

**N.S. YAKOVLEV, Doctor of Science in Engineering, Laboratory Head,  
A.P. TSEGELNIK, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher,  
V.I. CHERNYKH, Research Engineer**

*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies,  
Russian Academy of Sciences*

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

e-mail: yakovlev-46@inbox.ru

### **EFFECT OF SEEDER BLADE SIZE ON TILLAGE QUALITY**

There were found the patterns of changing soil fraction structure as well as width of track and furrow profile left by blades of seeder units depending on their width, operating speed of a unit and soil moisture. A mathematical model is given to determine the width of track left by the hoe blade on soil. The mathematical model was verified by experiments with blades of 260, 370 and 410 mm wide carried out at the Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture. There were determined confidence intervals at 5% significance level for the average value of track width. Calculated values of track widths are different from actual ones by no more than 4.4%. The model adequately describes the operation of the blade within operating speeds of the unit from 4 to 8 km/h (1.11–2.22 m/c). The width of track is influenced by soil adhered to the blade. With that, a soil wedge, which shapes the inclination of the blade working surface, is formed. When it reaches the critical values of 30–35°, the blade begins pushing soil, and the track from it is getting deeper. With soil density of 0.98–1.1 g/cm<sup>3</sup> and average moisture of 13.7%, the 260 mm blade leaves a deeper furrow than the 370 and 410 mm blades do. Soil moisture significantly influences the fraction structure of soil in the track. With increasing moisture, the amount of soil aggregates larger than 50 mm decreases, and the amount of soil aggregates lesser than 10 mm does not increase.

**Keywords:** soil, seeder unit, soil adhesion, soil wedge, furrow.

---

УДК 631.171:633.1

**В.В. ТИХОНОВСКИЙ, кандидат технических наук, доцент,  
Ю.Н. БЛЫНСКИЙ, доктор технических наук, профессор,  
Ю.А. ГУСЬКОВ, доктор технических наук, заведующий кафедрой**

*Новосибирский государственный аграрный университет*

630039, Россия, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160

e-mail: vitalad@ya.ru

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИН НА УБОРКЕ ЗЕРНОВЫХ В СИБИРИ**

Определены пути повышения производительности уборочно-транспортной системы на уборке зерновых культур за счет применения средств позиционирования и мониторинга машин на поле. Исследования проведены в условиях лесостепной зоны Западной Сибири с 2007 по 2015 г. на протяжении девяти уборочных периодов. Урожайность зерновых составляла до 3,5 т/га, расстояние перевозок до 25 км. С учетом особенностей уборочно-транспортной системы, связанных с удаленностью полей от пунктов послеуборочной обработки зерна, временем на загрузку и разгрузку представлено выражение определения времени цикла транспортных средств для конкретных технологических схем с применением средств позиционирования и мониторинга. Установлено, что применение систем позиционирования и мониторинга технических средств при выполнении уборочно-транспортных операций позволяет сократить

простой и повысить производительность системы. При прямоточных перевозках зерна применение систем позиционирования и мониторинга машин приводит к сокращению взаимобусловленных простоев машин до 12–23 %, производительность уборочной транспортной системы при этом на 7–11 % ниже максимальной расчетной, рациональное расстояние перевозок – не более 12–15 км. При использовании оборотных прицепов работа комбайнов более независима от транспорта, число тракторов-тягачей сокращается на число уборочных машин в системе. Данная технологическая схема перевозок целесообразна на расстоянии до 5 км, при этом производительность уборочной транспортной системы повышается на 4,9 %. При случайном распределении мест намолота прокладка разгрузочных магистралей с использованием средств позиционирования и мониторинга технических средств в 3 раза сокращает непроизводительные пробеги машин по полю.

**Ключевые слова:** уборочные машины, транспортные средства, уборочно-транспортная система, позиционирование и мониторинг.

В условиях сохранения и увеличения объемов производства сельскохозяйственной продукции повышение эффективности использования уборочно-транспортной техники является одной из важных задач. Анализ методов уборки сельскохозяйственных культур показывает, что эффективность функционирования технологических уборочно-транспортных систем зависит от многих факторов, но большую значимость имеет организация уборочного процесса и схема взаимодействия транспорта с уборочными машинами [1–7].

