

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИХ РЕАЛИЗАЦИИ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

**Анатолий Петрович Дьячков
Вячеслав Геннадиевич Козлов
Алексей Дмитриевич Бровченко
Николай Петрович Колесников
Яна Валерьевна Бунина**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Производство зерна представляет собой основу агропромышленного комплекса Российской Федерации и является наиболее крупной подотраслью сельского хозяйства, от развития которой в значительной степени зависит продовольственная безопасность страны. Самым проблемным этапом любой технологии производства зерна была и остаётся уборка, в связи с этим поиск путей совершенствования технологий уборки зерновых культур за счёт специализации функций транспортного процесса и оптимизации воздействий, оказываемых ходовыми системами прицепов-перегрузчиков на почву, является актуальным. В качестве объекта исследования выбраны технологические схемы уборки зерновых культур, различные типы зерноуборочных машин и прицепов-перегрузчиков. В ходе проведения исследований использовали методы оптимального проектирования, хронометражных наблюдений, математической статистики и др. На основе анализа основных технологических схем уборки зерновых культур разработана оптимальная технология доставки зерна на приёмные пункты. Представлен расчёт и обосновано выражение оптимальной грузоподъёмности прицепа-перегрузчика при уборке озимой пшеницы, выведенное на примере хозяйства Центрально-Чернозёмного региона и конкретных условий эксплуатации: ширина захвата комбайна – 6 м, средняя урожайность зерна – 55 ц/га. В качестве критерия взята удельная цикловая производительность. Оптимальная расчётная грузоподъёмность будет равна 32,8 т. При анализе оптимальной грузоподъёмности прицепа-перегрузителя видно, что его грузоподъёмность зависит от мощности и массы трактора, с которым он агрегируется, а также от производительности его выгрузного устройства, размеров поля, технических характеристик зерноуборочных комбайнов. Даны рекомендации по повышению производительности зерноуборочных комбайнов за счёт специализации функций транспортного процесса доставки зерна от комбайнов на приёмный пункт.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прицеп-перегрузчик, транспортный процесс, удельная цикловая производительность, уплотнение почвы, экономический эффект, оптимизация, грузоподъёмность.

MODERN TECHNOLOGIES FOR GRAIN CROPS HARVESTING AND OPTIMAL PARAMETERS OF TECHNICAL MEANS FOR THEIR IMPLEMENTATION

**Anatoly P. Dyachkov
Vyacheslav G. Kozlov
Alexey D. Brovchenko
Nikolay P. Kolesnikov
Yana V. Bunina**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Grain production is the basis of Agro-Industrial Complex of the Russian Federation and is the largest sub-sector of agriculture on the development of which food security of the country largely depends. The most troublesome stage of any grain production technology was and still remains harvesting, in this regard, the search for ways to improve the technologies of grain crop harvesting by specializing the functions of the transport process and optimizing the effects exerted by the undercarriage of reloading trailers on the soil is relevant. Technological schemes of grain harvesting, various types of grain harvesters and reloading trailers were selected as objects of research. In the course of research, design optimization methods, as well as methods of work measurement,

mathematical statistics, etc. were used. Based on the analysis of the main technological schemes of grain harvesting, an optimal technology for delivering grain to receiving stations have been developed. The authors present calculation procedure and substantiate the expression of the optimal load capacity of the reloading trailer when harvesting winter wheat derived in a specific context of the agricultural enterprise of the Central Chernozem Region and specific operating conditions: working width of the harvester is 6 m, the average grain yield is 55 c/ha. The specific cycle performance is taken as a criterion. The optimal design load capacity will be 32.8 tons. When analyzing the optimal load capacity of the reloading trailer, it can be seen that it depends on the power and weight of the tractor with which it is aggregated, as well as on the performance of its unloading device, the size of the field, and the technical characteristics of the combine harvesters. Recommendations are given to increase the productivity of combine harvesters due to the specialization of the functions of the transport process of grain delivery from the combine harvesters to the receiving station.

KEYWORDS: trailer reloader, transport process, specific cycle productivity, soil panning, economic effect, optimization, load capacity.

Производство зерна представляет собой основу агропромышленного комплекса Российской Федерации и является наиболее крупной подотраслью сельского хозяйства, от развития которой в значительной степени зависит продовольственная безопасность страны. Приоритетная роль производства зерна в обеспечении продовольственной безопасности также определяется технологической возможностью создания резервов и запасов зерна, предназначенных для гарантированного снабжения страны с учётом агроклиматических и географических особенностей регионов. Ключевыми показателями, характеризующими состояние зернового комплекса РФ, являются валовой сбор зерновых и зернобобовых культур на уровне 113,3 млн т, в том числе пшеницы – 72,1 млн т [11, 12].

