

УДК 631.3

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

РАБОЧИЕ ЦИКЛЫ БУНКЕРОВ-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ РАЗНОГО ЧИСЛА ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Скорляков Виктор Иосифович
канд. техн. наук, вед. научн. сотр.,
РИНЦ SPIN-код 7553-1163
skorlv@yandex.ru

Ревенко Валерий Юрьевич
канд. техн. наук, ученый секретарь,
РИНЦ SPIN-код 6608-9963
skskniish@rambler.ru

Назаров Андрей Николаевич
научн. сотр.
РИНЦ SPIN-код 7058-3195
naz.and.nik.1969@yandex.ru
Новокубанский филиал ФГБНУ Росинформагротех (КубНИИТиМ), г. Новокубанск, Краснодарский край, Россия

Представлен анализ элементов рабочего процесса бункеров-перегрузателей с разной вместимостью, метод сравнительной оценки и расчета продолжительности их передвижений в рабочих циклах. Обоснован метод расчета допустимого числа обслуживаемых комбайнов при условии их бесперебойной работы

Ключевые слова: БУНКЕРЫ-ПЕРЕГРУЖАТЕЛИ, ЭЛЕМЕНТЫ РАБОЧЕГО ЦИКЛА, ДОПУСТИМОЕ ЧИСЛО КОМБАЙНОВ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-202-016>

UDC 631.3

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

WORKING CYCLES OF HOPPER LOADERS DURING MAINTENANCE OF A DIFFERENT NUMBER OF COMBINE HARVESTERS

Skorlyakov Victor Iosephovich
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
RSCI SPIN code 7553-1163
skorl@yandex.ru

Revenko Valeriy Yurievich
Academic secretary, Candidate of Technical Sciences
RSCI SPIN code 6608-9963
skskniish@rambler.ru

Nazarov Andrey Nikolaevich
Researcher
RSCI SPIN 7058-3195
naz.and.nik.1969@yandex.ru
Novokubansk branch of F'SBSI "Rosinformagrotekh" (KubNIITiM), Novokubansk, Krasnodar Territory, Russia

An analysis of the workflow elements of hopper loaders with different capacities is presented, as well as a method for comparing and calculating the duration of their movements during working cycles. A method for determining the maximum number of combines that can be serviced without interruption is also justified

Keywords: HOPPER LOADERS, ELEMENTS OF THE WORKING CYCLE, THE PERMISSIBLE NUMBER OF COMBINES

Введение. Рост вместимости бункеров зерноуборочных комбайнов (до 12 м³) вызывает необходимость применения грузовых автомобилей для отвоза зерна с соответствующей увеличенной грузоподъемностью. Это влечет за собой дальнейшее обострение проблемы переуплотнения почвы их ходовыми органами, конструктивно не приспособленными для движения по убираемым полям.

Острота проблемы переуплотнения и деградации почвы под воздействием современных машин вызвало логичные рекомендации

<http://ej.kubagro.ru/2024/08/pdf/16.pdf>

ученых о запрете передвижений большегрузных автомобилей по полям [1, 2]. Это также согласуется с мировой практикой построения транспортного процесса, когда исключают проезды по полю транспорта общего назначения, чтобы не уплотнять почву, не разрушать её структуру и не вызывать увеличение затрат энергии на её последующую обработку [3]. В настоящее время перспективы в решении данной проблемы ряд исследователей связывают с применением бункеров-перегрузателей (далее – БП) с ограниченным воздействием ходовых органов на почву.

В отличие от автомобилей, БП предназначены для передвижения по полям, конструктивно они приспособлены к оснащению необходимым количеством опорных осей и колес, а также к выбору шин необходимых размеров. В последние годы продолжается изучение их эксплуатационно-технологической эффективности, осмысление и поиск наиболее эффективных способов их встраивания в уборочный процесс [4, 5]. Однако ряд известных публикаций противоречивы и в ряде случаев не отличаются конкретикой и достаточной обоснованностью. В частности, до настоящего времени отличаются неопределенностью вопросы выбора оптимальной вместимости БП и количества обслуживаемых комбайнов. По данному вопросу известен ряд различных мнений исследователей, трансформируемых по мере накопления знаний по данному вопросу.

