

Влияние срока службы зерноуборочных комбайнов на структуру технологических линий

*С.Д. Шепелёв, д.т.н., Г.А. Окунев, д.т.н., профессор,
Ю.Б. Черкасов, аспирант, Челябинская ГАА*

Анализ современного состояния механизации в сельскохозяйственном производстве стран СНГ показывает низкий уровень её эффективности. Так, количество зерноуборочных комбайнов в России с 1990 г. по 2010 г. снизилось в 5 раз [1, 2]. В Костанайской области Северного Казахстана за этот же период число зерноуборочных комбайнов ежегодно сокращалось в среднем на 600 шт. Доля комбайнов со сроком эксплуатации более 10 лет составляет в области около 60%, от 6 до 10 лет – 29, до 5 лет – 11% [3]. В связи с низкой производительностью технологических машин сроки уборки превышают нормативные в 2–3 раза, что в свою очередь приводит к потере не менее четверти выращенного урожая [4]. Проблему усугубляет вероятностный характер взаимодействия машин, вызывая простой взаимосвязанных в технологическом процессе агрегатов.

В работе М.М. Константинова [5] представлена целевая функция по обоснованию структуры зерноуборочного комплекса с учётом стоимости простоя машин и их вероятностного характера взаимодействия. Однако на структуру уборочного комплекса значительное влияние будет оказывать производительность технологических машин, которая зависит от их срока службы. Известно, что коэффициент использования времени смены зерноуборочных комбайнов к десятому году службы снижается с 0,65 до 0,4. С увеличением срока службы и снижения надёжности зерноуборочных

комбайнов технологические простои техники в поточных линиях увеличиваются.

Для обоснования количества уборочных агрегатов в звене и расчёта взаимообусловленных простоев представлена функция цели, где за критерий принят минимум потерь от простоев агрегатов:

$$S(m, \tau(t)) = P_{ya}(\tau(t)) \cdot t_{ya}(m, \tau(t)) + P_{та}(\tau(t)) \cdot t_{та}(m, \tau(t)) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где P_{ya} , $P_{та}$ – стоимость часа простоя уборочного и транспортного агрегата;

t – срок службы машин;

t_{ya} , $t_{та}$ – средняя продолжительность простоя комбайна и транспортного средства в течение смены, ч;

$$t_{ya}(m, \tau(t)) = T_{cm} t_k(m, \tau(t)); \\ t_{та}(m, \tau(t)) = T_{cm} t_a(m, \tau(t)), \quad (2)$$

где $t_k(m, \tau(t))$, $t_a(m, \tau(t))$ – доля простоев комбайна и транспортного средства в зависимости от количества агрегатов в группе при различном сроке службы технологических машин.

Стоимость простоя уборочного агрегата с некоторым допущением можно представить следующим образом:

$$P_{ya} = \frac{B_k \alpha \gamma_k}{T_q} + Z_m + C_{п} V K p 0,1 B p V \tau(t), \quad (3)$$

где Z_m – затраты на привлечение комбайнера, руб/ч;

α – амортизационные отчисления, доля/год;

$\tau(t)$ – зависимость коэффициента использования времени смены зерноуборочных комбайнов от срока службы;

Kp – коэффициент потерь, доля/час;

$У$ – урожайность культуры, ц/га;

Bp, V – ширина захвата жатки и скорость зерноуборочного комбайна, га/час;

C_{Π} – стоимость продукции, руб/ц;

B_k – балансовая цена комбайна.

Стоимость простоя транспортного средства с некоторым допущением представлена в виде:

$$\Pi_{\text{та}} = \frac{B_{\text{та}} \alpha \gamma_a}{T_{\text{ч}}} + Z_a, \quad (4)$$

где $B_{\text{та}}$ – балансовая стоимость транспортного агрегата, руб.;

Z_a – тарифная ставка водителя, руб/ч;

γ_a – доля занятости транспортного средства на уборке зерновых культур;

$T_{\text{ч}}$ – время работы машин на уборке зерновых культур, ч.

