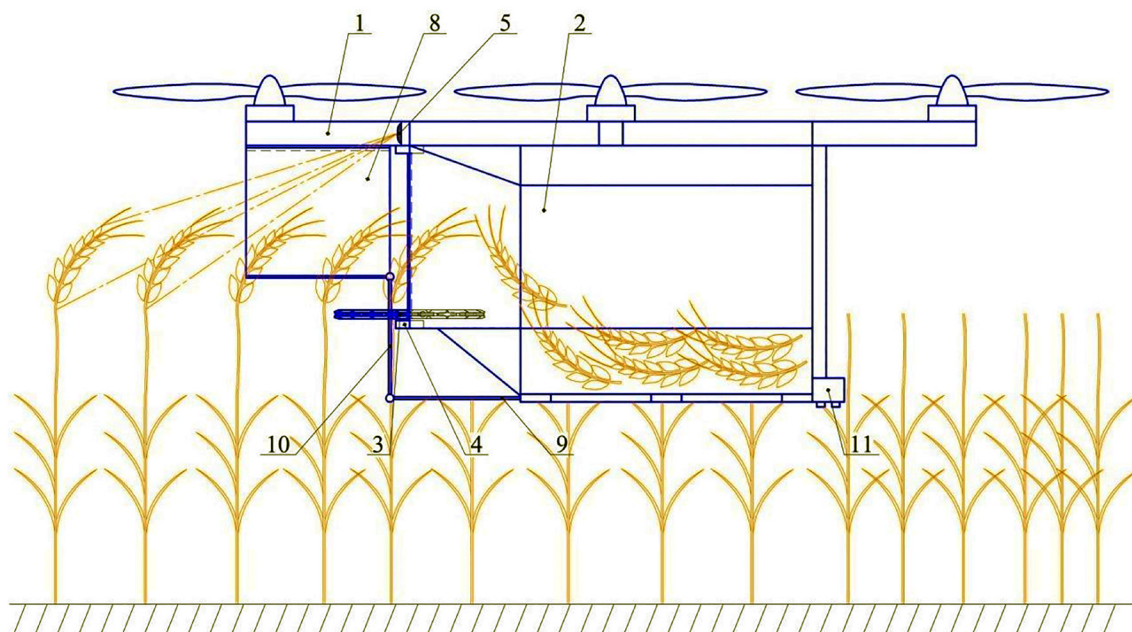
Разгрузка накопителя 2 осуществляется путем открытия магнитным замком 7 створок 6 выгрузного люка. При этом створки 6 через опоры 9 и рычаги 10 воздействуют на ветровые щиты 8, уменьшая угол их наклона. Закрытие створок 6 люка осуществляется под воздействием силы воздушного потока (F_w) двигателей БПЛА, возрастающей во время набора высоты и скорости при движении к месту сбора зерновой части культуры и действующей на ветровые щиты 8, опоры 9 и рычаги 10.

На пункте обмолота колосовая часть подвергается обработке и, при необходимости, сушке. В пункте хранения она складировается для дозревания зерна или



n_1 – частота вращения двойного диска; n_2 – частота вращения одинарного диска

Рисунок 4 – Общий вид режущего аппарата
Figure 4 – General view of the cutting machine



обозначения совпадают с рисунком 4

Рисунок 5 – Схема сбора БПЛА зерновых культур
Figure 5 – The scheme of collecting UAVs of grain crops

обеспечения равномерной загрузки пункта обмолота.

Скашивание незерновой части растений происходит следующим образом. Движущийся над поверхностью поля БПЛА 1 определяет индивидуально высоту среза каждого растения относительно поверхности поля при помощи датчиков 5 и бортового компьютера; позиционирует режущий аппарат относительно каждого растения и поверхности поля; производит скашивание. Срезанные растения поступают в накопитель или распределяются по полю, минуя накопитель. Во втором случае неколосовая часть растений может быть собрана известными средствами механизации на корм животным при благоприятных природно-климатических условиях.

При необходимости заряда аккумуляторных батарей, БПЛА 1 прибывает на специально подготовленную площадку станции заряда передвижного пункта управления и подключается через разъем 11 к электрической сети. Количество площадок станции заряда аккумуляторных батарей передвижного пункта управления определяется, исходя из количества БПЛА, находящихся в работе.

Управление комплексом БПЛА должно быть основано на использовании новейших информационно-автоматизированных комплексов [12, 13], позволяющих в автоматическом режиме определять основные параметры уборочно-транспортной системы.