Кроме этого, авторы ряда публикаций, обобщенных в [6], указывают, что с применением БП увеличивается производительность комбайнов (от 10 до 40 % в разных публикациях). Однако это противоречит основополагающему принципу работы основного и вспомогательного звена транспортно-производственного технологического процесса, приведенному в ГОСТ 17460-72 [7]. Он заключается в том, что основное звено всегда работает непрерывно, а вспомогательное звено выбирается исходя из обеспечения непрерывности его работы. Необходимо отметить, что данный принцип соблюдается при использовании для отвоза зерна

автомобилей путем оперативного добавления их количества при появлении случаев простоев комбайнов. Правильность данного принципа, повсеместно используемого при уборке зерновых колосовых культур, подтверждается экономической целесообразностью из-за риска увеличения потерь от осыпания зерна в условиях короткого экономически обоснованного срока уборки зерна каждого сорта [8]. При этом достаточное число применяемых транспортных средств должно быть обеспечено при любых реально складывающихся организационно-производственных условиях. Очевидно, что это также относится и к большегрузным тракторно-транспортным агрегатам с БП, выполняющим отвоз зерна от комбайнов на край поля, в том числе при неблагоприятных расположениях заполненных комбайнов относительно друг друга и от края поля.

Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствует простой и надежный метод оценки затрат времени БП при обслуживании разного числа комбайнов. Это затрудняет аналитическое определение допустимого числа обслуживаемых комбайнов, расчеты длины проходов и давления ходовых органов БП на почву по площади поля при переездах с разным количеством зерна, а также сравнительную оценку БП с разной вместимостью.

Цель данного исследования заключается в разработке аналитических зависимостей, обеспечивающих расчет продолжительности рабочего цикла БП при обслуживании разного числа комбайнов в условиях полей с разной урожайностью и длиной гона, а также способа определения числа комбайнов, обслуживаемых одним БП.

Материалы и методы исследования. Исследование проведено с использованием аналитического, сравнительного и информационного логического методов анализа исходной информации.

Рассматривали применение БП в трехзвенном способе уборки, при

котором обслуживаемые комбайны осуществляют сбор зерна в бункер, выгружают в БП, который перевозит его на край поля и перегружает в автомобиль для последующего отвоза на ток. Учитывали, что обслуживание комбайнов бункером-перегрузателем осуществляется при работе в загонках, поочередно образуемых прокосами, преимущественно «в раскос» с завершением остающихся полос «в круговую». В связи с этим расстояния между поочередно разгружаемыми комбайнами равновероятно могут находиться в пределах всего диапазона длины гона (кроме работы в первом прокосе, где возможно движение комбайнов строго друг за другом).

Исходили из того, что в зависимости от числа обслуживаемых комбайнов тракторный агрегат с БП совершает от двух до пяти переездов по полю. При этом в каждом варианте обслуживания комбайнов при соответствующей вместимости БП присутствует проезд с порожним бункером от края поля к первому комбайну и возврат на край с загруженным зерном. Промежуточные проезды производятся от каждого предыдущего комбайна к последующему со ступенчатым увеличением общей массы БП от поступившего зерна. Таким образом, в рабочем цикле сбора зерна от обслуживаемых комбайнов БП оставляет на поле отрезки следов со ступенчато возрастающей нагрузкой колес БП на почву. От края поля к первому комбайну агрегат с БП движется с порожним бункером (L_{n0}), при переезде от первого комбайна – с одной загрузкой зерна (загруженным одним бункером – L_{n1}), от второго – с загруженными двумя (L_{n2}), от третьего – с загруженными тремя (L_{n3}), а от четвертого – с загруженными четырьмя бункерами (L_{n4}).

При расчетах использованы известные результаты исследования средней продолжительности и вариации элементов рабочего процесса тракторно-транспортного агрегата с БП [9]. Среднее (в течении смены) расстояние каждого отдельного проезда БП от края поля к комбайну и от

последнего комбайна к краю поля принято равным половине длины гона. Исходя из примерного равенства времени указанных передвижений и времени передвижений между комбайнами [9] данное расстояние также принято равным половине длины гона.

Результаты и обсуждение

Продолжительность и длина проходов БП в рабочем цикле

В общем случае, принципиальная схема пробега при обслуживании нескольких комбайнов состоит из трех основных блоков:

- движение с пустым бункером от края поля к первому комбайну;
- переезд с частично заполненным БП к следующим заполненным комбайнам с приемом зерна от них;
- отвоз зерна при полностью загруженном бункере-перегрузателе на край поля и перегрузка в автомобиль.