Зерновые и зернобобовые культуры занимают 50–55% посевных площадей крупных хозяйств России в ЦЧР [3]. Что касается количественных показателей зернового производства, то средняя урожайность зерновых культур в нашей стране в 2,7 раза ниже, чем в передовых странах Европы и Америки [5]. Кроме того, производительность труда в российском АПК в 8–10 раз ниже, чем в высокоразвитых странах, и к 2030 г. ожидается сокращение численности сельского населения с 37 до 32,3 млн чел. Все эти факторы сдерживают развитие сельскохозяйственного производства в целом, в том числе и производство зерна.

Самым проблемным этапом любой технологии производства зерна была и остаётся уборка. После распада Советского Союза Россия осталась практически без заводо-производителей зерноуборочной техники. Для уборки зернобобовых, крупяных, масличных и других культур хозяйства России закупают современную отечественную и зарубежную технику немецких, голландских, американских и других производителей. Эти машины имеют различные параметры и производят уборку этих культур по разным технологиям, которые имеют как определённые преимущества, так и недостатки [1, 2, 10, 15–17].

Цель исследования состояла в совершенствовании технологии уборки зерновых культур за счёт специализации функций транспортного процесса и оптимизации воздействий ходовых систем прицепов-перегрузчиков на почву.

В качестве объекта исследования выбраны технологические схемы уборки зерновых культур, различные типы зерноуборочных машин и мобильных прицепов-перегрузчиков. В ходе проведения исследований использовали методы оптимального проектирования, хронометражных наблюдений, математической статистики и др.

Эффективность уборки зависит от способа уборки, выбора и подготовки техники, подготовки полей, организации уборочных работ и уровня профессиональной подготовки исполнителей. Поток убираемого зерна по схеме поле – ток – элеватор снижает транспортные расходы и простои техники. При этом фуражное зерно и кормовые отходы остаются в хозяйствах. Уборку проводят прямым комбайнированием или раздельным (двух- или трёхфазным) способом [14, 18]. Варианты новых технологий – «Невейка»

с обмолотом на стационаре, с обмолотом на краю поля (НИИМЭСХ) и ряд других – на практике не нашли широкого применения.

Современные технологии учитывают ресурсные возможности товаропроизводителей – уровень технической оснащённости, профессиональный потенциал и обеспеченность финансами. Три уровня технологий по степени их интенсивности позволяют по-разному освоить биологический потенциал сорта. Они включены в наиболее эффективные операционные технологии, пригодные для использования в местных условиях зернового производства.

После обмолота зерна комбайнами оно доставляется на приёмные пункты по одной из технологий, которые названы по количеству и виду погрузочно-разгрузочных операций: различают прямоточную (поточную), комбित्रейлерную и в последнее время – перегрузочную [14, 18]. Чтобы обеспечить поточное проведение уборочных операций (от первичной обработки почвы – подготовки полей до подготовки полей к уборке и уборке соломы), на убираемых площадях создают уборочно-транспортные комплексы (отряды), которые представляют собой функциональные производственные подразделения. От единичного использования комбайнов переходят к групповому методу труда, а от индивидуального закрепления транспортных средств за комбайнами – к обслуживанию группы комбайнов. Предусмотрены основные технологические звенья (уборочно-транспортное, для уборки соломы и для первичной обработки почвы), вспомогательные звенья (технического и бытового обслуживания).

При индивидуальном закреплении за комбайнами автомобилей последние более половины рабочего времени простаивают, ожидая, пока бункер наполнится зерном. При групповой работе комбайнов и обезличенной загрузке транспортных средств их производительность повышается до 80% [4, 14].

Внутрихозяйственные уборочно-транспортные комплексы создаются как функциональные специализированные подразделения за счёт технических и трудовых возможностей хозяйства. Межхозяйственные комплексы формируют на базе нескольких хозяйств или на базе районных производственных объединений [6, 9].

Количество комбайнов определяется исходя из агросрока, их производительности и объёма работ

$$n_k = \frac{F}{\omega_{см} \cdot T_{см} \cdot m_{см} \cdot Z_{тех} \cdot Z_{пу} \cdot D_p}, \quad (1)$$

где F – площадь полей, занятая под зерновыми, га;

$T_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$m_{см}$ – количество смен;

$\omega_{см}$ – сменная производительность, га/ч;

$Z_{тех}$, $Z_{пу}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно техническое состояние машины и погодные условия;

D_p – продолжительность оптимального агросрока, дней.