Детальное рассмотрение работы уборочно-транспортной системы (УТС) на уборке, транспортировании и разгрузке транспортных средств в отделении приемки послеуборочной обработки зерна (ПОЗ) позволяет выявить ряд нерешенных проблем, связанных с рациональным использованием техники [8]. Следует учесть, что новое поколение машин, применяемых в технологических схемах, оснащенных системами позиционирования, не использует при работе все возможности, заложенные в базовую стоимость, из-за отсутствия опыта и методик, что свидетельствует о недостаточном изучении данного направления [9]. В связи с этим вопросы, связанные с применением средств позиционирования и мониторинга машин на уборке, транспортировании и разгрузке транспортных средств в послеуборочной обработке зерна, являются актуальными.

Цель исследования – определить основные направления повышения эффективности работы уборочно-транспортной системы путем сокращения непроизводительных пробегов машин за счет применения средств позиционирования и мониторинга.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: разработать математическую модель определения времени цикла технических средств в условиях случайного распределения мест выгрузки бункера в кузов транспортного средства с учетом применения позиционирования и мониторинга; определить эффективность использования позиционирования и мониторинга машин на производительность уборочно-транспортной системы при различных схемах транспортного обслуживания.

Объектом исследования является процесс взаимодействия технических средств в подсистемах при различных схемах транспортного обслуживания в условиях позиционирования и мониторинга. Измерение затрат рабочего времени смены машин в уборочно-транспортной системе проводили посредством наблюдений с поэлементным анализом всех составляющих рассматриваемого технологического процесса. Для точности и достоверности результатов исследований при работе уборочно-транспортной системы

применяли современные средства позиционирования, мониторинга и обработки данных.

Исследования проводили в условиях лесостепной зоны Западной Сибири с 2007 по 2015 г. Здесь применяют рассматриваемые уборочно-транспортные комплексы машин, урожайность зерновых составляет до 3,5 т/га, расстояние перевозок до 25 км.

Эффективность работы уборочно-транспортной системы (УТС) позволяет оценить ее производительность ( $W_{УТС}$ ):

$$W_{УТС} = \epsilon_{\text{п}} \sum_{k=1}^n W_{K_k} / W_{ПОЗ}, \quad (1)$$

где  $\sum_{k=1}^n W_{K_k}$  – суммарная теоретическая производительность комбайнов, т/ч;

$\epsilon_{\text{п}} = \sum_{k=1}^m W_{ТС_k} / \sum_{k=1}^n W_{K_k}$  – коэффициент поточности,  $\epsilon_{\text{п}} \in [1, \infty]$ ;  $\sum_{k=1}^m W_{ТС_k}$  – сум-

марная фактическая производительность транспортного средства (ТС), т/ч;  $W_{ПОЗ}$  – производительность отделения приемки ПОЗ, т/ч.

Увеличение выполнения машинами операций при рациональных режимах их работы в течение сменного времени способствует повышению эффективности использования их потенциальных возможностей. При построении уборочно-транспортной системы учитывали не только рациональные параметры уборочных и транспортных машин, но и продолжительность выполняемых входящих в цикл операций, влияющих на функционирование системы [10].

При условии, что уборочные машины не должны простаивать в соответствии с выражением (1), производительность уборочно-транспортной системы будет зависеть от  $\epsilon_{\text{п}}$ . Однако в производственных условиях  $\epsilon_{\text{п}}$  значительно ниже 1. Из этого следует, что целесообразно представленное соотношение исследовать в сложившихся условиях и найти пути его повышения. Для этого необходимо изучить взаимодействие машин при различных способах перевозки зерна от комбайнов.

**Взаимодействие машин при прямоточных перевозках.** Представим уборочно-транспортную систему как замкнутую систему массового обслуживания с временной избыточностью, где подсистема обслуживания – уборочные машины, а транспортные средства – заявки. В уборочно-транспортной системе одновременно не может находиться более  $m$  транспортных средств, поэтому она в момент времени  $t$  может находиться более чем в  $m + 1$  различных состояниях, определяемых числом транспортных средств, находящихся на обслуживании и ожидающих его.

Представим, что транспортные средства поступают в пункт А (край поля или разгрузочная магистраль), где они ожидают заполнения первого бункера комбайна. На поле работает подсистема, состоящая из  $N_n$  уборочных машин (рис. 1). Функционирование данной подсистемы определяется следующими ограничениями: суммарным объемом бункеров комбайнов,

равным объему кузова транспортного средства; временем переезда транспортного средства (ТС) от места стоянки, которое составляет  $T_{ЦТС} = t_{0г} + t_{1г} + t_{2г} + \dots + t_{кг} + \dots + t_{0г}$ .