Для определения продолжительности простоя в течение смены комбайна и транспортного средства использовалась теория массового обслуживания, которая позволяет учесть случайный характер связи между технологическими и транспортными агрегатами [6].

К данным, характеризующим СМО, относятся: число каналов обслуживания m (уборочных агрегатов), число требований n (транспортных агрегатов), интенсивность поступления одного требования на обслуживание λ (т.е. число возвращений требования в единицу времени), интенсивность обслуживания требований μ (величина, обратная времени оборота транспортного агрегата).

Интенсивность поступления на обслуживание одного требования определяется как величина, обратная времени возвращения требования (времени оборота транспортного агрегата – $t_o = t_t + t_p$):

$$\lambda = \frac{n}{t_o}, \quad (5)$$

где t_t – время движения транспортного средства от комбайна и обратно, ч; которое определяется по выражениям:

$$t_t = \frac{2L}{v_s \cdot \beta}; \quad (6)$$

где L – расстояние перевозки, км;

v_s – среднетехническая скорость, км/час;

β – коэффициент скорости;

t_p – время разгрузки, ч;

n – количество транспортных средств, закрепленных за зерноуборочным комбайном, определяется зависимостью:

$$n = \frac{0,1BVU\tau(t)}{W_a}, \quad (7)$$

где W_a – производительность транспортного сред-

ства, т/час, определяется по методике Е.С. Вентцель [7].

Интенсивность обслуживания требований определяется как величина, обратная времени обслуживания одного требования (времени заполнения бункера и погрузки транспортного средства):

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{пог}} + t_b \cdot k}. \quad (8)$$

Время погрузки определяется по выражению:

$$t_{\text{пог}} = \frac{Q_g}{V_b \cdot \gamma} \cdot (t_{\text{под}} + t_v), \quad (9)$$

где Q_g – грузоподъемность транспорта;

V_b – объем бункера, м³;

$t_{\text{под}}, t_v$ – время подъезда к комбайну и время выгрузки бункера, ч;

t_b – время наполнения бункера зерном, ч;

k – количество бункеров, входящих в кузов транспортного средства.

Среднее число заявок, обслуживаемых комбайном за время обращения транспортных средств, определяет их интенсивность поступления (P) [3]:

$$P(m) = \frac{\lambda}{\mu}.$$

Вероятность того, что все зерноуборочные комбайны свободны, определяется по выражению:

$$B_s(m) = \frac{1}{\sum_{k=0}^m \frac{P^k}{k!} + \frac{P^m}{(m-1)!(m-P)}}, \quad (k=0,1,\dots,m), \quad (10)$$

где m – вариация числа комбайнов.

Вероятность того, что все комбайны заняты:

$$B_z(m) = \frac{P^m}{(m-1)!(m-P)} \cdot B_s(m). \quad (11)$$

Среднее количество свободных уборочных агрегатов:

$$N_s(m) = B_s(m) \cdot \sum_{k=0}^{m-1} \frac{P^k}{k!} \cdot (m-k). \quad (12)$$

Для определения времени простоя комбайнов необходимо определить коэффициент использования:

$$\eta_k(m) = \frac{m - N_s(m)}{m}. \quad (13)$$

Среднюю долю технологического простоя комбайна определим по выражению:

$$t_k(m) = t_{\text{пог}} \cdot \frac{1 - \eta_k(m)}{\eta_k(m)}. \quad (14)$$

Для определения времени простоя транспортных средств определена длина очереди, ожидающей обслуживания:

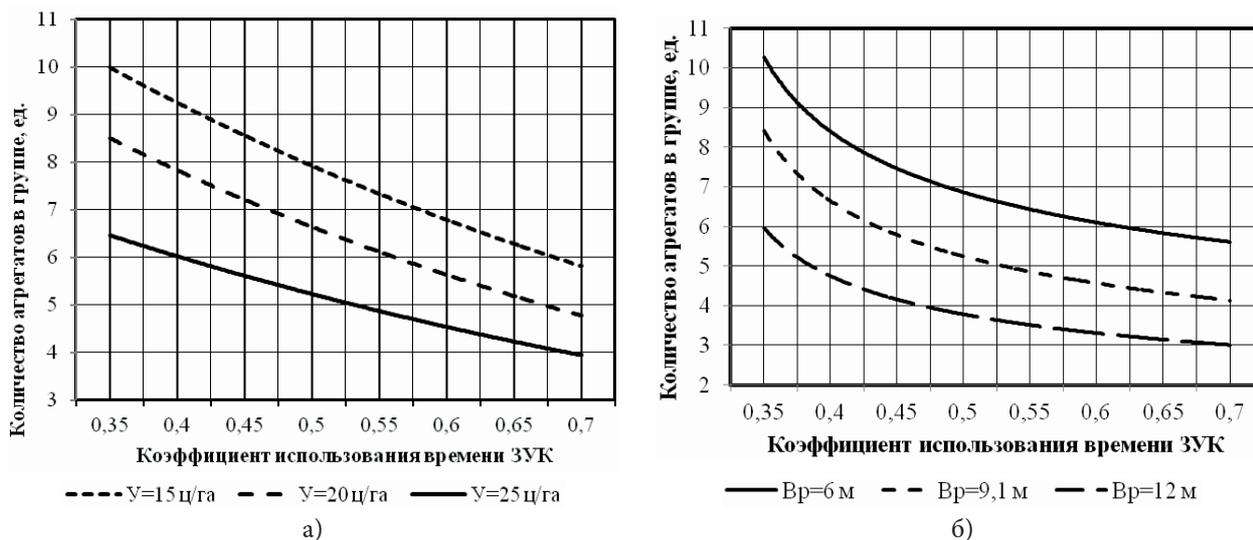


Рис. 1 – Зависимость количества зерноуборочных комбайнов «Нива-Эффект» от их коэффициента использования времени смены:
 а) при различной урожайности ($V_b = 4,5 \text{ м}^3$; $L = 6 \text{ км}$; $Q_g = 8 \text{ т}$; $B_p = 6 \text{ м}$; $C_n = 7000 \text{ руб/т}$; $V = 7 \text{ км/час}$);
 б) при различной ширине захвата жатки $V_b = 4,5 \text{ м}^3$; $L = 6 \text{ км}$; $Q_g = 8 \text{ т}$; $Y = 20 \text{ ц/га}$; $C_n = 7000 \text{ руб/т}$; $V = 7 \text{ км/час}$)

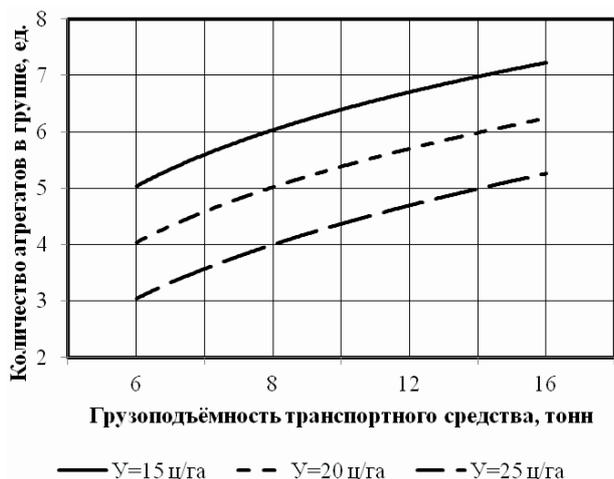


Рис. 2 – Зависимость количества зерноуборочных комбайнов от грузоподъёмности транспортного средства (τ ; $V_b = 6 \text{ м}^3$; $L = 6 \text{ км}$; $Y = 2 \text{ т/га}$; $C_n = 7000 \text{ руб/т}$; $V = 7 \text{ км/час}$)