Сменная производительность определяется по выражению (2) или по фактической производительности, полученной в результате хронометража.

$$\omega_{см} = 0,36 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (2)$$

где B_p – рабочая ширина захвата комбайна, м;

V_p – рабочая скорость комбайна, м/с;

τ – коэффициент использования времени смены.

$$\tau = \frac{T_p}{T_{см}}, \quad (3)$$

где T_p – время чистой работы, ч.

Необходимое количество транспортных средств определяем исходя из производительности всех комбайнов уборочно-транспортного комплекса.

Производственный процесс уборки зерновых культур относится к непрерывно-пульсирующему или к прерывно-поточному в зависимости от способа доставки зерна от поля до приёмного пункта. Количество других машин в звеньях производственной линии определяют из выражения

$$\omega_{см}^к \cdot n_к = \omega_{см}^б \cdot n_п = \omega_{см}^{тр} \cdot n_{тр}, \quad (4)$$

где $\omega_{см}^к$, $\omega_{см}^б$, $\omega_{см}^{тр}$ – сменная производительность соответственно комбайна, мобильного прицепа-перегрузчика, транспортного средства общего назначения, т/ч;

$n_к$, $n_б$, $n_{тр}$ – количество соответственно комбайнов, прицепов-перегрузчиков и транспортных средств.

Тогда количество транспортных средств исходя из выражения (4)

$$n_{тр} = \frac{0,36 \cdot V_p \cdot V_p \cdot \tau \cdot U_k \cdot n_к \cdot t_{об}^{тр}}{Q_n \cdot \lambda_r \cdot \tau_a}, \quad (5)$$

где U_k – урожайность зерна, т/га;

$t_{об}^{тр}$ – время оборота (рейса) транспортного средства, ч;

Q_n – номинальная грузоподъёмность транспортного средства, т;

λ_r – степень использования грузоподъёмности;

τ_a – коэффициент использования времени смены транспортного средства.

Время рейса

$$t_{об}^{тр} = \frac{2L}{\vartheta_{ст}} + t_p + t_n + t_o, \quad (6)$$

где L – расстояние перевозки зерна на приёмный пункт, км;

$\vartheta_{ст}$ – среднетехническая скорость движения автомобиля, км/ч;

t_p – продолжительность разгрузки автомобиля, ч;

t_n – время загрузки автомобиля, ч;

t_o – время оформления документов, ч.

Также определяем количество других технических средств, если они есть в производственной линии.

В последнее время успешно развивается перегрузочная технология доставки зерна от комбайнов на ток или элеватор. Этот способ даёт возможность почти вдвое сократить потребность в автомобилях и водителях. Он основан на использовании разных промежуточных ёмкостей (компенсаторов). Зерно из бункера комбайна выгружают в прицеп-перегрузатель, а из него с помощью выгрузных шнеков – в транспортные средства. Использование прицепов-перегрузателей способствует повышению производительности комбайнов на 10–15% по сравнению с прямыми перевозками [1, 2].

Во всем мире транспортный процесс строят так, что транспорт общего назначения не заходит на поле, чтобы не уплотнять почву, не разрушать её структуру и не вызывать увеличение затрат энергии на её последующую обработку.

В современном крупном сельскохозяйственном производстве в технологиях уборочно-распределительного процесса наблюдается отход от одного из основных принципов построения производственных процессов – принципа непрерывности движения материала. При этом оказывается возможной и необходимой специализация функций транспортных средств: сбор материала выполняет технологический транспорт, а транспортирование – транспорт общего назначения большой грузоподъёмности.

Известны три вида такой технологии доставки зерна от комбайна на ток – когда используются мобильный прицеп-перегрузчик, стационарно-передвижной или стационарный бункеры-накопители. В качестве технологического транспорта в первом случае используется мобильный прицеп-перегрузчик, который агрегируется обычно с колёсным трактором большой мощности (более 200 кВт). Транспорт общего назначения ожидает своей загрузки на краю поля. Технологический транспорт загружается зерном непосредственно от комбайнов и транспортирует его на край поля к транспорту общего назначения.

Для сочленения технологического транспорта с транспортом общего назначения требуются специальные устройства для перегрузки зерна. В качестве таких устройств используют шнеки большой производительности (100–200 кг/с), их привод осуществляется от ВОМ трактора.