Тогда время цикла сбора и выгрузки транспортного средства можно определить по следующей формуле:

$$T_{ЦТС} = \frac{L_1}{V_{ТП}} + \frac{Q_{Б_1}}{W_{ВШ_1}} + t_{ОК_2} + \frac{L_2}{V_2} + \frac{Q_{Б_2}}{W_{ВШ_2}} + t_{ОК_n} + \frac{(L_n^Б - L_n^{ПМ})}{V_n} + \frac{Q_{Б_n}}{W_{ВШ_n}} + \frac{L_{ПМ}}{V_{ТП}} + t_B. \quad (2)$$

где  $L_1, L_2, L_1$  – расстояние, пройденное транспортным средством от ПОЗ до первого комбайна, от первого до второго комбайна, от последнего комбайна до ПОЗ, км;  $(L_n^Б - L_n^{ПМ})$  – расстояние, пройденное транспортным средством до  $n$ -го комбайна, км;  $L_n^{ПМ}$ ,  $L_n^Б - L_n^{ПМ}$  – изменение расстояния, проходимого транспортным средством до  $n$ -го комбайна с позиционированием и мониторингом (ПМ), км; без применения ПМ  $L_n^{ПМ} = 0$  км;  $L_n^{ПМ}$  – расстояние, пройденное транспортным средством до  $n$ -го комбайна с ПМ, км;  $L_n^Б$  – расстояние, пройденное транспортным средством до  $n$ -го комбайна без ПМ, км;  $V_{ТП}, V_{ТГ}, V_n$  – средняя скорость транспортного средства порожнего, с грузом, по полю, км/ч;  $Q_{Б_n}$  – объем бункера  $n$ -го комбайна, м<sup>3</sup>;  $W_{ВШ_n}$  – производительность выгрузного шнека  $n$ -го комбайна, м<sup>3</sup>/ч;  $t_{ОК_n}$  – время ожидания намолота бункера последующего комбайна, ч;  $t_B$  – время выгрузки транспортным средством на ПОЗ, ч.

С учетом изложенного выше обозначим  $P_k(t) = (k = 0, 1, 2, \dots)$  как вероятность того, что в момент времени  $t$  в уборочно-транспортной системе

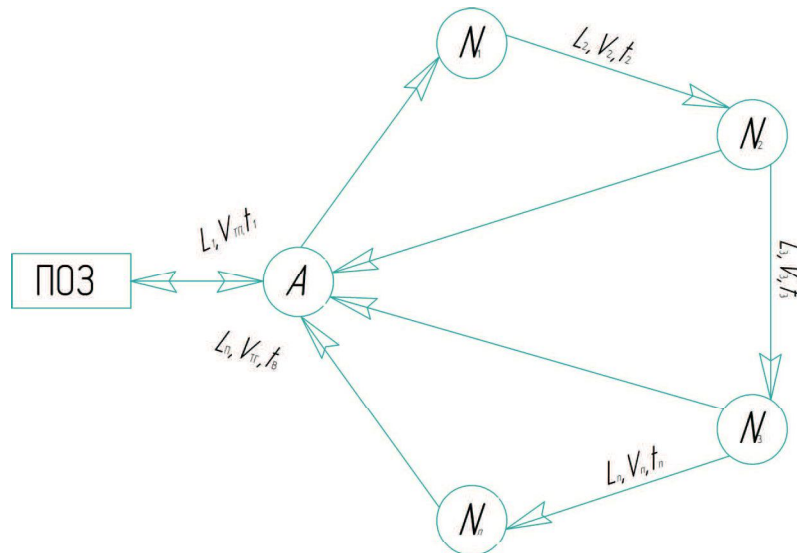


Рис. 1. Схема процесса формирования времени цикла транспортных средств при обслуживании по схеме прямоточных перевозок

находится  $k$  транспортных средств. Опишем состояния, в которых может находиться уборочно-транспортная система, следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dP_0}{dt} &= \Gamma - \mu P_0(t) - \geq P_1(t), \\ \frac{dP_k}{dt} &= \Gamma(m - k) - k \geq P_k(t) + (m - k + 1) \Gamma P_{k-1}(t) + (k + 1) P_{k+1}(t), \\ &\quad \text{при } 0 < k < n, \\ \frac{dP_n}{dt} &= \Gamma(m - n) - n \geq P_n(t) + (m - n + 1) \Gamma P_{n-1}(t) + n \geq P_{n+1}(t), \\ &\quad \text{при } n \leq k < m, \\ \frac{dP_m}{dt} &= \Gamma - \mu P_m(t) - n \geq P_m(t), \text{ при } k = m, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\Gamma$  – интенсивность поступления транспортного средства;  $\geq$  – интенсивность загрузки транспортного средства;  $n$  – уборочные машины, находящиеся в УТС;  $m$  – транспортные средства, находящиеся в УТС;  $k$  – транспортные средства, находящиеся на поле.