Продолжительность рабочего цикла БП ($T_{\text{ц}}$) состоит из следующих элементов времени:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{дн}} + t_{\text{оп } i} + t_{\text{пд } i} + t_{\text{o } i} + t_{\text{дк}} + t_{\text{в}} \quad (1)$$

где

$t_{\text{дн}}$ – время начального движения от края поля до первого комбайна, мин;

$t_{\text{оп } i}$ – время остановки для приема зерна от комбайна, мин;

$t_{\text{пд } i}$ – время движения к следующему комбайну, мин;

$t_{\text{o } i}$ – время ожидания следующего комбайна, мин;

$t_{\text{дк}}$ – время конечного движения (от комбайна до края поля), мин;

$t_{\text{в}}$ – время выгрузки зерна из БП в автомобиль, мин.

При обслуживании каждого дополнительного комбайна продолжительность цикла увеличивается на сумму времени $t_{\text{оп } i} + t_{\text{пд } i}$, а длина прохода увеличивается пропорционально произведению времени $t_{\text{пд } i}$ на скорость передвижения бункера-перегрузателя V .

В данном случае не учитывается время ожидания заполнения бункера комбайна, исходя из допущения (для данного исследования) идеальной согласованности рабочих циклов БП и комбайнов без простоев.

При этом ширина загонок, преимущественно убираемых «в раскос», составляет 100-120 м, а длина гона в южных степных регионах составляет в среднем 700-900 м. Поэтому при переездах БП между комбайнами преобладает движение вдоль проходов комбайнов, в том числе разнонаправленное движение к местам остановок комбайнов, если их более двух. Тем более, что в ряде случаев обслуживаемые комбайны могут находиться на противоположных сторонах убираемой загонки (рисунок 1).

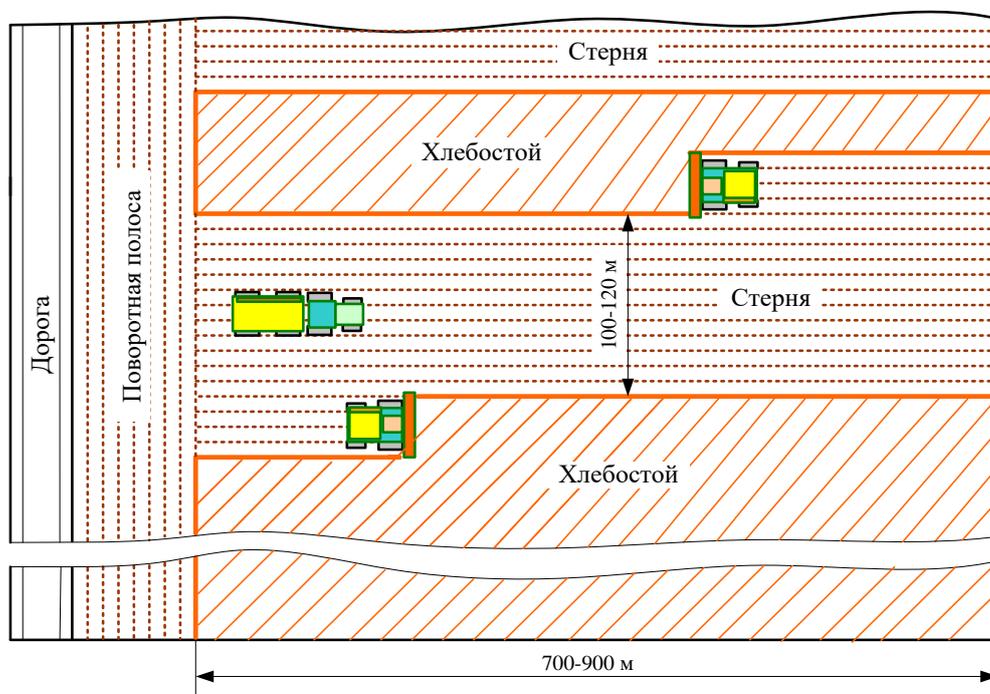


Рисунок 1 – Зона передвижений зерноуборочных комбайнов и бункера-перегрузателя в загонке

Согласно результатам известных хронометражных наблюдений [12], продолжительность движения БП от края поля к первому комбайну, между комбайнами и к краю поля (с заполненным бункером от последнего комбайна) примерно равны. При сравнительно равной скорости V тракторно-транспортного агрегата с БП наряду с продолжительностью

движения можно считать равными также и расстояния передвижений.

