

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ РАБОТ

Т. А. НЕПАРКО (УО БГАТУ)

Сложность сельскохозяйственного производства требует включения в сферу управления отраслью всех современных научных достижений в области экономики, автоматике и вычислительной техники. Особенно это касается управления системами, функционирующими в условиях постоянной необходимости принятия и выполнения оперативных решений. Примером таких систем могут служить машинно-тракторные агрегаты (комплекс машин), функция которых, как правило, реализуется в условиях достаточно жестких ограничений на сроки проведения работ, допустимые потери и ресурсы производительных сил (труд, техника).

На всех этапах планирования работы агрегатов и комплексов машин в сельскохозяйственных предприятиях наиболее приемлемо использование математического моделирования, основанного на теории исследования операций и позволяющего описать все основные связи, характеризующие производственный процесс, а также раскрыть его внутреннюю логику, обнаружить качественно новые связи и закономерности.

Механизированное производство сельскохозяйственных культур характеризуется тесной и сложной взаимосвязью между технологическими, транспортными и погрузочно-разгрузочными операциями.

При непрерывном взаимодействии машинно-тракторных агрегатов (МТА) происходит постоянная передача технологического материала обслуживающему МТА, которая может быть прервана лишь по технологическим и техническим причинам. Непрерывное взаимодействие осуществляется как с остановками основного агрегата (при отсутствии обслу-

живающих машин), так и без остановок (при накоплении технологического материала в бункере основного агрегата). Примером может служить взаимодействие копателей-погрузчиков с транспортными средствами, картофелеуборочных комбайнов, имеющих бункеры-накопители, при подаче клубней непосредственно в рядом идущее транспортное средство.

Дискретное взаимодействие агрегатов характеризуется тем, что передача технологического материала осуществляется порциями, равными вместимости технологических емкостей (бункеров - накопителей), и в отдельные моменты времени, т.е. дискретно, а в остальное время основные и обслуживающие агрегаты работают автономно. Примером может служить взаимодействие посадочных агрегатов и загрузчиков картофеле-сажалок, агрегатов по внесению удобрений и погрузчиков.

При таких взаимодействиях характерно групповое использование техники при согласовании производительностей в поточных процессах и цикличности повторяющихся элементов времени транспортных единиц (ТЕ) и основных агрегатов в комплексах, так как при этом намного облегчается контроль за выполнением операций, более оперативно применяются меры в случае неисправностей, что позволяет улучшить использование фонда времени всех машин комплекса в течение смены и повысить их производительность.

Функционирование основных агрегатов в начале времени смены практически не отличается от одиночной работы машинно-тракторных агрегатов [1]. Однако параметры и режимы работы отдельных машин и агрегатов и параметры всего комп-

лекса взаимозависимы и оказывают влияние друг на друга. Поэтому оптимизацию параметров и режимов работы отдельных МТА следует производить как с учетом природно-производственных условий их использования, так и с учетом типа поточного процесса.

Основной характеристикой поточных процессов, связанных с транспортом, является время цикла  $T_{\text{ц}}$  поточного процесса:

при дискретном взаимодействии агрегатов (посадочные агрегаты, выгрузка бункера на остановке и др.)

$$T_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ТЕ}} \lambda_{\text{ТЕ}} \gamma}{W_{\text{ч}} H N} + t_{\text{б}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{ТЕ}}$  - объем кузова транспортной единицы, м<sup>3</sup>;

$\lambda_{\text{ТЕ}}$  - коэффициент наполнения кузова;

$\gamma$  - плотность технологического материала, т/м<sup>3</sup>;

$H$  - урожайность (нормы высева, внесения материала), т/га;

$N$  - число основных агрегатов в группе;

$W_{\text{ч}}$  - производительность основных агрегатов за час технологического времени без учета согласования их работы с транспортной единицей, га/ч;

$t_{\text{б}}$  - время на погрузку (разгрузку) транспортной единицы, ч,

при непрерывном взаимодействии агрегатов (без бункера) (копатели - погрузчики и др.)

$$T_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ТЕ}} \lambda_{\text{ТЕ}} \gamma}{W_{\text{ч}} H N}, \quad (2)$$

при непрерывном взаимодействии агрегатов (с бункером) (картофелеуборочные комбайны и др.)

$$T_{\text{ч}} = \frac{V_{TE} \lambda_{TE} \gamma}{W_{\text{ч}} H N} \left[ 1 + \frac{W_{\text{ч}} H t_{\text{б}}}{V_o \lambda_o \gamma} \right], \quad (3)$$

где  $V_o$  - объем технологической емкости основного агрегата, м<sup>3</sup>;

$\lambda_o$  - коэффициент наполнения технологической емкости.