При работе с современными комбайнами мобильный бункер-перегрузчик разгружает комбайн на ходу. Тем самым он увеличивает производительность комбайна за счёт исключения его простоев. И пока комбайн набирает очередной бункер, мобильный бункер-перегрузчик доставляет зерно на край поля и выгружает его в транспортное средство большой грузоподъёмности. Этот способ доставки ликвидирует жёсткую связь между грузоподъёмностью транспортного средства и объёмом бункера комбайна, что повышает эффективность использования транспортного средства.

При использовании стационарно-передвижного бункера-накопителя его устанавливают на краю поля, а автомобили-самосвалы с предварительным подъёмом кузова собирают зерно от комбайнов и перегружают в бункер-накопитель. По мере заполнения бункера-накопителя к нему подъезжает транспорт общего назначения, который загружается с помощью высокопроизводительного шнекового механизма.

При укрупнении населённых пунктов возрастает расстояние между полями, являющимися местом производства зерна, и пунктами его хранения и переработки. В этом случае следует использовать стационарные бункеры-накопители. Это будут бункеры-накопители большого объёма, состоящие из нескольких бункеров, поднятых над землёй на высоту, достаточную для загрузки большегрузного транспорта. Зерно от комбайнов также будет собирать технологический транспорт и доставлять к стационарному бункеру. Разгружаться он будет в приёмную яму, из которой зерно с помощью нории далее поступает в бункеры, а уже затем самотёком в кузов большегрузного транспортного средства, перевозящего зерно на большие расстояния.

При перегрузочной технологии доставки зерна на приёмный пункт ликвидируется жёсткая связь как по грузоподъёмности, так и по времени между комбайнами и транспортом общего назначения.

В перспективе экономически будет невыгодно иметь очистные комплексы в малых населённых пунктах, вместо них достаточно будет иметь стационарный бункер-накопитель, который заменит ЗАВ и склад.

Специализация функций транспортного процесса позволяет уменьшить:

- затраты средств на сбор и отвоз материала;
- уплотнение почвы;
- грузооборот материала и машин;
- потребность в спецмашинах за счёт увеличения их производительности.

Большой эффект будет получен, если использовать машины с оптимальной грузоподъёмностью на сборе зерна (комбайны) и перемещении его от комбайнов на край поля (прицепы-перегрузчики).

Одним из путей совершенствования комбайнов является увеличение размеров бункера с целью сокращения времени технологического обслуживания, чтобы увеличить его производительность. Как показывают расчёты, увеличение вместимости бункера

от 3 до 12 м³ (в 4,0 раза) позволит повысить коэффициент технологического обслуживания и производительность комбайна за 1 час сменного времени примерно на 5%. В результате затрачивается большое количество энергии и средств при эксплуатации самоходного комбайна, поэтому ставится задача получения таких показателей операционной технологии уборки зерновых культур, при которых их удельная производительность была бы максимальной.

Методика определения оптимальной грузоподъёмности бункера зерноуборочного комбайна приведена в работах [6, 13, 18]. Оптимальная грузоподъёмность достигается при использовании комбайна с бункерами объёмом 6–8 м³ и специализации функций транспортного процесса отвоза зерна от комбайнов до приёмных пунктов, т. е. когда зерно от комбайнов собирают прицепами-перегрузчиками, транспортируют на край поля и перегружают в транспорт общего назначения, при этом разгрузку комбайнов производят на ходу с использованием ГНСС ГЛОНАСС или GPS.

В связи с этим ставится задача определения следующих параметров: какой должна быть грузоподъёмность прицепа-перегрузчика, чтобы он имел максимальную удельную производительность, а работа технологической линии уборки урожая соответствовала существующим агротребованиям.

На наш взгляд, наиболее подходящим критерием эффективности при обосновании технологической ёмкости прицепа-перегрузчика будет удельная производительность транспортного агрегата на единицу веса [7, 8].

Критерий эффективности по удельной цикловой (на единицу веса) производительности транспортного агрегата находится из выражения

$$K_3 = \frac{\partial \omega_{уд}}{\partial Q_{п}}, \quad (7)$$

где $\omega_{уд}$ – удельная цикловая на единицу веса производительность транспортного агрегата, кг/с/кН;

$Q_{п}$ – грузоподъёмность технологической ёмкости прицепа-перегрузчика, кг.

Удельная цикловая производительность прицепа-перегрузчика равна

$$\omega_{уд} = \frac{\omega_{ц}}{G_{эа}}, \quad (8)$$

где $\omega_{ц}$ – цикловая производительность прицепа-перегрузчика, кг/с;

$G_{эа}$ – эксплуатационный вес тракторного транспортного агрегата, кН.

