

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ИХ БЕЗОТКАЗНОСТИ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, Д. Б. Власов

На основе обобщения и анализа многолетних экспериментальных материалов по исследованию эффективности использования комбинированных посевных агрегатов в сельхозпредприятиях Южного Урала установлены причины несоответствия (снижения) основных технико-экономических и агротехнологических показателей эксплуатационных свойств посевных агрегатов. Установлено, что структура составляющих баланса времени смены работы комбинированных посевных агрегатов (КПА), ее нормирование не соответствует: их конструктивно-технологической сложности по величине ежесменных технико-технологических обслуживаний и продолжительности холостых переездов КПА; не учитывает свойства безотказности и ремонтопригодности агрегатов при эксплуатации в рядовых условиях сельхозпредприятий. Это предопределяет снижение коэффициента τ^3 полезного времени использования смены на 5–10 % ($\tau^3 << \tau^H$). Традиционный расчет часовой производительности с учетом ширины захвата B_p , м, агрегатов обуславливает идентичность выполненной работы простыми и комбинированными агрегатами, что, очевидно, не соответствует физической сущности измерения их работы затратами энергии $A = \text{кДж/га}$. А они у КПА в 3–5 раз выше по сравнению с однооперационными МТА, практически стали равны удельным энергозатратам пахотных агрегатов. Установлено, что при проектировании механизированных процессов в растениеводстве не нормируется и не устанавливается коэффициент готовности реализации предстоящих циклов полевых работ $K_{Г.Р.П}$, который является главным критерием эффективности производственных процессов. Практикой и теоретическими исследованиями доказано, что при значении $K_{Г.Р.П} = 0,90–0,95$ обеспечивается производительность труда механизаторов при использовании КПА в 4–5 раз и более по сравнению с однооперационными агрегатами. Предложенная математическая модель установления данного показателя во взаимосвязи с основными параметрами эксплуатационных свойств комбинированных посевных агрегатов является научно-практической основой проектирования и реализации механизированных процессов в земледелии.

Ключевые слова: комбинированные посевные агрегаты, производительность, безотказность и ремонтопригодность агрегатов, нормирование, коэффициент готовности реализации механизированных процессов.

Применение комбинированных посевных агрегатов (КПА) при посеве сельскохозяйственных культур стало кардинальным процессом модернизации одного из важнейших циклов полевых работ. Одновременное выполнение за один рабочий проход основных технологических операций (культивация, посев и внесение удобрений, боронование, прикатывание, дозирование и пневмотранспортирование) позволяет при использовании тракторов повышенной единичной мощности (300–500 л.с.), при ширине захвата посевного комплекса от 10 до 18 метров и рабочих скоростях $V_p = 8–12 \text{ км/ч}$ повысить: производительность КПА в два-три раза по сравнению с простыми, однооперационными агрегатами; производительность труда

механизаторов в 4–5 раз. Реализация ресурсосберегающего процесса посева зернобобовых культур такими агрегатами позволяет при равных природно-климатических условиях увеличить урожайность сельхозкультур в 1,5–2 раза.

Но практика применения КПА в производственных подразделениях агрохолдингов, крупных сельхозпредприятиях, проводимые нами многолетние исследования позволили установить, что потенциал дорогостоящих агрегатов (от 10 до 30 млн руб.) часто используется недостаточно эффективно. Конструктивно-технологическая сложность, в частности непосредственно технологических модулей, работа агрегатов на повышенных рабочих скоростях, деградация процессов поддержания и восстановления

работоспособности КПА, некорректность расчета при проектировании их количественного состава без учета технической готовности агрегатов в предстоящий цикл использования предопределили значимое, до 10–20% снижение сезонной производительности КПА. Кроме этого величина коэффициента использования рабочего времени смены при нормировании производительности агрегатов (длина гона 1000–2000 м) принимается в диапазоне $\tau^h = 0,75–0,85$. Но нашими исследованиями поэлементного баланса времени смены ($T_{cm}^h = 10$ ч.) установлено, что фактически $\tau^h = 0,50–0,60$. Очевидно, что пропорционально уменьшается сменная производительность КПА.

При расчете производительности не учитывается величина коэффициента готовности агрегата K_{ra} во время выполнения предстоящего рабочего цикла. Расчет коэффициента использования времени смены проводится без учета времени простоя агрегатов из-за отказов машин, ожидания доставки требуемых СЧМ для начала ремонта машин. Это еще больше снижает готовность выполнения посевного процесса в нормативные агротехнические сроки [1, 2].

