

Т.А. Непарко, канд. техн. наук, доцент, **Д.А. Жданко**, канд. техн. наук, доцент, **А.В. Новиков**, канд. техн. наук, доцент,

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

В.В. Терентьев, канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ НА УБОРКЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Ключевые слова: погрузочно-транспортные средства, поточность, технологическая линия, производительность, уборочно-транспортный комплекс.

Keywords: loading vehicles, threading, technological line, productivity, harvest-transport complex.

Аннотация. Статья посвящена проблеме повышения эффективности работы погрузочно-транспортных средств в поточной технологической линии на уборке зерновых культур. Разработана методика, позволяющая более рационально использовать сельскохозяйственную технику во всех звеньях, уменьшить ущерб от снижения производительности машин и увеличения сроков уборки.

Abstract. The article is devoted to a problem of increase of the efficiency of loading vehicles in the stream technological line on cleaning of grain crops. The technique is developed, allowing to use agricultural machinery more rationally in all links and to reduce a damage from decline of productivity of the machines and increase the harvest time.

Удельный вес затрат на погрузочно-транспортные работы при производстве зерновых в условиях Республики Беларусь составляет 15-20%. Функция погрузочно-транспортного процесса на уборке зерновых культур, реализуется в условиях достаточно жестких ограничений на сроки проведения работ, связанных с минимизацией потерь биологического урожая. Для оценки эффективности функционирования погрузочно-транспортных средств предлагается комплексный критерий, учитывающий эксплуатационно-экономические и агротехнические показатели качества работы.

Поточную линию уборки зерновых культур представим, 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 (ведущая к сильным обратным связям в системе) рассматривается 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.

Пусть Θ – 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 (нормативные и изменению не подлежат); W_1 – фактическая часовая производительность; n_1 – количество уборочных агрегатов; τ_1 – коэффициент использования времени смены подсистемы; $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены.

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

$$P_2 = D(Q_1 - Q_2) = D \left[Q_1 - \left(V_T \lambda_T \gamma \tau_2 T_{\text{см}} n_2 / t_{12} \right) \right], \quad (1)$$

где Q_2 – ежедневный объем погрузки-разгрузки; V_T – объем технологической емкости; λ_T – коэффициент использования объема технологической емкости; γ – объемная масса материала; τ_2 – коэффициент использования времени смены подсистемы; n_2 – количество погрузочно-разгрузочных средств; t_{12} – продолжительность одного погрузочно-разгрузочного цикла.

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

$$P_3 = D(Q_2 - Q_3) = D \left[Q_2 - \left(V_K \lambda_K \gamma \tau_3 T_{\text{см}} n_3 / t_{13} \right) \right], \quad (2)$$

где Q_3 – ежедневный объем транспортных работ; V_K – объем кузова транспортного средства; λ_K – коэффициент использования объема кузова; τ_3 – коэффициент использования времени смены подсистемы; n_3 – количество транспортных средств; t_{13} – продолжительность одного транспортного цикла.

Чтобы потери Π_2 и Π_3 были минимальными, в уравнениях (1) и (2) должен быть максимально большой второй член в скобках правой части, т.е.

$$\min \Pi_2 = \max(V_t \lambda_t \gamma \tau_2 T_{cm} n_2 / t_{ц2}), \quad (3)$$

$$\min \Pi_3 = \max(V_k \lambda_k \gamma \tau_3 T_{cm} n_3 / t_{ц3}). \quad (4)$$

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. Если количество машин в подсистеме не оптимально, то они будут или простаивать, или не будет выполнен запланированный объем работ. Для выбора оптимальной стратегии управления уборочно-транспортным процессом при заданной интенсивности грузопотока выясним, 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 (или месторасположения и распределения рулонов (тюков) по полю).

Средняя скорость движения v зависит от технической характеристики машины, качества дорог, простоев при обслуживании в различных подсистемах и схемы транспортного обслуживания (жесткой или гибкой связи). Таким образом, оптимизация средней скорости перевозок сводится в основном к сокращению простоев в ожидании обслуживания. Время простоя транспортных средств ($T_{пр}$) в i -й подсистеме за общее расчетное время работы машин в течение агротехнического срока (T_a) во всех подсистемах линии составит

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

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

Средний путь условного рейса транспортной единицы принимаем равным расстоянию от центра убираемого поля до пункта переработки (хранения). Общее время перемещения собранного урожая в поточной линии в течение агротехнического срока или суммарная производительность должны быть одинаковы во всех подсистемах:

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

Установлено, что для стационарного режима эксплуатации в поточных линиях при жестком взаимодействии технологических звеньев максимальный коэффициент использования времени смены достигает 0,7 [1].