Из выражений (1)-(3) вытекает, что чем больше число основных агрегатов  $N$  в комплексе, выше их производительность  $W_{\text{ч}}$  и меньше грузоподъемность транспортной единицы, тем меньше времени простоя на поле транспорт в ожидании погрузки (разгрузки). Однако необходимо учитывать, что число одновременно используемых основных агрегатов не может быть безграничным. Так как чем больше основных агрегатов будет работать в одном комплексе, тем больше времени будет теряться на организационные неувязки непосредственно на поле (подъезд транспортной единицы к основным агрегатам с полным бункером (пустой технологической емкостью), переезды агрегатов с участка на участок и т.д.).

Не менее важной характеристикой поточного процесса является и время оборота транспортной единицы  $T_o$ , которое для поточных процессов вида (1) и (3) определяется по выражению

$$T_{o_{\text{к}}} = \frac{V_{TE} \lambda_{TE}}{V_o \lambda_o} (t_{\text{б}} + t_{\text{ож}}) + \frac{2l_{\text{не}}}{v_{\text{не}}} + A,$$

а для процессов вида (2) по выражению

$$T_o = \frac{V_{TE} \lambda_{TE} \gamma}{W_{\text{ч}} H} + t_{\text{ож}} + \frac{2l_{\text{не}}}{v_{\text{не}}} + A,$$

где  $l_{\text{не}}$  - среднее расстояние перевозки груза, км;

$v_{\text{не}}$  - средняя техническая ско-

рость движения транспортной единицы с грузом и без груза, км/ч;

$A$  - время разгрузки (погрузки) транспортной единицы, взвешивания, оформления документов и др., ч.

Необходимое для обслуживания

$N$  основных агрегатов количество транспортных единиц определится по формуле [2, 3]:

$$N_{TE} = \frac{T_o}{T_{\text{ч}}}.$$

Однако потребное количество транспортных средств лишь изредка может получиться целым, поэтому, в силу неделимости выбранных транспортных единиц, возникает необходимость округления к ближайшему целому числу.

Округление необходимого числа транспортных единиц  $N_{TE}$  к ближайшему большему целому числу " $D$ "

$$N_{TE}' = \frac{T_o}{T_{\text{ч}}} \uparrow = D$$

ведет к простоям обслуживающего транспорта, а суммарные потери времени транспортных единиц определяются по выражению

$$t_{\text{ном}} = k' D (T_o' - T_o),$$

где  $T_o'$  - фактическое время оборота транспортных единиц при округлении необходимого их числа к ближайшему большему целому, ч;

$k'$  - количество оборотов (рейсов) каждой транспортной единицы за время обработки участка площадью  $F$ .

Поскольку при округлении необходимого числа транспортных единиц к ближайшему большему целому числу все возможные потери времени переносятся на транспорт, то производительность основных агре-

гатов  $W_{\text{ч}}'$  будет равна их технической возможной (с учетом прочих элементов времени смены), т.е.

$$W_{\text{ч}}' = W_{\text{ч}},$$

а производительность транспортных средств в соизмеримых единицах

$$W_{\text{ч}_{TE}}' = \frac{V_{TE} \lambda_{TE} \gamma}{H T_o'}.$$

Округление необходимого количества транспортных единиц к ближайшему меньшему числу " $I$ "

$$N_{TE}'' = \frac{T_o}{T_{\text{ч}}} \downarrow = I$$

приведет к простоям основных агрегатов в ожидании обслуживающего транспорта, а их суммарные потери времени определяются по выражению

$$t_{\text{ном}} = k'' N (T_o - T_o''),$$

где  $T_o''$  - необходимое время оборота транспортных единиц, при котором не было бы простоев основных агрегатов, ч.

Поскольку возможности уменьшения времени оборота  $T_o$  до  $T_o''$  ограничиваются по техническим причинам, то время оборота транспортных единиц остается равным  $T_o$ , что и приводит к простоям основных агрегатов.