Несмотря на значимое отличие энергетической способности современных тракторов в составе КПА от простых, однооперационных агрегатов, стохастичности показателей энергетических свойств, физико-механического состава почвы, проектирование технической оснащенности посевных процессов, режимов их реализации производится по классическим методикам, которые не учитывают взаимосвязи производительности агрегатов с их энергетической структурой, показателями надежности машин.

Экономические отделы в сельхозпредприятиях, как правило, при нормировании норм выработки агрегатов в растениеводстве, технической оснащенности механизированных процессов используют следующий алгоритм расчетов.

В зависимости от условий возделывания сельскохозяйственных культур, их разновидности и нормативных агротребований, в частности по началу и продолжительности, чередованию посева культур устанавливаются сменные, суточные, сезонные нормы выработки на каждый тип посевного агрегата по формулам [8]:

Сменная производительность:

$$W_{cm}^h = 0,36 \cdot B_p^h \cdot V_p^h \cdot \tau^h \cdot T_{cm}^h, \text{ га/см.} \quad (1)$$

Суточная производительность:

$$W_{cyt}^h = W_{cm}^h \cdot K_{cm}^h, \text{ га/сут.} \quad (2)$$

Сезонная производительность:

$$W_{sez}^h = D_{p.a}^h \cdot W_{cyt}^h, \text{ га/сез.,} \quad (3)$$

где B_p^h и V_p^h – соответственно нормативные величины ширины захвата и рабочей скорости агрегата, м; м/с;

T_{cm}^h , K_{cm}^h – соответственно нормативные продолжительность смены и коэффициент сменности, ч/см;

$D_{p.a}^h$ – сезонная агротехническая продолжительность посевных процессов, сут. Она равна сумме продолжительностей посева i -х культур:

$$D_{p.a}^h = \sum_{i=1}^n D_{p.a.i}^h, \text{ сут.} \quad (4)$$

Далее, установив показатели нормативные эксплуатационных свойств КПА по справочным материалам планирования, временные и нагрузочные режимы работы (по таблицам справочников по нормированию наработка и расхода топлива на механизированные посевые работы), рассчитывают потребность в j -х агрегатах для посева $i_{c.x.}$ культур на площади $\sum_{i=1}^j S_{ij}$:

$$N_{aj}^h = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij}}{\sum_{i=1}^n D_{p.a.i}^h}, \text{ шт.} \quad (5)$$

Суммарный расход топлива:

$$Q_{\Sigma sez} = \sum_{i=1}^n q_{ra ij} \cdot S_{ij}, \text{ кг.} \quad (6)$$

Такой общий, значимо усредненный, практически слабо учитывающий природно-климатические условия реализации посевых процессов, их организацию, показатели эксплуатационных свойств, разнообразных по конструктивно-технологическому составу, в том числе надежности КПА, принят в настоящее время подход при планировании механизированных



процессов в растениеводстве. При не имеющем аналогов по сложности, особенностям реализации процессов использования средств механизации в растениеводстве, закономерностям изменения их эксплуатационных свойств и воздействиям на биологические объекты природы требуется: разработка методологии дифференцированного проектирования конструкций и технологий изготовления сельскохозяйственной техники; ее соблюдение при производстве машин; процессов использования их по назначению в заданных условиях реализации; процессов обеспечения работоспособности машин, машино-тракторных агрегатов с целью достижения высокой агротехнологической готовности механизированных процессов $K_{\text{ГРП}}$ производства продукции сельского хозяйства необходимого количества и качества.

Целью исследований является разработка и обоснование методики аналитического описания взаимосвязи коэффициента готовности реализации процессов с показателями эксплуатационных свойств комбинированных посевных агрегатов на предстоящие циклы полевых работ в растениеводстве.

Материалы и методы исследования

Для математического описания взаимосвязи производительности комбинированных посевных агрегатов использовали материалы хронометражных исследований закономерностей изменения составляющих баланса рабочей смены агрегатов К-744 Р1+ПК-12,2 «Кузбасс», Buhler Versatile 2425+Salford (ПЗК ООО «Птицефабрика Челябинская»). На основе экспериментальных данных методом вычислительного эксперимента установлено снижение наработки КПА за посевной цикл в 1,5...2 раза по сравнению с нормативными показателями [6, 7]. Использование системно-аналитического метода при разработке методики проектирования процесса посева КПА [3] на основе дифференцирования их показателей эксплуатационных свойств позволило выявить причины значимого расхождения величин параметров посевных процессов нормируемых и фактических.