В вероятностном смысле в течении смены заполнение бункеров комбайнов может происходить в любой точке длины гона, поэтому средняя длина прохода от края до первого комбайна и от последнего до края поля равна $0,5 \cdot L_{\Gamma}$. Тогда длина прохода БП в рабочем цикле при обслуживании одного комбайна (проезд туда и обратно) выразим уравнением $L_{\text{пр}} = L_{\Gamma}$, при обслуживании двух комбайнов $L_{\text{пр}} = 1,5 \cdot L_{\Gamma}$, трех комбайнов $L_{\text{пр}} = 2 \cdot L_{\Gamma}$, четырех – $L_{\text{пр}} = 2,5 \cdot L_{\Gamma}$.

Однако увеличение числа обслуживаемых комбайнов допустимо лишь при обеспечении их бесперебойной работы, т.е. при своевременном возврате БП (например, к первому выгруженному комбайну). Последнее зависит от длины и продолжительности проходов БП, т.е. от длины гона L_{Γ} . Наряду с этим на своевременный возврат БП к комбайну существенное влияние оказывает урожайность зерна на убираемом поле и продолжительность цикла заполнения бункеров комбайнов. Поэтому для сравнительной оценки БП указанные характеристики целесообразно выразить через длину гона убираемого поля.

Продолжительность рабочих циклов БП

Продолжительности циклов ($T_{\text{ц1}} \dots T_{\text{ц4}}$) при проездах с учетом остановок для приема зерна от обслуживаемых комбайнов и выгрузок в автомобиль на краю поля) при принятом условии равенства скорости и длины проходов выразим для разного числа обслуживаемых комбайнов формулами:

$$T_{\text{ц1}} = \frac{L_{\text{пр}}}{V} + t_{\text{оп}i} + t_{\text{в1}} = \frac{L_{\Gamma}}{V} + t_{\text{оп}i} + t_{\text{в1}} \quad (2)$$

$$T_{\text{ц2}} = \frac{L_{\text{пр}}}{V} + 2 \cdot t_{\text{оп}i} + t_{\text{в2}} = \frac{1,5 \cdot L_{\Gamma}}{V} + 2 \cdot t_{\text{оп}i} + t_{\text{в2}} \quad (3)$$

$$T_{ц3} = \frac{L_{пр}}{V} + 3 \cdot t_{оп i} + t_{в3} = \frac{2 \cdot L_{Г}}{V} + 3 \cdot t_{оп i} + t_{в3} \quad (4)$$

$$T_{ц4} = \frac{L_{пр}}{V} + 4 \cdot t_{оп i} + t_{в4} = \frac{2,5 \cdot L_{Г}}{V} + 4 \cdot t_{оп i} + t_{в4} \quad (5)$$

где

$t_{в1}, t_{в2}, t_{в3}, t_{в4}$ – продолжительность остановок для перегрузки зерна в автомобиль на краю поля соответственно при обслуживании одного, двух, трех и четырех комбайнов (соответственно равна 380, 464, 532 и 595 с).

Полученные выражения для расчетов рабочих циклов БП позволяют определять их продолжительность в зависимости от длины гона на убираемом поле и числа обслуживаемых комбайнов при известных затратах времени выгрузки зерна комбайнами заданной марки, и перегрузками зерна в автомобиль из заполненных БП, а также от рабочей скорости БП.

Полученные в [9] результаты продолжительности элементов рабочего процесса БП отличаются сравнительно большой вариабельностью при значительном превышении средних значений (таблица 1).

Таблица 1 – Продолжительность (с) элементов рабочего процесса тракторно-транспортного агрегата с МТЗ-1221 и БП «Лилиани БП 16.С2» (по материалам [9])

Показатель	Среднее значение, $X_{ср}$	Наибольшее значение, X_{max}	Кратность соотношений $X_{max}/X_{ср}$
Выгрузка зерна из БП в автомобиль	464	750	1,6
Переезд от края поля до комбайна	218	500	2,3
Прием зерна от комбайна	274	500	1,8
Переезд между 1 и 2 комбайнами	224	520	2,3
Переезд от 2 комбайна к краю поля	208	600	2,9

Из таблицы видно, что при нормальном законе распределения

представленных величин в половине случаев продолжительность элементов рабочего процесса будет существенно превышать средние значения. Однако при превышении средней продолжительности одних элементов рабочего цикла, продолжительность других элементов в вероятностном смысле может быть меньше средних значений. В результате этого для каждого рабочего цикла прогнозируется результат, соответствующий средним исходным значениям с невысокой вероятностью отклонений фактических значений в отдельных циклах.