Цикловая производительность прицепа-перегрузчика равна

$$\omega_{ц} = \frac{Q_{п}}{t_{ц}}, \quad (9)$$

где $t_{ц}$ – время цикла транспортного агрегата, с.

Среднее время цикла транспортного агрегата

$$t_{ц} = t_3 + t_{дг} + t_p + t_{дх}, \quad (10)$$

где t_3 , $t_{дг}$, t_p , $t_{дх}$ – время соответственно загрузки, движения с грузом, разгрузки и движения без груза, с.

Время загрузки транспортного средства

$$t_3 = t_b n_б + t_{пер} (n_б - 1), \quad (11)$$

где t_b – время выгрузки бункера зерноуборочного комбайна, с;

$t_{пер}$ – время переезда транспортного средства от одного комбайна к другому, с;

$n_б$ – количество бункеров, вмещающихся в транспортное средство.

Время выгрузки зерна из бункера комбайна

$$t_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{б}}}{\omega_{\text{б}}} = \frac{V_{\text{б}} \gamma_{\text{м}} \lambda_{\text{в}}}{\omega_{\text{б}}}, \quad (12)$$

где $Q_{\text{б}}$ – грузоподъёмность бункера комбайна, кг;

$\omega_{\text{б}}$ – производительность выгрузного устройства бункера комбайна, кг/с;

$\gamma_{\text{м}}$ – плотность зерна убираемой культуры, кг/м³;

$V_{\text{б}}$ – объём бункера комбайна, м³;

$\lambda_{\text{в}}$ – степень использования объёма бункера.

Количество бункеров комбайнов, вмещающихся в прицеп-перегрузчик

$$n_{\text{б}} = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{б}}}. \quad (13)$$

Время $t_{\text{пер}}$ зависит от способа движения комбайнов на поле, их количества и скорости движения транспортного средства по убранному полю.

Подставим выражения (12)–(13) в выражение (11) и проведём преобразования

$$t_{\text{з}} = C_1 Q_{\text{п}} - C_2, \quad (14)$$

где $C_1 = \frac{Q_{\text{б}} + t_{\text{пер}} \omega_{\text{б}}}{\omega_{\text{б}} Q_{\text{б}}};$

$C_2 = t_{\text{пер}}.$

Время движения прицепа-перегрузчика по полю с грузом

$$t_{\text{др}} = \frac{S}{V_{\text{др}}}, \quad (15)$$

где S – расстояние, на которое необходимо переместить груз после заполнения прицепа, м;

$V_{\text{др}}$ – средняя скорость движения транспортного средства по полю, м/с.

Среднюю скорость движения транспортного агрегата найдём из мощностного баланса. Так как уборка урожая производится в относительно благоприятное время года, то буксованием можно пренебречь. Тогда для установившегося движения

$$g_{\text{др}} = \frac{N_{\text{ен}} \cdot [\xi_{\text{N}}] \eta_{\text{мг}}}{R_{\text{а}} + G_{\text{тр}} (f + i)}, \quad (16)$$

где $N_{\text{ен}}$ – номинальная мощность, кВт;

$[\xi_{\text{N}}]$ – допустимый коэффициент загрузки двигателя;

$\eta_{\text{мг}}$ – КПД трансмиссии;

$R_{\text{а}}$ – тяговое сопротивление транспортного агрегата при движении на подъём, кН;

$G_{\text{тр}}$ – эксплуатационный вес трактора, кН;

f – коэффициент сопротивления перекатыванию;

i – уклон местности, доли единицы.

Тяговое сопротивление прицепа при движении на подъём

$$R_{\text{а}} = G_{\text{эп}} \cdot (f + i), \quad (17)$$

где $G_{\text{эп}}$ – эксплуатационный вес прицепа с грузом, кН.

Между массой и грузоподъёмностью прицепа существует прямолинейная связь

$$M_{\text{п}} = a + b Q_{\text{п}}, \quad (18)$$

где a и b – постоянные величины корреляционной зависимости.