Результаты и обсуждение

Дифференцирование показателей эксплуатационных свойств агрегатов предопределяется необходимостью соответствия, адекватности процессов проектирования, планирования тех-

нической оснащенности механизированных процессов в растениеводстве на основе параметров, которые действительно имеют место в рядовой эксплуатации МТА, но не учитываются в математических моделях вообще или по величине показателей, принимаемых при их разработке, количественно не соответствуют фактическим значениям. Это в конечном итоге обуславливает ошибочность расчета технико-экономических параметров процессов использования КПА и величину принятых критериев оценки их эффективности.

Акцентируем внимание, что расчет нормированной сменной производительности по классической формуле (1) КПА, при их конструктивно-технологической сложности и высоких показателях энергетических свойств, является упрощенным, не учитывающим закономерности их изменения при повышенных нагрузочно-скоростных режимах использования. Как следствие, имеет место значимое несоответствие расчетных показателей технико-экономических свойств агрегатов реальным условиям их эксплуатации. Например, принятие нормативной величины рабочей скорости по справочным материалам, как правило, является завышенным. Это обусловлено практически отсутствием учета в широком диапазоне характеристик предмета труда, почвы, сельскохозяйственных культур и удобрений, видов движителей машин и т.д. Поэтому за основу при проектировании посевных процессов комбинированными агрегатами следует принять расчет сменной производительности по их энергетическим показателям с учетом характеристик почвенного агрофона, т.е. для тягово-приводных КПА:

$$W_{\text{см}} = \frac{0,36 \cdot (N_e^3 - N_{e\text{пр}}) \cdot \eta_{\text{т}}}{\sum_{i=1}^n K_{mi}} \cdot \tau = \\ = \frac{0,36 \cdot (N_e^3 - N_{e\text{пр}}) \cdot \eta_{\text{т}} \cdot \eta_6 \cdot \eta_{f\text{т}}}{\sum_{i=1}^n K_{mi}} \cdot \tau, \quad (7)$$

где N_e^3 – эксплуатационная мощность ДВС трактора, кВт. Она меньше номинальной (паспортной) мощности дизеля в среднем на 5–10% ($N_e^3 = N_e^h \cdot K_{Ne}$, кВт);

K_{Ne} – коэффициент фактического использования мощности с заданными технологическими модулями (СХМ) при рассчитанной рабочей скорости V_p , м/с КПА ($K_{Ne} \approx 0,9$ для колесных движителей и 0,93 для гусеничных движителей);

η_t – тяговый коэффициент трактора.

Тяговый КПД трактора при движении КПА по полю после осеннеей обработки его дисковыми, культиваторами, лущильниками принял в диапазоне: для колесного трактора с одинарными движителями $\eta_{t1} \approx 0,58...0,60$; со сдвоенными движителями $\eta_{t2} \approx 0,61...0,65$; гусеничного трактора $\eta_r \approx 0,70...0,75$. Соответственно среднее значение тягового КПД принимаем: $\eta_{t1} = 0,59$; $\eta_{t2} = 0,63$; $\eta_r = 0,72$;

$\sum_{i=1}^n K_{mi}$ – удельное сопротивление, суммарное всей технологической части КПА с учетом сопротивления перекатыванию бункера с семенами и удобрениями, кН/м;

τ – коэффициент полезного использования рабочего времени смены. Его величина зависит от длины гона рабочего участка поля (L_r), рабочей скорости и конструкции агрегата. Величина нормативного коэффициента τ^n у КПА соответственно находится в диапазоне: $\tau = 0,55...0,80$ при $V_p = 9...12$ км/ч. Например, $\tau = 0,55...0,65$, (при $(L_r = 500...800$ м); $\tau = 0,65...0,75$ ($L_r = 900...1500$ м); $\tau = 0,75...0,8$) ($L_r > 1500...2000$ м). Для степной и лесостепной зоны Челябинской области принимаем среднюю длину гона $L_{cp} = 1500$ м;

$N_{e,pr}$ – величина мощности на привод механизмов дозирования семян, удобрений в бункере и пневмотранспорта их к высевающим рабочим органам агрегата, кВт;

η_{tp} , η_b , η_{fip} – соответственно КПД привода трансмиссии, буксования движителей трактора при его передвижении. Они определяют величину тягового КПД трактора – ($\eta_t = \eta_{tp} \cdot \eta_b \cdot \eta_{fip}$). Величина их зависит от состояния почвы, агрофона и конструкции механизмов трансмиссии

и ходового аппарата тракторов, режимов работы КПА (табл. 1).