Фактическая производительность основных агрегатов

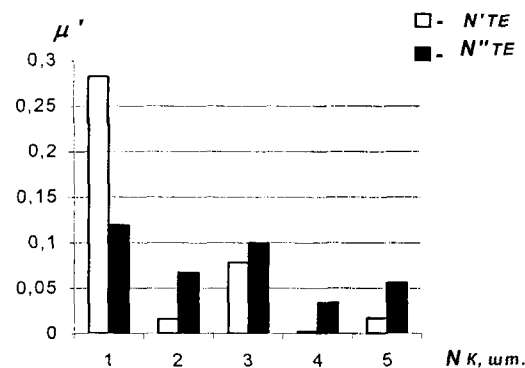
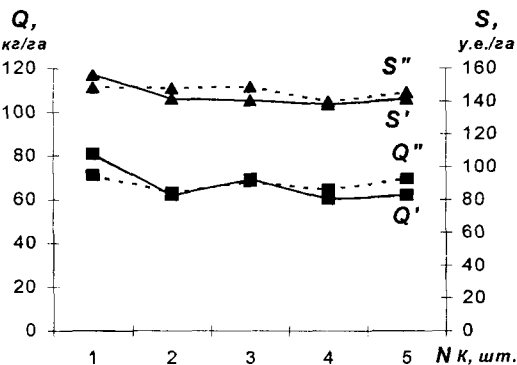
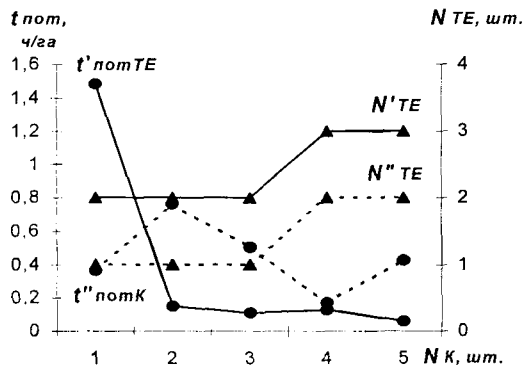
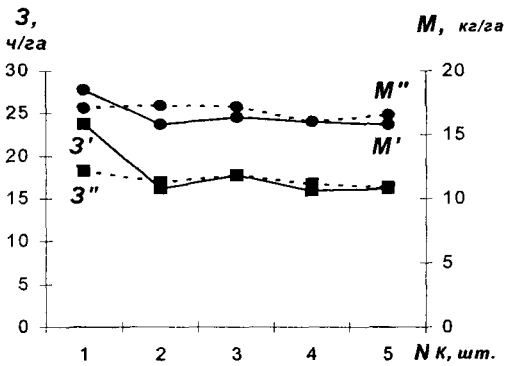
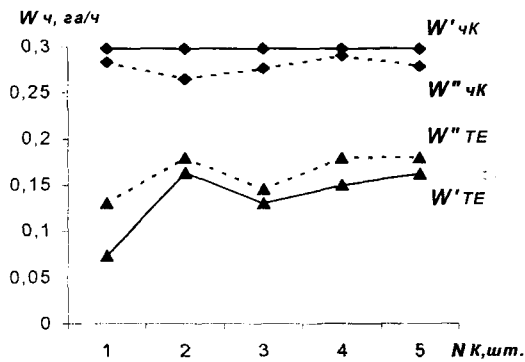
$$W_{\text{ч}}'' = W_{\text{ч}} \left( 1 - \frac{W_{\text{ч}} t_{\text{ном}}}{F} \right) \xi,$$

при  $\xi \leq 1$

и транспортных средств в соизмеримых единицах

$$W_{\text{ч}_{TE}}'' = \frac{V_{TE} \lambda_{TE} \gamma}{H T_o}.$$

Коэффициент  $\xi$  учитывает недостаток транспортных единиц на поле и определяет возможные простои основных агрегатов в том случае, если время наполнения бункера основного агрегата будет меньше



— округление к большему числу транспортных единиц  
 - - - округление к меньшему числу транспортных единиц

Технико-экономические показатели и обобщенная оценка комплекса картофелеуборочных агрегатов при поточно-групповой организации работ:  
 Wч - часовая производительность агрегата, га/ч, tпот - потери времени, ч.  
 NTE - количество транспортных единиц, шт., Z - затраты труда, ч/га,  
 M - материалоемкость, кг/га, Q - затраты топлива, кг/га, S - прямые эксплуатационные затраты, у.е./га.

времени, необходимого для возвращения одного из транспортных средств на поле. При величине коэффициента  $\xi \leq 1$ , он ограничивается значением равным единице, что говорит о достаточном или излишнем

количестве транспорта. Необходимость округления числа транспортных агрегатов к ближайшему большему или меньшему целому числу определяем по интегральному критерию относительного удаления от цели [1]

$$\mu' = \frac{N_{D_{opt}}^H + M^H + Q^H + Z^H + S^H}{N_{D_{opt}}^O + M^O + Q^O + Z^O + S^O} - 1 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $N_{D_{norm}}$  - относительное число нормо-смен;

$M$  - материалоемкость, кг/га;

$Q$  - затраты топлива, кг/га;

$Z$  - затраты труда, ч/га;

$S$  - прямые эксплуатационные затраты, у.е./га.

Индекс "н" обозначает нормирование, а индекс "о" - значение критерия идеального варианта из множества альтернативных вариантов (минимальное).