Тогда эксплуатационный вес гружёного прицепа

$$G_{\text{эп}} = 10^{-3} g[a + (1 + b)Q_{\text{п}}] \quad (19)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Тяговое сопротивление транспортного средства при движении на подъём

$$R_a = 10^{-3} g(f + i)[a + (1 + b)Q_{\text{п}}] \quad (20)$$

Подставим в выражение (21) выражения (22)–(26) и преобразуем

$$t_{\text{дг}} = \frac{A + BQ_{\text{п}}}{B}, \quad (21)$$

где $A = S(f + i)(ag \cdot 10^{-3} + G_{\text{тр}})$;

$$B = Sg(f + i)(1 + b) \cdot 10^{-3};$$

$$V = N_{\text{ен}}[\xi_N] \eta_{\text{мг}}.$$

Время движения без груза зависит в основном от $V_{\text{дх}}$, которая определяется условиями работы.

Время разгрузки прицепа-перегрузчика зависит в основном от производительности выгрузного устройства

$$t_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{п}}}{\omega_{\text{п}}}, \quad (22)$$

где $\omega_{\text{п}}$ – производительность выгрузного устройства прицепа-перегрузчика, кг/с .

Тогда

$$t_{\text{ц}} = \frac{B_1 + A_1 Q_{\text{п}}}{B_1}, \quad (23)$$

где $A_1 = V_{\text{дх}}(B\omega_{\text{п}}C_1 + B\omega_{\text{п}} + B)$;

$$B_1 = \omega_{\text{п}}(BV_{\text{дх}}C_2 + AV_{\text{дх}} + SB);$$

$$V_1 = BV_{\text{дх}}\omega_{\text{п}}.$$

Эксплуатационный вес тракторного транспортного агрегата

$$G_{\text{эа}} = 10^{-3} g[(a + M_{\text{тр}}) + bQ_{\text{п}}] \quad (24)$$

где $M_{\text{тр}}$ – эксплуатационная масса трактора, кг .

Или

$$G_{\text{эа}} = M + LQ_{\text{п}}, \quad (25)$$

где $M = 10^{-3} g(a + M_{\text{тр}})$,

$$L = 10^{-3} gb.$$

Теперь $\omega_{\text{уд}}$ с учётом выражений (8), (23) и (25) будет

$$\omega_{\text{уд}} = \frac{B_1 Q_{\text{п}}}{MB_1 + A_1 M Q_{\text{п}} + B_1 L Q_{\text{п}} + A_1 L Q_{\text{п}}^2}. \quad (26)$$

Далее найдём частную производную $\frac{\partial \omega_{\text{уд}}}{\partial Q_{\text{п}}}$, приравняв её к нулю, и определим

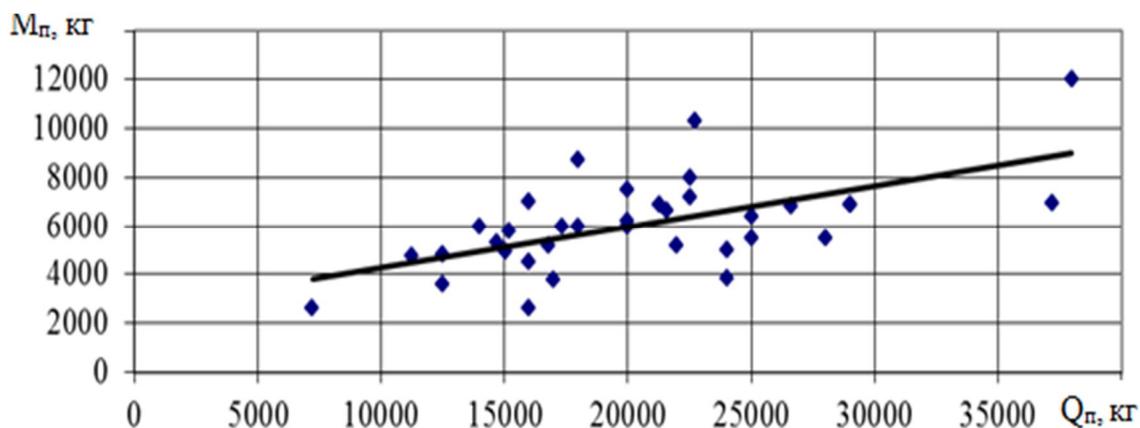
$Q_{\text{п}}^{\text{опт}}$.

$$Q_{\text{п}}^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{B_1 M}{A_1 L}}. \quad (27)$$