В процессе взаимодействия БП с комбайнами ключевое значение для бесперебойной работы последних имеет своевременный возврат БП в следующем рабочем цикле для разгрузки бункера обслуживаемого комбайна. Установлено, что продолжительность данного промежутка времени возврата T_B меньше продолжительности рабочего цикла T_C на величину времени остановки БП для приема зерна от комбайна ($t_{оп i}$), т.е.:

$$T_B = T_C - t_{оп i} \quad (6)$$

Это обусловлено одинаковым отсчетом времени начала движения БП и данного конкретного комбайна после перегрузки зерна и возвратом к нему в следующем цикле к времени завершения рабочего прохода.

Пример расчета продолжительности рабочего цикла и времени возврата БП к комбайну

Условия:

- длина гона, $L_r = 700$ м;
- урожайность культуры $U = 0,6$ кг/м²
- рабочая скорость БП, $V = 5$ м/с;
- продолжительность выгрузки из БП в автомобиль при обслуживании одного, двух, трех и четырех комбайнов равна 380, 464, 532 и 595 с.
- вместимость бункера обслуживаемых комбайнов $V_6 = 9,5$ м³;
- продолжительность заполнения бункера комбайна 274 с;

- объемная масса культуры $\gamma = 780 \text{ кг/м}^3$.

Необходимо рассчитать продолжительность рабочего цикла бункеров-перегрузателей при обслуживании двух, трех и четырех комбайнов.

Решение. Выразим для каждого варианта длину прохода $L_{\text{пр}}$ через длину гона $L_{\text{Г}}$:

$$T_{\text{ц1}} = \frac{L_{\text{Г}}}{V} + t_{\text{оп } i} + t_{\text{в1}}$$

$$T_{\text{ц2}} = \frac{1,5 \cdot L_{\text{Г}}}{V} + 2 \cdot t_{\text{оп } i} + t_{\text{в2}}$$

$$T_{\text{ц3}} = \frac{2,0 \cdot L_{\text{Г}}}{V} + 3 \cdot t_{\text{оп } i} + t_{\text{в3}}$$

$$T_{\text{ц4}} = \frac{2,5 \cdot L_{\text{Г}}}{V} + 4 \cdot t_{\text{оп } i} + t_{\text{в4}}$$

Подставив средние значения показателей продолжительности элементов рабочего процесса в приведенные выше формулы, получим значения времени циклов БП:

- при обслуживании одного комбайна:

$$T_{\text{ц1}} = \frac{700}{5} + 274 + 380 = 796 \text{ с} = 13,3 \text{ мин}$$

- при обслуживании двух комбайнов:

$$T_{\text{ц1}} = \frac{1,5 \cdot 700}{5} + 2 \cdot 274 + 464 = 1222 \text{ с} = 20,4 \text{ мин}$$

- при обслуживании трех комбайнов:

$$T_{\text{ц3}} = \frac{2,0 \cdot 700}{5} + 3 \cdot 274 + 532 = 1634 \text{ с} = 27,2 \text{ мин}$$

- при обслуживании четырех комбайнов:

$$T_{\text{ц4}} = \frac{2,5 \cdot 700}{5} + 4 \cdot 274 + 595 = 2041 \text{ с} = 34,0 \text{ мин}$$

Периодичность возврата БП к комбайну в следующем рабочем цикле T_B , (т.е. расчетное время от завершения выгрузки зерна от комбайна в предыдущем цикле до времени прибытия БП к данному комбайну в следующем цикле) меньше времени цикла на величину $t_{опi} = 274$ с или 4,57 мин (см. таблицу 1). Тогда значения T_B будут соответственно равны 8,7, 15,8, 22,6 и 29,4 мин.

Одно из практических приложений исследования рабочего цикла БП является выбор соответствующего числа обслуживаемых комбайнов при обеспечении бесперебойной работы. Для представленных выше исходных условий (для примера расчета показателей БП) определим продолжительность рабочего цикла заполнения бункеров комбайнов.