Заключение. 1. Проведенный анализ современных способов и средств уборки зерновых культур показал, что их общим недостатком является отсутствие возможности обмолота зерновых культур в условиях повышенной влажности почвы, на участках полей с большим уклоном и сложным рельефом местности, а также значительное силовое воздействие на почву, приводящее к ее переуплотнению. Решить указанные недостатки представляется возможным за счет использования беспилотных летательных аппаратов.

2. Получено уравнение сменной производительности беспилотного летательного аппарата, на основе которого установлено, что при урожайности убираемой культуры 10 ц/га увеличение расстояния транспортировки от 100 до 600 м приводит к снижению сменной производительности с 13 до 8 ц/смену; при этом увеличение грузоподъемности аппарата с 5 до 45 кг приво-

дит к повышению сменной производительности на 25 %.

При урожайности 40 ц/га и увеличении расстояния транспортировки до 600 м сменная производительность снижается с 39 до 14 ц/смену, а увеличение грузоподъемности в рассматриваемом диапазоне повышает сменную производительность от 29 до 54 ц/смену.

3. Разработана компоновочная схема беспилотного летательного аппарата для уборки зерновых культур, снабженного

электронными средствами для определения оптимальной длины колосовой части, позиционирования режущего аппарата относительно каждого растения, среза колосовой части, складирования в накопитель и доставки к месту обмолота и хранения по воздуху. Неколосовую часть растения предложенный БПЛА скашивает также индивидуально, позиционируя режущий аппарат относительно поверхности поля и каждого растения для обеспечения заданной длины стерни.

Список источников

1. Семенов С. А., Васильев С. А., Максимов И. И. Особенности реализации и перспективы применения технологий цифрового земледелия в АПК // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 69–76.
2. Выголова Е. Р. Беспилотные трактора в сельском хозяйстве // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : материалы XI всерос. конф. Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет, 2018. С. 335–336.
3. Ломакин С. Г., Бердышев В. Е. Анализ технического уровня зерноуборочных комбайнов «Ростсельмаш» // Вестник Московского государственного агроинженерного университета. 2018. № 6. С. 34–42.
4. Русинов А. В., Слюсаренко В. В. Снижение воздействия движителей машинно-тракторных агрегатов на почву путем оптимального распределения веса по осям // Научная жизнь. 2015. № 6. С. 35–42.
5. Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Поликутина Е. С. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колесных мобильных энергетических средств : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. 148 с.
6. Бурьянов А. И., Дмитренко А. И., Бурьянов М. А. Оценка новых нетрадиционных технологий уборки зерновых колосовых культур // Техника и оборудование для села. 2010. № 10. С. 16–19.
7. Авдеев П. И. Использование беспилотных летательных аппаратов для сельского хозяйства // Современные тенденции развития науки и технологий : материалы XX междунар. науч.-практ. конф. Белгород : ИП Ткачева Е. П., 2016. С. 6–8.
8. Aravind K. R., Raja P., Pérez-Ruiz M. Task-based agricultural mobile robots in arable farming: a review // Spanish Journal of Agricultural Research. 2017. Vol. 15.
9. Смирнов И. Г., Марченко Л. А., Личман Г. И. Беспилотные летательные аппараты для внесения пестицидов и удобрений в системе точного земледелия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 3. С. 10–16.
10. Воронков И. В. Методика и аппаратно-программные средства для мониторинга состояния посевов на ранних стадиях вегетации // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 5. С. 33–37.
11. Патент № 2659243 Российская Федерация. Способ уборки зерновых культур : № 2017116294 : заявл. 10.05.2017 : опубл. 29.06.2018 / Курносов А. Ф., Гуськов Ю. А. Бюл. № 19. 9 с.

12. Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Хорошенков В. К. Оптимизация управления технологическими процессами в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. № 12 (3). С. 4–11.

13. Измайлов А. Ю., Хорошенков В. К., Колесникова В. А. Средства автоматизации для управления сельскохозяйственной техникой // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 3. С. 3–9.

References

1. Semenov S. A., Vasilev S. A., Maksimov I. I. Osobennosti realizatsii i perspektivy primeneniya tekhnologii tsifrovogo zemledeliya v APK [Features of the implementation and prospects for the use of digital farming technology in the agro-industrial complex]. *Vestnik Chuvashskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – Bulletin of the Chuvash State Agrarian University*, 2018; 1: 69–76 (in Russ.).

2. Vygolova E. R. Bepilotnye traktora v sel'skom khozyaistve [Unmanned tractors in agriculture]. Proceedings from Scientific support of the agro-industrial complex: *XI Vserossiyskaya konferenciya – XI All-Russian Conference*. (PP. 335–336), Krasnodar, Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2018 (in Russ.).