Заменяв символы выражения (27) реальными параметрами, получим

$$Q_{\text{п}}^{\text{опт}} = \frac{\omega_{\text{п}} \left[V_{\text{дх}} N_{\text{ен}} [\xi_N] \eta_{\text{мг}} t_{\text{пер}} + S(f+i)(10^{-3} ag + G_{\text{тр}}) V_{\text{дх}} + SN_{\text{ен}} [\xi_N] \eta_{\text{мг}} (a + M_{\text{тр}}) \right]}{\sqrt{V_{\text{дх}} \left[N_{\text{ен}} [\xi_N] \eta_{\text{мг}} \omega_{\text{п}} \left(\frac{Q_{\text{б}} + t_{\text{пер}} \omega_{\text{б}}}{Q_{\text{б}} \omega_{\text{б}}} \right) + 10^{-3} Sg(f+i)(1+b)\omega_{\text{п}} + N_{\text{ен}} [\xi_N] \eta_{\text{мг}} \right] b}} \quad (28)$$

Построим зависимость эксплуатационной массы прицепа-перегрузчика от его грузоподъёмности (см. рис.).



Зависимость эксплуатационной массы прицепа-перегрузчика от его грузоподъёмности:
 $M_{\text{п}} = 2600,6 + 0,1682 Q_{\text{п}}; r = 0,6$

Из данных, представленных на рисунке, следует, что между массой прицепа и его грузоподъёмностью существует корреляционная зависимость.

В качестве примера выполним расчёт для трактора John Deere 8520 при работе с группой комбайнов серии W (John Deere–W660) в средних условиях ЦЧР.

$$Q_{\text{п}}^{\text{опт}} = \frac{200 \left[4,2 \cdot 217 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 150 + 500(0,08 + 0,03)(10^{-3} \cdot 2600,6 \cdot 9,81 + 97) \cdot 4,2 + 500 \cdot 217 \cdot 0,95 \cdot 0,85 (2600,6 + 9700) \right]}{\sqrt{4,2 \left[217 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 68,6 \left(\frac{7020 + 150 \cdot 68,6}{7020 \cdot 68,6} \right) + 10^{-3} \cdot 500 \cdot 9,81(0,08 + 0,03)(1 + 0,1682 \cdot 200 + 217 \cdot 0,95 \cdot 0,85) \right] 0,1682}} = 32800$$

А для трактора John Deere 7920 $Q_{\text{п}}^{\text{опт}} = 23550$ кг.

При анализе выражения (22) видно, что грузоподъёмность прицепа зависит от мощности и массы трактора, с которым он агрегируется, а также от производительности его выгрузного устройства, размеров поля, технических характеристик зерноуборочных комбайнов. Поэтому при покупке прицепа-перегрузчика надо это учитывать.

Определим количество комбайнов, которое может обслуживать один прицеп-перегрузчик, работающий с трактором John Deere 8520 и комбайнами John Deere W660 при уборке озимой пшеницы по технологии напрямую (однофазная).

Размер поля – 900×1000 м, форма – прямоугольная.

Урожайность зерна $U_3 = 55$ ц/га; $V_p^k = 2,2$ м/с; $V_k = 6$ м.

Технологическая производительность комбайна

$$\omega_k = 0,36 \cdot 6 \cdot 0,96 \cdot 2,2 \cdot 0,55 = 2,6 \text{ кг/с.}$$

Технологическая производительность комбайна практически равна цикловой производительности и лишь незначительно комбайн теряет её при повороте. При этом цикловая производительность прицепа-перегрузчика определяется как

$$\omega_n^u = \frac{Q_n^{omm}}{t_{ц}}, \quad (29)$$

а время $t_{ц}$ равно

$$t_{ц} = 68,6 \cdot \frac{32800}{7020} + 150 \cdot \left(\frac{32800}{7020} - 1 \right) + \frac{500}{3,3} + \frac{32800}{200} + \frac{500}{4,2} = 1305,8 \text{ с.}$$
$$\omega_n^u = \frac{32800}{1305,8} = 25,1 \text{ кг/с.}$$

Теперь определим количество комбайнов, которые может обслужить один прицеп-перегрузчик

$$n_k = \frac{25,1}{2,6} = 9,65 \approx 9.$$

Количество транспортных средств общего назначения зависит в основном от их грузоподъёмности и расстояния транспортирования.

Экономический эффект, полученный от применения представленной методики, будет складываться из:

- снижения энергетических затрат на перемещение самого агрегата и массы собираемого в бункер материала;
- снижения удельного сопротивления машины при последующих обработках почвы;
- повышения урожайности различных культур за счёт снижения переуплотнения и распыления почвы.