Продолжительность рабочего цикла зерноуборочных комбайнов

Длина прохода при заполнении бункера определяется по формуле:

$$L = \frac{Q \cdot \gamma}{B_{ж} \cdot U} \quad (7)$$

где

Q – вместимость бункера, м³;

$B_{ж}$ – рабочая ширина жатки, м;

Принимая значения вместимости бункеров и рабочей ширины жатки комбайнов Акрос 550, КЗС 3219 и Торум 780 (таблица 2), а также урожайность – 0,6 кг/м² и объемную массу зерна $\gamma = 800$ кг/м³, после подстановки в формулу получим длину прохода соответственно 1764, 1423 и 1797 м, что при рабочей скорости 5 км/ч соответствует 21,2, 17,1 и 21,6 мин.

Таблица 2 – Условия работы и продолжительность рабочих проходов комбайнов при заполнении бункеров зерном

Комбайн	Вместимость бункера, м ³	Ширина жатки рабочая, м	Урожайность, кг/м ²	Длина прохода, м	Продолжительность заполнения бункера, мин
Акрос 550	9	6,8	0,6	1764	21,2
КЗС 3219	9,5	8,9	то же	1423	17,1
Торум 780	12	8,9	то же	1797	21,6

Продолжительность заполнения бункера зависит от рабочей скорости комбайна, состояния хлебостоя и окончательно принимается при пробных проходах комбайнов исходя из допустимых потерь зерна (1,5 % за молотилкой). В данном случае рабочая скорость комбайнов принята равной 5 км/ч по результатам их хозяйственного использования на уборке озимой пшеницы на полях опытного севооборота КубНИИТиМ.

Получение значений сроков возврата БП к обслуживаемому комбайну T_B в следующем цикле и продолжительности заполнения бункеров комбайнов зерном позволяет априорно определять допустимое число обслуживаемых комбайнов одним БП (рисунок 2).

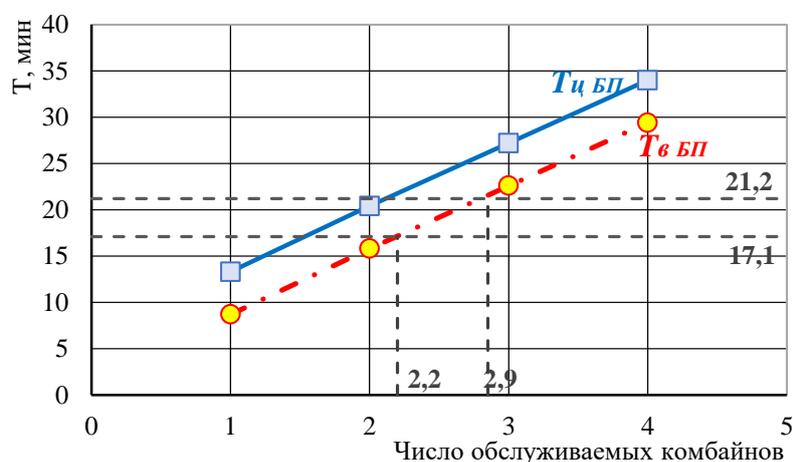


Рисунок 2 – Зависимость времени цикла бункера-перегрузателя от числа обслуживаемых комбайнов

Согласно рисунку 2 абсцисса пересечения прямолинейной зависимости времени возврата БП к комбайну T_B (в его следующем цикле) от числа обслуживаемых комбайнов горизонталью, характеризующей $T_{ц}$

заполнения бункера, обеспечивает получение расчетного допустимого числа обслуживаемых комбайнов. Фактическое значение должно быть получено посредством округления до ближайшего меньшего целого числа. В данном расчете при полученной продолжительности цикла заполнения бункеров комбайнов Акрос 550 и КЗС 3219 их бесперебойная работа возможна при обслуживании одним БП двух комбайнов.

Для обеспечения предварительного планирования работы БП в составе уборочно-транспортного звена на разных полях хозяйства было определено влияние основных условий на потребность времени для его возврата к комбайну в следующем рабочем цикле (таблица 3).

Таблица 3 – Время возврата БП к обслуживаемому комбайну (мин)

Длина гона, м	Число обслуживаемых комбайнов		
	2	3	4
700	16,5/15,4	23,6/22,2	30,6/28,9
800	17,1/15,9	24,4/22,8	31,6/29,6
900	17,7/16,3	25,2/23,4	32,6/30,4
1000	18,3/16,8	26,0/24,0	33,6/31,1

Примечание: в числителе – для скорости 15 км/ч, в знаменателе – для скорости 20 км/ч.