Решение системы (3) позволяет определить основные показатели, характеризующие производительность функционирования уборочно-транспортной системы, такие как коэффициенты простоя уборочных машин ( $K_K$ ), транспортных средств ( $K_T$ ) и пропускная способность машин в подсистемах  $\mu = \Gamma / \geq$  ( $\Gamma$  – интенсивность поступления транспортных средств;  $\geq$  – интенсивность загрузки транспортного средства).

В результате исследования зависимости числа простаивающих уборочных машин и транспортных средств от пропускной способности системы с применением ПИМ и без применения получим, что с увеличением  $\mu$  число простаивающих комбайнов снижается, а транспортных средств увеличивается, имеется резерв снижения простоев машин ( $\Delta K_K$ ,  $\Delta K_T$ ) (рис. 2). При значениях  $\mu$  в 1,1–1,23 достигаем состояния системы, когда  $K_K \approx 0$ , а ее

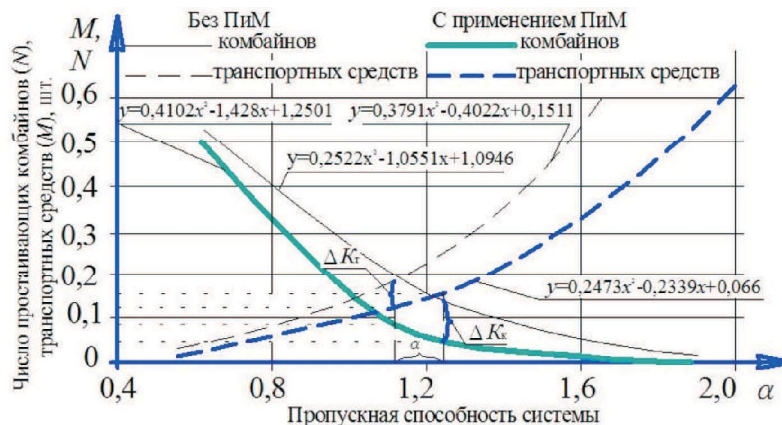


Рис. 2. Расчетная зависимость числа простаивающих комбайнов и транспортных средств от пропускной способности системы с применением ПИМ и без применения

производительность для высокопроизводительных отечественных и зарубежных комбайнов увеличивается за счет роста времени чистой работы.

Такое состояние системы целесообразно рассматривать при ограниченном времени уборочного периода, что характерно для Западной Сибири из-за погодных условий. Построение данных систем влечет за собой увеличение простоев транспортных средств, но обеспечивает бесперебойную работу уборочных машин.

**Взаимодействие машин при перевозках оборотными прицепами.** При организации перевозок по данной схеме взаимодействия машин опишем двумя системами массового обслуживания (рис. 3):

– обслуживание прицепов комбайнами будем рассматривать как систему массового обслуживания с неограниченным потоком заявок, где подсистемой являются комбайны, которые обслуживают тракторные прицепы (рис. 3, а);

– обслуживание прицепов тракторами-тягачами будем описывать системой массового обслуживания с групповым поступлением заявок. Подсистема обслуживания – тракторы-тягачи, заявки – прицепы (рис. 3, б).

Проанализируем работу первой системы, состоящей из  $n$  комбайнов и  $m$  прицепов. При этом время загрузки прицепа будет формироваться следующим образом:

$$t_{3П} = (t_{3К1} + t_{ВК1}) + \dots + (t_{3КN} + t_{ВКN}), \quad (4)$$

где  $t_{3К1}$ ,  $t_{3КN}$  – время заполнения бункера комбайна, соответственно первого и  $N$ -го;  $t_{ВК1}$ ,  $t_{ВКN}$  – время выгрузки бункера комбайна соответственно первого и  $N$ -го.

Возможные состояния системы массового обслуживания опишем системами дифференциальных уравнений, решение которых позволяет определить коэффициенты простоя уборочной машины и транспортного средства по следующим зависимостям:

$$K_K = \frac{n!}{k!} \frac{n!}{k!} \frac{P_0}{n}, \quad (5)$$

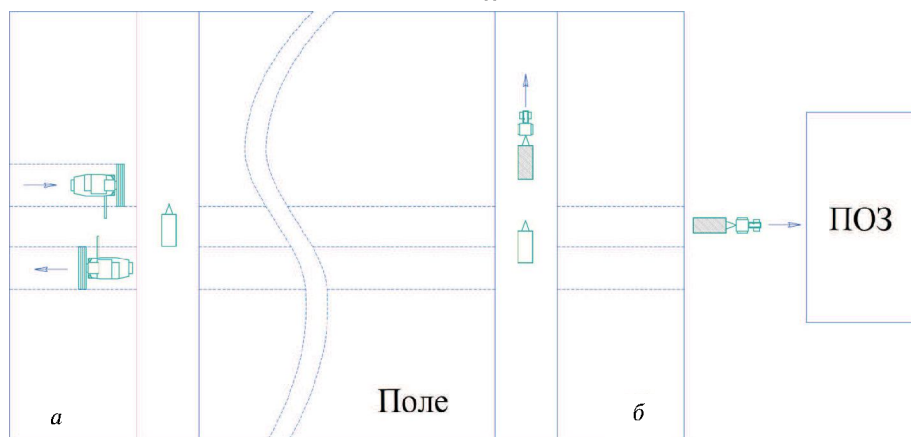


Рис. 3. Схема взаимодействия машин при обслуживании оборотными прицепами: а – взаимодействие комбайна и прицепа; б – взаимодействие трактора-тягача и прицепа

$$K_T = \frac{n \cdot N_3}{n} + 1 \cdot \frac{\sum_{k=0}^n k P_k + \sum_{k=m+1}^n n P_k}{n} \quad (6)$$

Рассмотрим работу системы, состоящей из двух комбайнов Енисей-200М, одного Т-150К и двух прицепов ОЗТП-9557, при урожайности зерновых 1,2–3,2 т/га. Зависимости  $K_K$  и  $K_T$  от расстояния перевозки зерна с поля на ток при урожайности 1,2 т/га приведены на рис. 4.

Анализ полученных зависимостей показывает, что при увеличении расстояния перевозок более 5 км коэффициент простоя комбайнов значительно возрастает, а простои тракторов-тягачей в ожидании нагруженного прицепа будут стремиться к нулю. При этом применение ПИМ снижает простои технических средств ( $K_K$ ,  $K_T$ ). Таким образом, данная схема транспортного обслуживания рациональна на малых расстояниях перевозок.

Рассматривая зависимость среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ) времени цикла от изменения расстояния перевозок ( $L$ ), видим, что с увеличением  $L$  растет  $\sigma$  (рис. 5). Пиковое увеличение  $\sigma$  происходит для тракторного поезда при  $L > 5$  км, для КамаЗ – 55111 + СЗАП-85514 при  $L > 15$  км и для Renault premium lander 440 DXI + Тонар 95234-0000060 при  $L > 20$  км.

Исследования прямоточных перевозок показали, что с увеличением числа транспортных средств в системе коэффициент простоя уборочных машин, как теоретический, так и экспериментальный, снижается, а транспортных средств – соответственно возрастает (рис. 6).

Максимальное значение производительности уборочно-транспортной системы достигается при  $K_K \rightarrow 0$ , а дальнейшее увеличение числа транспортных средств не приводит к росту  $W_{УТС}$ . Рациональное число транспортных средств в системе соответствует минимуму простоев комбайнов:  $5 > K_K m_0$ , коэффициент поточности  $\Theta = 0,87$ , при этом производительность уборочной транспортной системы на 7–11 % ниже максимальной расчетной.

Анализ данных по непроизводительным пробегам при случайном распределении мест намолота бункера с использованием систем спутниковой

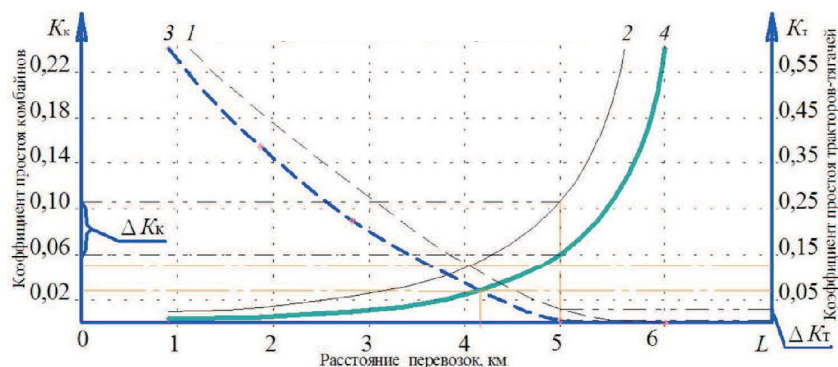


Рис. 4. Расчетное распределение коэффициента простоя комбайнов (2,4) и трактора-тягача (1,3) от расстояния перевозок: 1, 2 – без применения ПИМ; 3, 4 – с применения ПИМ