Библиографический список

1. Бункер-перегрузчик зерна J&M // Каталог сельскохозяйственной техники. – Благовещенск : ЛБР Агромаркет, 2014. – С. 248–249.
2. Бункеры-перегрузчики зерна // Каталог импортной сельскохозяйственной техники. – Минск : ООО «Беларус-Сервис», 2018. – С. 28.
3. Всероссийская сельскохозяйственная перепись 2016 года : в 8 т. Т. 4. Посевные площади сельскохозяйственных культур и площади многолетних насаждений и ягодных культур [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VSXP_2016%20T_4_K1_web.pdf (дата обращения: 15.08.2020).
4. Высокопроизводительные перегрузочные машины HAWE-Wester GmbH & Co. KG Maschinenbau. Сервис. Техника. Запасные части // Каталог ООО «Ньютехагро» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.newtechagro.ru/uploads/files/files/peregruz_mash_hawe_wester.pdf (дата обращения: 15.08.2020).
5. Гаврилова Е.Ю. Задачи поставлены – время выполнять (по материалам Всероссийского агрономического совещания 2019) / Е.Ю. Гаврилова // Сахарная свекла. – 2019. – № 2. – С. 2–5.
6. Дьячков А.П. Расчет звеньев производственной линии уборки сахарной свеклы / А.П. Дьячков, А.Д. Бровченко, А.И. Любимый // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве : материалы национальной научно-практической конференции (Россия, г. Воронеж, 25 сентября 2020 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – С. 35–39.
7. Завалишин Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф.С. Завалишин. – Москва : Колос, 1973. – 319 с.
8. Кутищев А. Земледелие с умом / А. Кутищев // Газета «ЭкоНива-Вести/EkoNiva-News» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/81400569-Zemledelie-s-umom-izdanie-gruppy-kompaniy-ekoniva.html> (дата обращения: 15.08.2020).
9. Методика определения оптимальной грузоподъёмности бункера зерноуборочного комбайна / А.П. Дьячков, Н.П. Колесников, А.Д. Бровченко и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета – 2015. – № 4–2 (47). – С. 92–99.
10. Новый вектор развития Липецкого завода KvernelandGroup // Крестьянские ведомости : газета агробизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kvedomosti.ru/selxohtexnika-kverneland/> (дата обращения: 11.08.2020).

11. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/564161398> (дата обращения: 12.08.2020).
12. Об утверждении Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 10 августа 2019 года № 1796-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/560974985> (дата обращения: 12.08.2020).
13. Окунев Г.А. Последствия влияния на почву тракторов среднего класса при оценке эффективности их использования / Г.А. Окунев, Н.А. Кузнецов // АПК России. – 2016. – Т. 75, № 1. – С. 89–95.
14. Организация сельскохозяйственного производства : учебник по группе специальностей 35.02.00 «Сельское хозяйство» / М.П. Тушканов, С.И. Грядов, А. Пастухов и др. ; под ред. профессора М.П. Тушканова, профессора Ф.К. Шакирова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 290 с.
15. Оригинальный прицеп ASN «GIGANT» с выдвигающей системой // Каталог современной сельскохозяйственной техники завода Fliegl. Agrartechnik [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polymya-agro.by/pdf/13-pristepy-fliegl.pdf> (дата обращения: 12.08.2020).
16. Прицепы-перегрузчики BergmannGTW // Каталог уборочной техники компании «Агро-Лидер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agro-lider.ru/agrotechnics/peregruzchiki-zerna/pristepy-peregruzchik-gtw-330-430/> (дата обращения: 12.08.2020).
17. Система телеметрии AFS Connect™ // Каталог компании «Альтаир» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kvedomosti.ru/selxoztexnika-kverneland/> (дата обращения: 11.08.2020).
18. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства : учебник / А.В. Новиков, И.Н. Шило, Т.А. Непарко и др. ; под ред. А.В. Новикова. – Минск : Новое знание; Москва : ИНФРА-М, 2012. – 512 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Анатолий Петрович Дьячков – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Вячеслав Геннадиевич Козлов – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vya-kozlov@yandex.ru.

Алексей Дмитриевич Бровченко – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Николай Петрович Колесников – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: nikolay2060@yandex.ru.

Яна Валерьевна Бунина – аспирант кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: missisangelyana@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 18.11.2020

Дата принятия к печати 24.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Anatoly P. Dyachkov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Vyacheslav G. Kozlov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: vya-kozlov@yandex.ru.

Alexey D. Brovchenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Nikolay P. Kolesnikov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: nikolay2060@yandex.ru.

Yana V. Bunina, Postgraduate Student, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: missisangelyana@yandex.ru.

Received November 18, 2020

Accepted after revision December 24, 2020