Суммарное значение удельного сопротивления технологической части КПА (с учетом бункера) рассчитывается по формуле:

$$\sum_{i=1}^n K_{mi} = K_k + K_n + K_b + K_{np} + K_{by}, \quad (8)$$

где K_k – удельное сопротивление культиваторов (сошников) посевного модуля ($K_k \approx 1,5...2,5$ кН/м);

K_n – удельное сопротивление посевного рабочего органа ($K_n \approx 0,5...0,8$ кН/м);

K_b – удельное сопротивление борон ($K_b \approx 0,6...0,9$ кН/м);

K_{np} – удельное сопротивление катков ($K_{np} \approx 0,6...1,0$ кН/м).

Удельное сопротивление бункера с зерном и удобрениями рассчитывается по формуле:

$$K_{by} = R_{k,b} + 0,5 \cdot R_{3,y} = \frac{(G_{k,b} + 0,5 \cdot G_{3,y}) \cdot f_{by}}{B_{pa}}, \quad (9)$$

где $G_{k,b}$ – конструкционный вес бункера кН;

f_{by} – коэффициент сопротивления перекатыванию бункера ($f_{by} = 0,08...0,12$). При переднем расположении бункера принимаем $f_{by} = 0,08...0,10$, а при расположении после ПК $f_{by} = 0,10...0,12$;

$0,5 \cdot G_{3,y}$ – вес зерна, удобрений в бункере в среднем, кН;

B_{pa} – рабочая ширина захвата посевного комплекса, м.

Средний вес зерна и удобрений в бункере при работе КПА равен:

$$G_{3,y} = (V_3 \cdot j_3 + V_y \cdot j_y) \cdot 0,5, \quad (10)$$

где V_3 , V_y – объем зерна, удобрений в бункере, м³;

j_3 , j_y – удельный вес зерна, удобрений, кН/м³ (принимают $j_3 = 0,60...0,70$ кН/м³; $j_y = 0,90...1,10$ кН/м³).

Таблица 1 – Величина КПД тракторов

Тип трактора	η_{tp}	η_b	η_{fip}	η_t
Колесные: с одинарными и сдвоенными движителями; в среднем	4К4 0,85...0,93 0,88	0,80...0,90 0,82...0,98 0,85	0,80...0,90 0,78...0,88 0,85	0,58...0,60 0,61...0,65 0,62



Зная основные показатели использования КПА в конкретных условиях эксплуатации, рассчитывают рабочую скорость агрегатов по формуле:

$$V_p = \frac{(N_e^3 - N_{e,np}) \cdot \eta_{tp} \cdot \eta_6}{P_{kp} + P_{f, tp}} = \frac{(N_e^3 - N_{e,np}) \cdot \eta_{tp} \cdot \eta_6}{\sum_{i=1}^n K_{mi} \cdot B_{pa} + G_{tp} \cdot f_{np, tp}}, \quad (11)$$

где $N_{e,np}$ – величина затрат мощности на привод вентилятора пневмосистемы, механизма дозирования семян и удобрений, кВт. Ориентировочно принимают в среднем $N_{e,np} = 6\dots12$ кВт;

$f_{np, tp}$ – коэффициент сопротивления трактора перекатыванию. Для гусеничного трактора в зависимости от состояния почвы (влажность, плотность, агрофон) принимают $f_{np, tp} \approx 0,07\dots0,10$. Для тракторов с одинарными колесами $f_{np, tp} = 0,9\dots0,12$, для сдвоенных колес $f_{np, tp} = 0,07\dots0,09$.