Из таблицы 3 видно, что при увеличении числа комбайнов с двух до трех время возврата БП (T_B) увеличивается на 7,1 и 7,0 мин (соответственно при скорости 15 и 20 км/ч). При увеличении длины гона с 700 до 1000 м (в 1,4 раза) время возврата БП к обслуживаемому комбайну увеличивается в меньшей степени – на 7,6-10,9 %. При этом также незначительно сокращаются сроки возврата БП к комбайну при увеличении скорости его движения по полю с 15 до 20 км/ч – на 5,5-8,1 %.

Согласно таблице 3 значительное изменение сроков возврата БП к комбайну происходит с изменением числа обслуживаемых комбайнов. Так, при работе комбайнов на поле с длиной гона 700 м обслуживание каждого дополнительного комбайна увеличивает время возврата БП на 7,0 и 7,1

мин. Увеличение скорости БП с 15 до 20 км/ч позволяет сократить данное время до 6,8 и 6,7 мин. Но при этом на длине гона 1000 м при 20 км/ч T_B увеличивается до 7,2 и на 7,1 мин, а при скорости 15 км/ч – до 7,7 и 7,6 мин.

Таким образом, обслуживание каждого дополнительного комбайна приводит к увеличению времени возврата БП к комбайнам в рабочем цикле передвижений по полю от 7,0 до 7,7 мин, что необходимо учитывать при планировании составов уборочно-транспортных звеньев.

Наряду с актуальностью минимизации продолжительности элементов рабочего процесса БП, положительное значение также имеет снижение их вариабельности, обеспечение стабильности продолжительности остановок для приема и выгрузок зерна и скорости при передвижениях.

Таким образом способ определения числа обслуживаемых одним БП комбайнов на предназначенном для уборки поле содержит следующие действия:

- определение средней продолжительности элементов рабочего цикла БП;
- определение срока возврата БП к одному из поочередно обслуживаемых комбайну в следующем цикле;
- определение продолжительности заполнения бункеров обслуживаемых комбайнов с учетом их параметров и урожайности зерна;
- построение графика времени возврата БП к комбайну в следующем цикле от числа обслуживаемых комбайнов, $T_B = f(N)$;
- определение абсциссы точки пересечения графика $T_B = f(N)$ с горизонталью, характеризующей время цикла заполнения бункера комбайна;
- определение допустимого числа обслуживаемых комбайнов с округлением до ближайшего меньшего целого числа.

При найденном числе комбайнов, обслуживаемых одним БП, вместимость БП может быть определена исходя из суммарной вместимости бункеров обслуживаемых комбайнов.

Выводы 1 Общая продолжительность рабочего цикла БП при увеличении числа обслуживаемых комбайнов увеличивается на время переезда и приема зерна от каждого дополнительного комбайна.

2 Ключевым условием при выборе допустимого числа обслуживаемых комбайнов одним БП является меньшая продолжительность времени возврата к комбайну в сравнении с продолжительностью заполнения бункера комбайна.

3 При выборе вместимости БП для производственных условий хозяйства предварительно необходимо определить допустимое число обслуживаемых комбайнов из условия их бесперебойной работы, затем – вместимость БП исходя из суммарной вместимости бункеров обслуживаемых комбайнов.

Список литературы

1. Трубилин Е.И., Маслов Г.Г., Перстков В.В. Почему «буксует» машинно-технологическая модернизация сельскохозяйственного производства. [Электронный ресурс]. Научный журнал КубГАУ. 2017. № 128 (04). Адрес ссылки: <http://ej.kubagro.ru/2017/04/pdf/33.pdf>.

2. Дьячков А.П., Трофимова Т.А., Колесников Н.П. и др. Совершенствование транспортно-технологического процесса функционирования машин и комплексов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2017. - № 1 (52). - С. 94-101.

3 Дьячков А.П., Козлов В.Г., Бровченко А.Д. Современные технологии уборки зерновых культур и технические средства их реализации с оптимальными параметрами. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4 (67). С. 33-43.

4 Взаимодействие уборочно-транспортных машин при использовании большегрузного прицепа-перегрузателя / В.В. Тихоновский, Ю.Н. Блынский, Ю.А. Гуськов, К.В. Тихоновская // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2018. – Т. 48, № 2. – С. 63-71. – DOI 10.26898/0370-8799-2018-2-9. – EDN UQDYVD.)

5 Технологическое обслуживание комбайнов при уборке зерновых и зернобобовых культур / А.П. Дьячков, Н.П. Колесников, А.Д. Бровченко, Д.А. Нестеренко // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 марта – 28 апреля 2023

года. Том Часть V. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 280-286.