В результате моделирования поточных процессов из вариантов выходного множества альтернативных вариантов выбираем наиболее рациональный состав основных агрегатов, режимы работы и их число в группе, и число обслуживающих транспортных агрегатов в зависимости от природно-производственных условий использования техники в сельскохозяйственном предприятии.

Алгоритм выбора рационального состава и режимов работы МТА и комплексов машин реализован с помощью программных средств для ПЭВМ типа IBM PC AT/XT. Алгоритм предусматривает следующую последовательность решения задачи:

1. Формирование начального множества альтернативных вариантов, исходя из условий модельного или конкретного сельскохозяйственного предприятия.

2. Сужение начального множества до выходного множества альтернативных вариантов (ВМА), используя метод Парето [4] и ограничения: выполнение операции в наиболее целесообразные агротехнические обоснованные сроки; ограничение числа машин определенных марок их наличием на предприятии.

3. Сравнение вариантов из ВМА по величине относительного удаления от цели (4) и выбор рационального варианта, которому соответствует минимальное значение удаления  $\mu'$ .

По данной методике нами был произведен выбор рационального размера комплексов машин на ком-

байновой уборке картофеля с отвозкой клубней автомобильным транспортом на расстояние 5 км. Расчеты производились для картофелеуборочного комбайна Л-605 при наличии в одной группе (на одном поле) от одного до пяти уборочных МТА. В качестве транспортного агрегата предполагалось использовать автомобиль-самосвал ЗИЛ-ММЗ-554М. При этом приняли площадь поля 50 га, урожайность картофеля 25 т/га, агротехнический срок уборки 15 дней (с 1 по 15 сентября).

Как отмечалось ранее, функционирование основных агрегатов комплекса машин в начале времени смены практически не отличается от одиночной работы МТА, поэтому выбор рациональных параметров и режима работы картофелеуборочных комбайнов на данном этапе производился с учетом природно-производственных условий, а выбор рациональных размеров комплексов машин – с учетом типа поточного процесса. Результаты обобщенной оценки представлены на рисунке.

В результате исследований установлено, что работа картофелеуборочных комбайнов по четыре в группе, по сравнению с одиночным использованием, позволяет снизить показатель обобщенной оценки почти на 100% (с 0,282 до 0,002 при

$$N'_{К} = 4, N'_{ТЕ} = 3$$

при избытке (сплошные линии) или на 71,43% (с 0,119 до 0,034 при  $N''_{К} = 4, N''_{ТЕ} = 2$ ) при недостатке транспортных средств (шпиховые линии), что объясняется неполным использованием фонда времени транспортных агрегатов и значительным снижением их производительности. Так, например, производительность транспортного агрегата при обслуживании одного комбайна равна 0,073 га/ч, что составляет только 40,78% от максимально возможной его производительности, которой транспортный агрегат может достигнуть при обслуживании пяти уборочных МТА в группе.

Как недостаток, так и избыток обслуживающих транспортных средств приводит к росту затрат на единицу выполненной работы, однако в подавля-

ющем большинстве случаев округление числа транспортных единиц к ближайшему большему целому числу приводит к более низким ресурсозатратам, чем планирование недостатка транспорта путем округления к ближайшему меньшему целому числу, так как это приводит к росту потерь рабочего времени уборочных агрегатов, что в стоимостном выражении значительно дороже простаивающих транспортных средств. Таким образом, выбор рациональных размеров комплексов машин позволяет получить экономию ресурсов при уборке единицы площади картофеля за счет более полного использования фонда времени уборочных и транспортных агрегатов и, следовательно, повышения их производительности.

#### **ВЫВОДЫ**

1. Разработанный алгоритм и программа расчета на ПЭВМ положены нами в основу оптимизации машинно-тракторных агрегатов и комплексов машин в природно-производственных условиях Республики Беларусь и конкретных условиях сельскохозяйственных предприятий.

2. Разработанная методика выбора рациональных комплексов машин и полученные критериальные математические модели могут быть использованы при проектировании материально-технической базы и производственных процессов, планировании использования технического и трудового потенциала, организации и нормировании работ, управлении производственными процессами в сельскохозяйственных предприятиях.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Непарко Т.А. Прогнозирование рационального состава машинно-тракторных агрегатов // Агротехника.- 2004.- № 2.- С. 30-36.
2. Будзько Ю.В., Добыш Г.Ф. Эксплуатация машинно-тракторного парка: Учеб.пособие для с.-х. вузов/ А.П. Ляхов, А.В. Новиков, Ю.В. Будзько, П.А. Кункевич и др.; Под ред. Ю.В. Будзько.- Мн.: Ураджай, 1991.
3. Нагірний Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень.- Київ.: Урожай, 1994.