Расчет погектарного расхода топлива Q_{ra} , кг/га проводят в следующей последовательности:

а) рассчитывают расход топлива КПА за час работы Q_q , кг/ч:

$$Q_q = \frac{N_e^3 \cdot q_e}{1000}, \quad (12)$$

где q_e – удельный расход топлива (дан в характеристике трактора), г/экВт·ч. Его величина находится в диапазоне $q_e = 200\dots250$ г/экВт·ч; удельный вес дизельного топлива в среднем равен $j_{y,t} = 0,83\dots0,86$ т/м³;

б) следовательно, погектарный расход топлива будет равен:

$$Q_{ra} = \frac{Q_q}{W_q} = \frac{N_e^3 \cdot q_e}{1000 \cdot W_q}. \quad (13)$$

Используя данную методику, числовые дифференцированные значения показателей использования и технических характеристик КПА, принятых для проектирования, рассчитывают технико-экономические параметры реализации посевных процессов.

При использовании КПА в рядовых условиях эксплуатации наиболее значимое влияние на их сменную, в целом сезонную наработку оказывает уменьшение величины коэффициента полезного использования рабочего вре-

мени смены $\tau^\Phi < \tau^H$. Это обусловлено количеством последовательно соединенных технологических модулей (до 5–7 шт.), шириной захвата агрегатов, работой на повышенных скоростях, емкостью бункеров под зерно и удобрения ($V_{бун} = 8\dots14$ м³).

Но основное влияние на сокращение производительности КПА в этих условиях оказывают их показатели безотказности и ремонтопригодности, что практически не учитывается при нормировании сменной производительности агрегатов [7, 10, 11].

Баланс времени смены характеризует распределение общего времени смены, по отдельным нормативным слагаемым. Необходимость такого распределения обусловлена принятым в сельском хозяйстве поэлементным методом нормирования труда и возможностью анализа эффективности использования времени смены агрегатом и выявления причин сокращения ее коэффициента полезного использования τ^Φ в конкретных условиях реализации механизированных процессов.

Аналитически нормативная структура элементов времени смены $T_{cm}^H = 10$ ч. в напряженные циклы полевых работ мобильных агрегатов определяется выражением:

$$T_{cm}^H = T_p^H + \sum_{i=1}^k T_z^H, \quad (14)$$

где T_p^H – непосредственно нормативная продолжительность выполнения технологического процесса агрегатами, ч;

$\sum_{i=1}^k T_z^H$ – суммарная продолжительность сопутствующих затрат времени смены (на холостые переезды, технико-технологические остановки и др.), ч.

Соответственно, коэффициент полезного использования времени смены рассчитывается по формуле:

$$\tau^H = \frac{T_p^H}{T_{cm}^H} = \frac{T_p^H}{T_p^H + \sum_{z=1}^k T_z^H}. \quad (15)$$

Но при нормировании элементов времени смены не учитывают простой агрегатов из-за отказов составляющих их машин $T_{п.у.н}$, ч.

Следовательно, фактическая величина коэффициента полезного использования времени смены будет равна:

$$\tau^{\Phi} = \frac{T_p^H - T_{\text{п.у.н}}}{T_{\text{см}}^H} = \frac{T_p^{\Phi}}{T_{\text{см}}^H + T_{\text{п.у.н}}}, \quad (16)$$

где $T_{\text{см}}^{\Phi} = T_{\text{см}}^H + T_{\text{п.у.н}}$ – фактическая продолжительность смены, ч.

В результате при использовании КПА в рядовых условиях эксплуатации для выполнения нормативной сменной производительности они должны работать большее количество часов, т.е. $T_{\text{см}}^{\Phi} \gg T_{\text{см}}^H$. Или же расчет сменной производительности нужно проводить с учетом коэффициента технической готовности агрегатов $K_{\text{г.а.ж}}$.

При $K_{\text{г.а.ж}} = \frac{t_p^{\Phi}}{t_p^{\Phi} + t_{\text{п.у.н}}}$ сменная фактическая производительность КПА будет равна:

$$W_{\text{см.а.ж}}^{\Phi} = W_{\text{ч.а.ж}}^H \cdot K_{\text{г.а.ж}}. \quad (17)$$

Это предопределено и тем, что комбинированные посевные агрегаты, имея до 5–7 технологических модулей (до 200–300 рабочих органов), очевидно, имеют более низкую безотказность (наработка на отказ) по сравнению с простыми, однооперационными агрегатами:

$$P_{\text{а.ж}}(t_{\text{п.а}}) = P_{\text{мэс.ж}}(t_{\text{п.а}}) \cdot [P_{\text{схм.ж}}(t_{\text{п.а}})]^{n_{\text{схм.ж}}}, \quad (18)$$