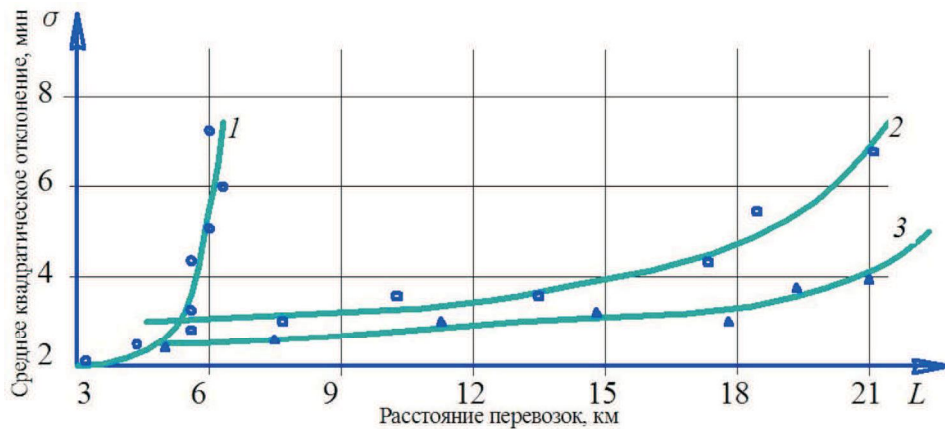


Рис. 5. Зависимость среднего квадратического отклонения времени цикла от изменения расстояния перевозок:

1 – E-150K + ОЗТП-9557; 2 – Камаз – 55111 + СЗАП-85514; 3 – Renault premium lander 440 DXI + Тонар 95234-0000060

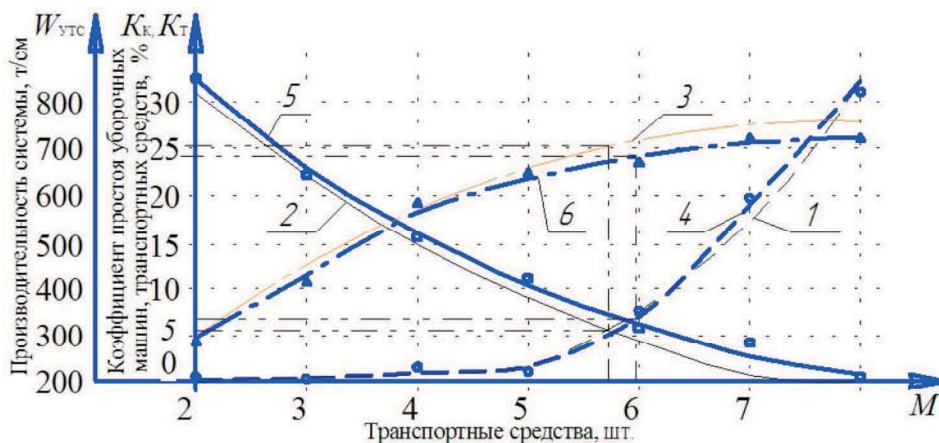


Рис. 6. Зависимость теоретических и экспериментальных показателей функционирования уборочной транспортной системы от изменения числа транспортных средств в системе:

теоретические значения: 1 – коэффициент простоя транспортных средств; 2 – коэффициент простоя уборочных машин; 3 – производительность системы, т/см;  
экспериментальные значения: 4 – коэффициент простоя транспортных средств; 5 – коэффициент простоя уборочных машин; 6 – производительность системы, т/см

навигации и мониторинга позволили выявить рациональные варианты прокладки разгрузочных магистралей. Так, при длине гона менее 2000 м и урожайности не более 2 т/га целесообразно прокладывать одну разгрузочную магистраль с координатами  $0,5l_p$  (где  $l_p$  – рабочая длина гона), при длине гона от 2000 м и урожайности более 2 т/га – три магистрали, одна из которых по середине загона будет иметь координаты  $0,5l_p$ , а боковые, расположенные по краям загона, – на расстоянии  $0,17l_p$ , что позволяет в 3 раза сократить средние пробеги машин по полю.