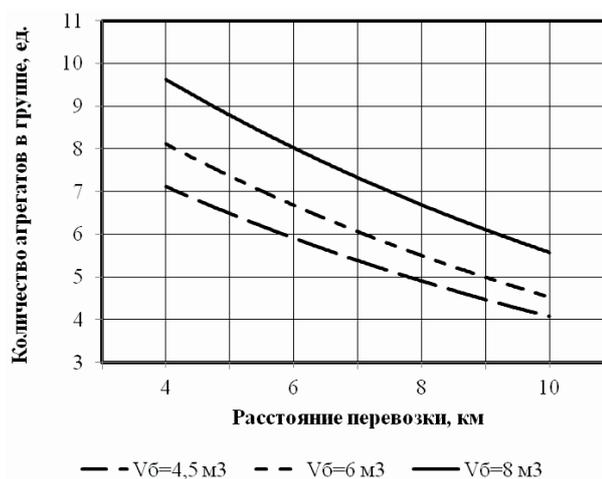


Рис. 3 – Зависимость количества зерноуборочных комбайнов от расстояния перевозки продукции (τ ; $V_b = 6 \text{ м}^3$; $Y = 20 \text{ ц/га}$; $C_n = 7000 \text{ руб/т}$; $V = 7 \text{ км/час}$; $B_p = 6 \text{ м}$)

$$N_o(m) = \frac{P^{m+1}}{m \cdot m! \left(1 - \frac{P}{m}\right)^2} \cdot \frac{m}{P^{m+1}} \cdot \frac{1}{\sum_{k=0}^m \frac{P^k}{k!} + \frac{P^m}{m!} (m - P)} \quad (15)$$

Доля технологического простоя транспортного средства в ожидании погрузки определяется по выражению:

$$t_a(m) = \frac{N_o(m)}{\lambda} \quad (16)$$

Исследование экономико-математической модели показало, что на структуру уборочного комплекса значительное влияние оказывает срок службы машин (рис. 1). Так, с увеличением ко-

эффициента использования времени смены зерноуборочных комбайнов с 0,45 до 0,65 количество уборочных агрегатов в звене снижается с семи до пяти единиц, при урожайности зерновых культур, равной 20 ц/га. С увеличением урожайности от 15 до 25 ц/га, при коэффициенте использования времени смены, равном 0,5, количество агрегатов в звене увеличивается с восьми до пяти (рис. 1а). При увеличении производительности технологических машин за счёт использования широкозахватных жаток количество машин в звене уменьшается. Так, при коэффициенте использования времени смены, равном 0,5, при использовании шестиметровой жатки в звене должно быть семь агрегатов, при использовании девятиметровых жаток количество технологических машин в звене снижается до четырёх (рис. 1б).

При увеличении грузоподъёмности транспортных средств с шести до шестнадцати тонн количество технологических машин в звене увеличивается с шести до восьми. Со снижением урожайности на пять центнеров количество уборочных агрегатов в звене увеличивается на один агрегат (рис. 2). Снижение ёмкости бункера зерноуборочного комбайна и увеличение расстояния перевозки вызывает снижение количества зерноуборочных комбайнов в звене (рис. 3).

Таким образом, при формировании зерноуборочных комплексов необходимо распределять зерноуборочные комбайны по звеньям в зависимости от их надёжности. Количество комбайнов в звене с увеличенным сроком службы должно быть больше, чем новых. Это позволит снизить технологические простои уборочных и транспорт-

ных агрегатов, повысить их производительность и снизить себестоимость производимой продукции.

Литература

1. Нунгелер В.В. Индикаторы развития инженерно-технической системы сельскохозяйственного производства // Техника и оборудование для села. 2010. № 1. С. 28–32.
2. Шепелёв С.Д., Окунев Г.А. Определение потребного количества грузовых автомобилей для перевозки сельскохозяйственных грузов: метод. указания. Челябинск: ЧГАУ, 2000. 34 с.
3. Коптева Л.А. Казахстан: вторичный рынок зерноуборочных комбайнов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. № 6. С. 21–22.
4. Коренев Г.В. Биологическое обоснование сроков и способов уборки зерновых культур. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1971.
5. Константинов М.М. Проблемы совершенствования уборочных процессов в условиях Южного Урала // Техника в сельском хозяйстве. 2000. № 4. С. 35–36.
6. Шепелёв С.Д., Окунев Г.А. Проектирование технологических линий на уборке урожая. Челябинск: ЧГАУ, 2006. 160 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.