где $P_{\text{а.ж}}(t_{\text{п.а}})$ – вероятность безотказной работы КПА в рабочем цикле посевных работ;

$P_{\text{мэс.ж}}(t_{\text{п.а}})$, $[P_{\text{схм.ж}}(t_{\text{п.а}})]^{n_{\text{схм.ж}}}$ – вероятность безотказной работы в полевом цикле мобильного энергетического средства (трактора) и i -х сельхозмашин (технологических модулей);

$n_{\text{схм.ж}}$ – количество i -х технологических модулей (культиваторного, посевного, бороно-вального и т.д.), шт.

К сожалению, адекватность этой математической модели взаимосвязи безотказности (ее снижения) с конструктивно-технологической сложностью КПА подтверждается при использовании их в условиях рядовой эксплуатации, где низкая эффективность процессов восстановления работоспособности агрегатов обусловлена деградацией технического сервиса, недостаточной унификацией СЧМ разномарочных посевных комплексов.

Учитывая важность применения, учета комплексного коэффициента готовности при проектировании и планировании реализации механизированных процессов в растениеводстве, имеющих место различных толкований их сущности, используя обновленные ГОСТ 27.002-89 и ГОСТ 18322-2016, поясним основные понятия, термины и определения изложенных в данных стандартах.

В первом из них акцентируется внимание пользователей на следующем. Приведенные определения можно при необходимости изменять, вводя в них производные признаки, раскрывая значение используемых в них терминов, указывая объекты, входящие в объем определяемого понятия. Следовательно, надежность – свойство объекта сохранять во времени способность к выполнению требуемых функций (работоспособность) в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. К параметрам, характеризующим способность выполнять требуемые функции (быть работоспособным), относятся: кинематические и динамические параметры; показатели конструкционной прочности, точности функционирования (агротехнологические требования); производительности, скорости и т.п.

Важнейшими свойствами надежности агрегатов при использовании по назначению, особенно в сельском хозяйстве, являются безотказность и ремонтопригодность. Ремонтопригодность эквивалентна международному термину «приспособленность к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния».

В отличие от единичного показателя надежности (например, средняя наработка на отказ, интенсивность отказов, их количество за время суммарной наработки и др.), комплексный показатель надежности количественно характеризует не менее двух свойств, составляющих надежность, а именно безотказность и ремонтопригодность. Таковым является коэффициент готовности агрегата $K_{\text{г.а.}}$.

Из изложенного очевидно, что коэффициент готовности агрегатов численно показывает вероятность безотказной работы за время суммарной наработки в предстоящие циклы выполнения механизированных процессов. Инженеры, специалисты сельхозпредприятий часто ошибочно коэффициент готовности агрегатов вычисляют перед начальным моментом их использования, т.е.:



$$K_{\text{г.а}} = \frac{M_{\text{раб}}}{M_{\text{спис}}}, \quad (19)$$

где $M_{\text{раб}}$, $M_{\text{спис}}$ – соответственно количество работоспособных технологически однотипных агрегатов и их списочное количество в хозяйстве перед началом полевых работ.

Временем восстановления $T_{\text{в.а}}$ называется продолжительность восстановления работоспособности КПА после отказа машин. Восстановление включает в себя идентификацию отказа (определение его места и характера), наладку или замену отказавшего элемента, регулирование и контроль его технического состояния, заключительную операцию контроля работоспособности машины или агрегата в целом. Эти операции определяют нормативную трудоемкость непосредственного устранения последствий отказа какого-либо элемента агрегата. Вероятность восстановления работоспособного состояния представляет собой функцию распределения времени (продолжительности) восстановления элемента при $T_{\text{в.а}} = T_3$, где T_3 – заданное, нормативное время восстановления отказавшего элемента агрегата.