6 Скорляков, В.И. Анализ схем транспортировки зерна от комбайнов и совершенствование оценок их эффективности // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции, 08-10 июня 2020 года. – п. Правдинский Московской области: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2020. – С. 424-437.

7 ГОСТ 17460-72 Транспортно-производственные процессы в механизированном сельскохозяйственном производстве. Классификация, оценка и методы расчета. - М.: ВИМ, ВНИИНАШ, 1972. - 83 с.

8 Юдина Е.М., Ринас Н.А., Папуша С.К. и др. Технологии уборки зерна энерго-ресурсосберегающими многофункциональными агрегатами // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 4 (72). – С. 89-95. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-89-95. – EDN XPFTBG.

9 Орлянский, А.В., Михайленко П.А., Орлянская И.А. Имитационное моделирование уборочного процесса с применением бункера-перегрузчика зерна / А.В. Орлянский, // АгроСнабФорум. – 2017. – № 5(153). – С. 73-75. – EDN ZCQQBJ.

References

1. Trubilin E.I., Maslov G.G., Perstkov V.V. Pochemu «buxsuet» mashinno-tehnologicheskaja modernizacija sel'skohozejstvennogo proizvodstva. [Elektronnyj resurs]. Nauchnyj zhurnal KubGAU. 2017. № 128 (04). Adres ssylki: <http://ej.kubagro.ru/2017/04/pdf/33.pdf>.

2. D'jachkov A.P., Trofimova T.A., Kolesnikov N.P. i dr. Sovershenstvovanie transportno-tehnologicheskogo processa funkcionirovanija mashin i kompleksov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2017. - № 1 (52). - S. 94-101.

3 D'jachkov A.P., Kozlov V.G., Brovchenko A.D. Sovremennye tehnologii uborki zernovyh kul'tur i tehnicheskie sredstva ih realizacii s optimal'nymi parametra-mi. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – № 4 (67). S. 33-43.

4 Vzaimodejstvie uborochno-transportnyh mashin pri ispol'zovanii bol'she-gruznogo pricepa-peregruzhatelja / V.V. Tihonovskij, Ju.N. Blynskij, Ju.A. Gus'kov, K.V. Tihonovskaja // Sibirskij vestnik sel'skohozejstvennoj nauki. – 2018. – Т. 48, № 2. – S. 63-71. – DOI 10.26898/0370-8799-2018-2-9. – EDN UQDYVD.)

5 Tehnologicheskoe obsluzhivanie kombajnov pri uborke zernovyh i zernobobo-vyh kul'tur / A.P. D'jachkov, N.P. Kolesnikov, A.D. Brovchenko, D.A. Nesterenko // Teorija i praktika innovacionnyh tehnologij v APK: materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii, Voronezh, 01 marta – 28 aprelja 2023 goda. Tom Chast' V. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2023. – S. 280-286.

6 Skorljakov, V.I. Analiz shem transportirovki zerna ot kombajnov i sovershenstvovanie ocnok ih jeffektivnosti // Nauchno-informacionnoe obespechenie innovacionnogo razvitija APK: Materialy XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj internet-konferencii, 08-10 ijunja 2020 goda. – п. Pravdinskij Moskovskoj obla-sti: Rossijskij nauchno-issledovatel'skij institut informacii i tehniko-jekonomicheskikh issledovanij po inzhenerno-tehnicheskomu obespečeniju agropro-myshlennogo kompleksa, 2020. – S. 424-437.

7 GOST 17460-72 Transportno-proizvodstvennye processy v mehanizirovan-nom sel'skhozajstvennom proizvodstve. Klassifikacija, ocenka i metody rascheta. - M.: VIM, VNIINMASH, 1972. - 83 s.

8 Judina E.M., Rinas N.A., Papusha S.K. i dr. Tehnologii uborki zerna jenergo-resursosberegajushhimi mnogofunkcional'nymi agregatami // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – T. 18, № 4 (72). – S. 89-95. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-89-95. – EDN XPFTBG.

9 Orlyanskij, A.V., Mihajlenko P.A., Orlyanskaja I.A. Imitacionnoe modeli-rovanie uborochnogo processa s primeneniem bunkera-peregruzchika zerna / A.V. Orlyanskij, // AgroSnabForum. – 2017. – № 5(153). – S. 73-75. – EDN ZCQQBJ.