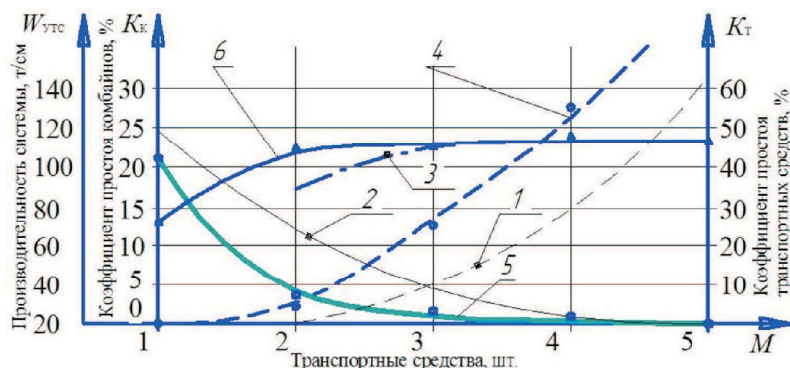


Рис. 7. Зависимость эксплуатационных показателей уборочной транспортной системы от изменения числа транспортных средств при перевозках оборотными прицепами:

прямоточные перевозки: 1 – коэффициент простоя транспортных средств; 2 – коэффициент простоя уборочных машин; 3 – производительность системы, т/см; перевозки оборотными прицепами: 4 – коэффициент простоя транспортных средств; 5 – коэффициент простоя уборочных машин; 6 – производительность системы, т/см

Зависимость коэффициентов простоя уборочных машин и транспортных средств от числа транспортных средств в системе показала, что при перевозках оборотными прицепами требуемое число транспортных средств (тракторов-тягачей) на 25 % меньше, чем при прямоточных (рис. 7).

Анализ зависимостей показывает, что транспортное обслуживание уборочных машин с применением систем позиционирования и мониторинга при транспортном обслуживании оборотными прицепами позволяет сделать работу уборочных машин частично не зависящей от работы тракторов-тягачей, обеспечивая минимальный коэффициент простоя машин при расстоянии перевозок до 5 км  $K_k \leq 0,05$ ,  $K_t \leq 0,10$ , коэффициент поточности  $\epsilon = 0,93$ , что дает возможность повысить производительность уборочной транспортной системы на 4,9 %.

### ВЫВОДЫ

1. Определены пути повышения производительности системы на уборке зерновых культур за счет применения средств позиционирования и мониторинга машин на поле.

2. С применением средств позиционирования и мониторинга разработана математическая модель, учитывающая влияние непроизводительных пробегов машин в подсистемах при случайном распределении мест окончания намолота бункера комбайна, которая позволяет определить время цикла технических средств.

3. При прямоточных перевозках зерна применение систем позиционирования и мониторинга машин приводит к сокращению взаимообусловленных простоев машин до 12–23 %, а производительность уборочной транспортной системы на 7–11 % ниже максимальной расчетной, рациональное расстояние перевозок при этом не более 12–15 км.

4. При использовании оборотных прицепов работа комбайнов более независима от транспорта, а число тракторов-тягачей сокращается на чис-

ло уборочных машин в системе. Данная технологическая схема перевозок целесообразна на расстоянии до 5 км, при этом производительность уборочной транспортной системы повышается на 4,9 %.

5. Прокладка разгрузочных магистралей при случайном распределении мест намолота бункера комбайна с использованием средств позиционирования и мониторинга технических средств в 3 раза сокращает непроизводительные пробеги машин по полю.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурьянов А.И. Технология, организация и планирование перевозок грузов на сельскохозяйственных предприятиях. – зерноград, 2010 – 267 с.
2. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е. Автотранспорт для перевозки сельскохозяйственных грузов // С.-х. машины и технологии. – 2011. – № 2. – С. 19–22.
3. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Рожин В.Ф. Оптимизация потребности уборочного комплекса в транспортных средствах // Техника в сел. хоз-ве. – 2010. – № 6. – С. 28–31.
4. Измайлов А.Ю. Транспортное обеспечение уборочных комплексов // Техника в сел. хоз-ве. – 2007. – № 3. – С. 16–18.
5. Измайлов А.Ю. Моделирование погрузочно-транспортных процессов при уборке зерновых культур // Техника в сел. хоз-ве. – 2007. – № 3. – С. 33–38.
6. Ловчиков А.П. Организация уборочно-транспортных комплексов с иерархическим технологическим контролем // Техника в сел. хоз-ве. – 2006. – № 2. – С. 28–31.
7. Рунчев М.С., Бурьянов А.И. Взаимодействие зерноуборочной и транспортной линий // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. – 1975. – № 1. – С. 31–34.
8. Тихоновский В.В. Проблемы повышения эффективности функционирования уборочно-транспортно-заготовительной системы на уборке зерновых в Западной Сибири // Научно-техническое обеспечение процессов и производств АПК: материалы науч.-практ. конф. – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2014. – 200 с.
9. Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Бисенов Г.С. Перспективы использования навигационных систем ГЛОНАСС/GPS при транспортном обеспечении сельскохозяйственных организаций // С.-х. машины и технологии. – 2013. – № 2. – С. 16–19.
10. Тихоновский В.В., Блынский Ю.Н. Повышение эффективности функционирования уборочно-транспортной системы на уборке зерновых // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2013. – № 2. – С. 22–24.
11. Тихоновский В.В. Техничко-технологическое обеспечение уборки зерновых на основе позиционирования и мониторинга: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2015. – 161 с.