Оптимальное время перемещения собранного урожая в i -й подсистеме не зависит от ее номера, следовательно, фактическое суммарное время работы машин за T_a найдем из условия

$$\sum_{i=1}^m T_{\text{ф}i} - T_a = 0 \quad \text{или} \quad T_{\text{ф}i} = \frac{T_a}{m}.$$

Оптимальное время работы каждой подсистемы – необходимый, но недостаточный критерий оптимизации функционирования поточной линии. Следует найти оптимальный состав технических средств в каждой подсистеме. Для этого необходимо определить вероятность простоя машин в i -й подсистеме и с учетом этой вероятности рассчитать состав технических средств при минимуме потерь. Минимум потерь достигается применением гибких связей технологических звеньев в расчете на возможные отказы (установка межоперационных накопителей урожая).

Непрерывность работы уборочного комплекса ($i = 1$) на отведенных участках (цикл работы) зависит от количества технологических емкостей (бункеров или других накопителей), рулонов (тюков) соломы, погрузочно-разгрузочных средств. Кроме того, функционирование уборочного комплекса и погрузочно-разгрузочных средств ($i = 1$ и $i = 2$ подсистем) в реальных условиях характеризуется жесткой связью. Тогда необходимое количество агрегатов n_2 в $i = 2$ подсистеме определим из условия

$$n_2 \geq W_{n1} / (W_{n2} p_{n2}) + z' / (W_p p_{p2}), \quad (7)$$

где W_{n1} – нормативная часовая производительность уборочного отряда; W_n – средняя эксплуатационная производительность погрузочно-разгрузочного средства на уборке зерновой части урожая; p – вероятность того, что все погрузочно-разгрузочные средства заняты в одном уборочном цикле; z' – количество рулонов (тюков) соломы в поле; W_p – 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.

Значение n_2 следует округлять в большую сторону до целого числа. Минимально допустимое количество погрузочно-разгрузочных средств в $i = 2$ подсистеме, обеспечивающее непрерывность уборочного процесса в i

= 1 подсистеме, должно быть не менее $2n_2/3$.

Количество рулонов (тюков) n'_2 , ожидающих погрузки и вывоза с поля, определим из предположения, что уборочный комплекс работает в стационарном режиме с цикловой производительностью $W_{ц1}$ [2]:

$$n'_2 = \ln p_{от} / \ln (W_{ц1} / W_2) - \ln ((W_{ц1} / W_2) + 1),$$

где $p_{от}$ – вероятность отказа (установка межоперационных накопителей) или вероятность того, что вся незерновая часть урожая убрана.

Потребность в транспортных средствах n_3 для поддержания стационарного режима уборочного комплекса определим по формуле [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.

Значения n'_2 и n_3 следует округлять в большую сторону до целого числа. Применение гибкой технологии и предложенной методики определения n_2 , n'_2 и n_3 при проектировании поточной линии позволяют достичь максимального использования потенциальных возможностей подсистем. Принимая во внимание, что транспортные средства выступают в роли связующего звена функционирования всех последующих подсистем ($i = 4, 5, \dots, m$), необходимо увязать их взаимодействие по производительности согласно уравнению (6) и выбрать оптимальный состав технических средств, обеспечивающих минимальные простои транспортных средств в ожидании обслуживания. Решение задачи сводится к минимизации общих C потерь от простоя уборочного комплекса, содержания и обслуживания погрузочно-транспортного парка за агротехнический срок и ущерба C_{ai} от объема невыполненной работы из-за снижения производительности машин в i -й подсистеме за T_a из-за простоев. Суммарные потери $C_{пр i}$ от простоя уборочного комплекса, содержания и обслуживания погрузочно-транспортного парка за агротехнический срок [3]:

$$C_{пр i} = C_T T_{пр т} + \sum C_i T_a - N \sum C_i T_{\phi i},$$

где C_T и 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);

$T_{\phi i} = \sum_{i=1}^m t_{об i ср}$ – фактическое время работы обслуживающих подсистем транспорта за агротехнический срок; $t_{об i ср}$ – среднее время обслуживания транспортной единицы в i -й подсистеме.

Ущерб $C_{a i}$ от объема невыполненной работы из-за снижения производительности машин в i -й подсистеме за T_a из-за простоев

$$C_{a i} = E_{н i} / C_3 \Delta Q_i,$$

где $E_{н i}$ – нормативный коэффициент эффективности дополнительных капложений; 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 .

Таким образом, общие потери для i -й подсистемы поточной линии составят

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

Из уравнения (9) видно, 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. Для повышения эффективности работы погрузочно-транспортных средств в поточной технологической линии необходимо свести до минимума простой техники во всех звеньях, так как эти простои приводят к увеличению ущерба от снижения производительности машин и сроков уборки. Определить рациональное количество техники в подсистемах поточной технологической линии на уборке зерновых культур можно по зависимостям (7) и (8).

Список использованной литературы

1. Непарко Г.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. Нагірний Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень. - Київ.: Урожай, 1994. – 216 с.: ил.