

УДК 631.3.072

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ

Непарко Т.А.<sup>1</sup>, к.т.н.

Болтянская Н.И.<sup>2</sup>, к.т.н.

Терентьев В.В.<sup>3</sup>, к.т.н., доцент,

Прокопенко И.П.<sup>1</sup>, магистрант

<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь,  
Россия

<sup>3</sup>Рязанский государственный агротехнологический университет  
имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

**Аннотация.** В статье раскрыт методический подход к минимизации общих потерь для уборочно-транспортной поточной линии за счет исключения простоев техники, уменьшения ущерба от снижения производительности машин из-за несогласованности работы уборочно-транспортного комплекса.

**Ключевые слова:** потери, транспорт, комплекс, линия, несогласованность, производительность, простои.

**Постановка проблемы.** Удельный вес затрат на погрузочно-транспортные работы при выполнении сложных производственных операций при возделывании зерновых культур составляет 15-20%. Для оценки эффективности функционирования погрузочно-транспортных средств предложен комплексный критерий, учитывающий эксплуатационно-экономические и агротехнические

показатели качества работы. Поточная линия уборки зерновых культур рассмотрена, как отдельные технологические операции (подсистемы  $i = 1, 2, \dots, m$ ), выполняемые последовательно комплексом машин. Такая линия обладает высокой стохастичностью свойств и режимов функционирования. Замкнутость комплекса машин представлена как многофазная система с ограниченным распределением ресурсов, критерием оптимизации которой служит минимализация общих потерь, как от простоя уборочного комплекса, так и ущерба от объема невыполненной работы из-за снижения производительности машин.

**Основные материалы исследования.** Пусть  $\Theta$  – ожидаемый валовой сбор биологического урожая и уборочно-транспортный комплекс разделен на  $i$  подсистемы. Потери, связанные с функционированием уборочной подсистемы ( $i = 1$ ), составят

$$P_1 = \Theta - Q_1 D = \Theta - W_1 n_1 \tau_1 T_{\text{см}} D,$$

где  $Q_1$  – ежедневный сбор зерна в  $i = 1$  подсистеме;

$D$  – агротехнические сроки уборки;

$W_1$  – фактическая часовая производительность;

$n_1$  – количество уборочных агрегатов;

$\tau_1$  – коэффициент использования времени смены подсистемы;

$T_{\text{см}}$  – продолжительность смены.

Потери, связанные с функционированием погрузочно-разгрузочных ( $i = 2$ ) подсистем,

$$P_2 = D(Q_1 - Q_2) = D \left[ Q_1 - (V_{\text{т}} \lambda_{\text{т}} \gamma \tau_2 T_{\text{см}} n_2 / t_{\text{ц2}}) \right], \quad (1)$$

потери, связанные с функционированием транспортной ( $i = 3$ ) подсистемы,

$$P_3 = D(Q_2 - Q_3) = D \left[ Q_2 - (V_{\text{к}} \lambda_{\text{к}} \gamma \tau_3 T_{\text{см}} n_3 / t_{\text{ц3}}) \right], \quad (2)$$

где  $Q_2, Q_3$  – ежедневный объем погрузки-разгрузки и транспортных работ;

$V_T, V_K$  – объем технологической емкости и кузова транспортного средства;

$\lambda_T, \lambda_K$  – коэффициент использования объема технологической емкости и кузова;

$\tau_2, \tau_3$  – коэффициент использования времени смены подсистемы;

$\gamma$  – объемная масса материала;

$n_2, n_3$  – количество погрузочно-разгрузочных и транспортных средств;

$t_{ц2}, t_{ц3}$  – продолжительность одного погрузочно-разгрузочного и транспортного цикла.

Чтобы потери  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  были минимальными, должно выполняться условие

$$\min \Pi_2 = \max(V_T \lambda_T \gamma \tau_2 T_{см} n_2 / t_{ц2}), \quad (3)$$

$$\min \Pi_3 = \max(V_K \lambda_K \gamma \tau_3 T_{см} n_3 / t_{ц3}). \quad (4)$$

Естественно, что чем меньше продолжительность цикла, тем меньше надо погрузочно-разгрузочных и транспортных средств в  $i=2$  и  $i=3$  подсистемах и тем легче при заданном составе машин выполнить запланированный объем работ. Для выбора оптимальной стратегии управления уборочно-транспортным процессом при заданной интенсивности грузопотока определим, какие задачи управления строятся при варьировании численных значений переменных в выражениях (3) и (4). Поскольку величины  $V_T \lambda_T \gamma$  и  $V_K \lambda_K \gamma$  для выбранных погрузочно-разгрузочных средств постоянны, то оптимизация продолжительности цикла сводится к оптимизации скорости движения и расстояния условного рейса. Оптимизация средней скорости перевозок сводится в основном к сокращению времени простоев в ожидании обслуживания:

$$T_{\text{пр}} = N \sum_{i=1}^m t_{\text{ож } i \text{ ср}}, \quad (5)$$

где  $N = \Theta / (V_{\kappa} \lambda_{\kappa} \gamma)$  – плановое количество рейсов транспортных средств за  $T_a$ ;  $t_{\text{ож } i \text{ ср}}$  – среднее время ожидания обслуживания транспортных средств в  $i$ -й подсистеме.