*Поступила в редакцию 27.06.2016*

**V.V. TIKHONOVSKIY, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor,  
YU.N. BLYNSKIY, Doctor of Science in Engineering, Professor,  
YU.A. GUSKOV, Doctor of Science in Engineering, Chair Holder**

*Novosibirsk State Agrarian University  
160, Dobrolyubova St, Novosibirsk, 630039, Russia  
e-mail: vitalad@ya.ru*

#### **IMPROVING THE OPERATING EFFICIENCY OF MACHINES AT GRAIN HARVESTING IN SIBERIA**

There were identified ways to improve the performance of the harvesting-transportation system for harvesting grain crops by using means for positioning and monitoring machines on a field. Studies were conducted in the forest-steppe zone of Western Siberia from 2007 to 2015 throughout nine harvesting periods. Grain yields amounted to 3.5 tonnes per ha, transportation distances up to 25 km. Taking into account peculiarities of the harvesting-transportation system due to remoteness of fields from post-harvesting grain handling stations, loading and unloading times, an expression was

obtained to determine the cycle time of transport facilities for a specific technological scheme using positioning and monitoring means. The use of systems for positioning and monitoring the technical means during harvesting and transportation makes it possible to reduce downtimes, and enhance the system performance. In case of direct-flow grain transportations, the use of machine positioning and monitoring systems results in 12–23% reduction in interdependent idle times of machines; the performance of harvesting-transportation system at the same time is 7–11% lower than the estimated maximum, and rational transportation distances are no more than 12–15 km. When dump trailers are used, the operation of combine harvesters is more independent of transport facilities, and the number of truck tractors decreases by the number of harvesters in the system. This technological scheme of transportation is expedient at distances of up to 5 km; with that, the performance of the harvesting-transportation system increases by 4.9%. With a random distribution of grain threshing places, the building of unloading lines with the use of positioning and monitoring means three times reduces ineffective runs of machines on the field.

**Keywords:** harvesting machines, transport facilities, harvesting-transportation system, positioning and monitoring.

---

УДК 62-932.4

**С.А. БУЛГАКОВ, старший преподаватель,  
Д.М. ВОРОНИН, доктор технических наук, профессор**

*Новосибирский государственный аграрный университет*  
630039, Россия, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160  
e-mail: Bulgakoff-serg@mail.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ ПОСЛЕ ПУСКА В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР**

Исследован процесс изменения теплового состояния двигателя и закономерности процесса теплообмена в двигателе в режиме работы «свободный разгон – выбег» в условиях отрицательных температур. Осуществлены поисковые эксперименты, в которых изучено влияние режимов прогрева двигателя в различных условиях после пуска на время прогрева. Исследование проведено на бензиновом двигателе ЗМЗ-406 с распределенным впрыском топлива. Приведена математическая модель зависимости времени прогрева двигателя после пуска в условиях отрицательных температур от влияния температуры окружающей среды; температуры двигателя до начала прогрева, представленной температурой охлаждающей жидкости; частоты вращения коленчатого вала. Определены уровни варьирования этих факторов. Все они являются значимыми и оказывают существенное влияние на функцию отклика. Анализ экспериментальных данных представлен в виде уравнения регрессии второго порядка. Согласно модели построены поверхности отклика для визуальной оценки влияния того или иного параметра на изменение общего времени прогрева. Экспериментально установлено, что наибольшее воздействие на общее время прогрева в исследуемом диапазоне имеет частота вращения коленчатого вала; температура охлаждающей жидкости также оказывает значительное влияние на общее время прогрева, а температура окружающего воздуха воздействует в наименьшей степени. Приведена оценка применяемого способа прогрева бензинового двигателя в условиях отрицательных температур.

**Ключевые слова:** прогрев двигателя, послепусковой прогрев, время прогрева, оптимизация прогрева, интервал варьирования.

Зимой существенно изменяется температурный режим двигателей автомобилей, что объясняется повышением теплоотдачи с поверхности агрегата в окружающую среду. В связи с этим резко возрастает время прогрева