3. Lomakin S. G., Berdyshev V. E. Analiz tekhnicheskogo urovnya zernoborochnykh kombainov "Rostsel'mash" [Analysis of the technical level of Rostselmash combine harvesters]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta. – Bulletin of the Moscow State Agroengineering University*, 2018; 6: 34–42 (in Russ.).

4. Rusinov A. V., Slyusarenko V. V. Snizhenie vozdeistviya dvizhitelei mashinno-traktornykh agregatov na pochvu putem optimal'nogo raspredeleniya vesa po osyam [Reducing the impact of the propulsors of machine-tractor units on the soil by optimal weight distribution along the axes]. *Nauchnaya zhizn'. – Scientific Life*, 2015; 6: 35–42 (in Russ.).

5. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Polikutina E. S. Povyshenie prodol'no-poperechnoi ustoichivosti i snizhenie tekhnogennoogo vozdeistviya na pochvu kolesnykh mobil'nykh energeticheskikh sredstv: monografiya [Increasing the longitudinal-transverse stability and reducing the technogenic impact on the soil of wheeled mobile power vehicles: monograph], Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2020, 148 p. (in Russ.).

6. Buryanov A. I., Dmitrenko A. I., Buryanov M. A. Otsenka novykh netraditsionnykh tekhnologii uborki zernovykh kolosovykh kul'tur [Evaluation of new non-traditional technologies for harvesting grain crops]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – Machinery and Equipment for Rural Area*, 2010; 10: 16–19 (in Russ.).

7. Avdeev P. I. Ispol'zovanie bepilotnykh letatel'nykh apparatov dlya sel'skogo khozyaistva [Use of unmanned aerial vehicles for agriculture]. Proceedings from Modern trends in the development of science and technology: *XX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya – XX International Scientific and Practical Conference*. (PP. 6–8), Belgorod, IP Tkacheva E. P., 2016 (in Russ.).

8. Aravind K. R., Raja P., Pérez-Ruiz M. Task-based agricultural mobile robots in arable farming: a review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2017; 15.

9. Smirnov I. G., Marchenko L. A., Lichman G. I. Bepilotnye letatel'nye apparaty dlya vneseniya pestitsidov i udobrenii v sisteme tochnogo zemledeliya [Unmanned aerial vehicles for the application of pesticides and fertilizers in the precision farming system]. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii. – Agricultural Machinery and Technologies*, 2017; 3: 10–16 (in Russ.).

10. Voronkov I. V. Metodika i apparatno-programmnye sredstva dlya monitoringa sostoyaniya posevov na rannikh stadiyakh vegetatsii [Methodology and hardware and software for monitoring the condition of crops in the early stages of vegetation]. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii. – Agricultural Machinery and Technologies*, 2017; 5: 33–37 (in Russ.).

11. Kurnosov A. F., Guskov Yu. A. Sposob uborki zernovykh kul'tur [Method of grain crop harvesting]. *Patent RF, no 2659243 yandex.ru* 2020 Retrieved from https://yandex.ru/patents/doc/RU2659243C1_20180629 (Accessed 10 February 2023) (in Russ.).

12. Izmailov A. Yu., Lobachevskii Ya. P., Khoroshenkov V. K. Optimizatsiya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v rastenievodstve [Optimization of process control in crop production]. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii. – Agricultural Machinery and Technologies*, 2018; 12 (3): 4–11 (in Russ.).

13. Izmailov A. Yu., Khoroshenkov V. K., Kolesnikova V. A. Sredstva avtomatizatsii dlya upravleniya sel'skokhozyaistvennoi tekhniki [Automation tools for the control of agricultural machinery]. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii. – Agricultural Machinery and Technologies*, 2017; 3: 3–9 (in Russ.).

© Гуськов Ю. А., Курносов А. Ф., 2023

Статья поступила в редакцию 20.04.2023; одобрена после рецензирования 16.05.2023; принята к публикации 22.05.2023.

The article was submitted 20.04.2023; approved after reviewing 16.05.2023; accepted for publication 22.05.2023.

Информация об авторах

Гуськов Юрий Александрович, доктор технических наук, доцент, директор инженерного института Новосибирского государственного аграрного университета, nsauii@ngs.ru;

Курносов Антон Федорович, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, Новосибирский государственный аграрный университет, anton_kurnosov@mail.ru

Information about authors

Yuriy A. Guskov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Engineering Institute of Novosibirsk State Agrarian University, nsauii@ngs.ru;

Anton F. Kurnosov, Candidate of Technical Science, Associate Professor of the Department of Machine and Tractor Fleet Operation, Novosibirsk State Agrarian University, anton_kurnosov@mail.ru