Общее время перемещения собранного урожая в поточной линии в течение агротехнического срока или суммарная производительность должны быть одинаковы во всех подсистемах:

$$W_i = W_{i+1} = \dots = W_m. \quad (6)$$

Оптимальное время работы каждой подсистемы — необходимый, но недостаточный критерий оптимизации функционирования поточной линии. Минимум потерь достигается применением гибких связей технологических звеньев в расчете на возможные отказы. Функционирование уборочного комплекса ( $i=1$  и  $i=2$  подсистем) в реальных условиях характеризуется жесткой связью. Тогда необходимое количество агрегатов  $n_2$  в  $i=2$  подсистеме:

$$n_2 \geq W_{\text{н } 1} / (W_{\text{п } 2} p_{\text{п } 2}) + z' / (W_{\text{р } 2} p_{\text{р } 2}), \quad (7)$$

где  $W_{\text{н } 1}$  – нормативная часовая производительность уборочного отряда;

$W_{\text{п } 2}$  – средняя эксплуатационная производительность погрузочно-разгрузочного средства на уборке зерновой части урожая;

$p_{\text{п } 2}$  – вероятность того, что все погрузочно-разгрузочные средства заняты в одном уборочном цикле;

$z'$  – количество рулонов (тюков) соломы в поле;

$W_{\text{р } 2}$  – средняя эксплуатационная производительность погрузочно-разгрузочного средства на уборке незерновой части урожая;

$p_{p2}$  – вероятность того, что погрузочно-разгрузочные средства заняты на уборке незерновой части урожая.

Потребность в транспортных средствах  $n_3$  для поддержания стационарного режима уборочного комплекса [2]:

$$n_3 = \ln p_{от} / \ln(W'_2 / W_3) - \ln((W'_2 / W_3) + 1), \quad (8)$$

где  $W'_2$  – масса зерна (незерновой части урожая), убранного в единицу времени;

$W_3$  – цикловая производительность транспортной единицы.

Принимая во внимание, что транспортные средства выступают в роли связующего звена функционирования всех последующих подсистем ( $i = 4, 5, \dots, m$ ), необходимо обеспечить их взаимодействие по производительности согласно уравнению (6) и выбор оптимального состава технических средств для их безпростойной работы. Решение задачи сводится к минимизации общих  $C$  потерь от простоя уборочного комплекса, содержания и обслуживания погрузочно-транспортного парка за агротехнический срок и ущерба от объема невыполненной работы из-за снижения производительности машин в  $i$ -й подсистеме за  $T_a$  из-за простоев.

Общие потери для  $i$ -й подсистемы поточной линии составят

$$C = C_{т}T_{пр т} + \sum C_i T_a - N \sum C_i T_{ф i} + E_{п i} / C_3 \Delta Q_i. \quad (9)$$

где  $C_{т}, C_i$  – стоимость 1 ч простоя транспорта и технических средств уборочного отряда;

$T_{пр т}$  – общее время простоя транспорта в ожидании обслуживания за агротехнический срок, определяемое из уравнения (5);

$T_{ф i} = \sum_{i-1}^m t_{об i ср}$  – фактическое время работы обслуживающих

подсистем транспорта за агротехнический срок;

$t_{об\ i\ ср}$  – среднее время обслуживания транспортной единицы в  $i$ -й

подсистеме;

$E_{н\ i}$  – нормативный коэффициент эффективности дополнительных капвложений;

$C_3$  – себестоимость зерна;

$\Delta Q_i = Q_i - Q_{\phi\ i}$  – объем невыполненной работы из-за снижения производительности машин в  $i$ -й подсистеме за  $T_a$ .

**Выводы.** Исследования показали, что свести к минимуму общие потери для уборочно-транспортной поточной линии можно как за счет исключения простоев техники, так и за счет уменьшения ущерба от снижения производительности машин из-за несогласованности работы уборочно-транспортного комплекса.

#### **Список использованных источников**

1. Непарко Т.А. Моделирование взаимодействия технических средств при производстве механизированных работ // Агропанорама.– 2004.– № 3.–С. 14-16.
2. Дедков В.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем: Учеб. пособие для вузов – Москва: Высшая школа, 1976. – 406 с.: ил.
3. Тарасенко, В. П. Прикладной системный анализ / В. П. Тарасенко. – М.: КНОРУС, 2010. – 224 с.