На основе изложенного материала по определению основных понятий и терминов, показателей свойств безотказности и ремонтопригодности мобильных агрегатов в растениеводстве, методик их аналитического расчета, комплексный коэффициент готовности КПА определяют по формуле:

$$\begin{aligned} K_{\text{г.а}} &= \frac{t_{\text{п.а}}}{t_{\text{п.а}} + t_{\text{в.тр}} + t_{\text{в.схм}}} = \\ &= \frac{t_{\text{п.а}}}{t_{\text{п.а}} + \frac{t_{\text{п.а}}}{t_{\text{o.тр}}} \cdot \frac{t_{\text{в.тр}}}{m} + \frac{t_{\text{п.а}}}{t_{\text{o.схм}}} \cdot \frac{t_{\text{в.схм}}}{m}}, \end{aligned} \quad (20)$$

где $t_{\text{п.а}}$ – суммарная продолжительность (объем выполненной работы при посеве сельхозкультур) за сезон $\Delta_{\text{п.а}}$ полевых работ, ч;

$t_{\text{o.тр}}$, $t_{\text{o.схм}}$ – средняя наработка на отказ трактора и соответственно машин (СХМ) посевного комплекса, ч;

$t_{\text{в.тр}}$, $t_{\text{в.схм}}$ – соответственно средняя нормативная трудоемкость непосредственного восстановления работоспособности трактора и сельхозмашин;

m – количество персонала при устраниении последствий отказов, чел.

Очевидно, что коэффициент готовности машинно-тракторных агрегатов необходимо применять для расчета основных параметров механизированных процессов в растениеводстве: производительности (сменной, суточной и сезонной); количества требуемых агрегатов для полного и своевременного выполнения предстоящего посевного сезона; расчета фактической продолжительности посева сельскохозяйственных культур. Иначе эти параметры по величине будут не соответствовать агротехнологическим требованиям эффективной реализации посевных процессов.

Однако практика использования современных, конструктивно сложных КПА, наши исследования показывают, что при проектировании, планировании посевных процессов использование только комплексного коэффициента готовности не обеспечивает их параметрическую адекватность реальным процессам. Это обусловлено следующими причинами.

Восстановление работоспособности агрегата, продолжительность этого процесса учитывает только время от начала работы по устранению последствий отказов до полного восстановления работоспособности машин. Очевидно, что принято при этом условие наличия в резерве у агрегата отказавших узлов, рабочих органов, т.е. требуемых составных частей машин (СЧМ). Кроме этого, у различных по конструкции комбинированных посевных агрегатов приняты идентичные показатели эксплуатационной технологичности: стандартизация и унификация составных частей; универсальность оснастки и инструмента, крепежного материала, смазочных материалов; средства контроля и диагностирования технического состояния и др. Это явно не соответствует фактическому состоянию агрегатов, так как они состоят из сельхозмашин (технологических модулей) различной конструкции, производятся на различных машиностроительных предприятиях. В рядовых условиях эксплуатации КПА часто отсутствует резерв необходимых для устранения последствий отказов СЧМ. При их огромной номенклатуре создать такой запас СЧМ практически невозможно.

Перечисленное выше предопределяет при подготовке и реализации процессов восстановления работоспособности машин КПА, как

правило, в полевых условиях, дополнительное время их простоя в ожидании доставки необходимых СЧМ к агрегатам. По этой причине агрегаты простоявают от нескольких часов и даже смен. И это, конечно, должно учитываться при проектировании процессов использования и обеспечения работоспособности агрегатов.

Недостатки аналитического расчета основных параметров процессов использования и обеспечения работоспособности МТА в растениеводстве, в том числе наиболее сложных комбинированных посевных агрегатов, можно устранить введением нового показателя – комплексного коэффициента готовности реализации механизированного процесса $K_{Г.Р.П}$ возделывания сельскохозяйственных культур. Его аналитическое выражение записывается в следующем виде:

$$K_{Г.Р.П} = \frac{t_{p.a}}{t_{p.a} + \frac{t_{p.a} \cdot t_{в.тр}}{m} + \frac{t_{p.a} \cdot t_{в.счм}}{m} + \frac{t_{p.a} \cdot t_{ож.счм}}{t_{о.счм}}}, \quad (21)$$

где $t_{ож.счм}$ – средняя продолжительность простоя агрегата в ожидании доставки требуемой СЧМ для восстановления его работоспособности, ч.

Соответственно определение комплексного коэффициента готовности реализации процесса $K_{Г.Р.П}$.

Вероятность того, что технологический процесс (совокупность технологических операций за рабочий цикл полевых работ) будет реализован с нормативной (агротехнической) продолжительностью в заданных зональных условиях возделывания сельскохозяйственных культур.

Он количественно характеризует одновременно три свойства процесса – безотказность и ремонтопригодность, а также организационно-технический уровень обеспечения процесса восстановления работоспособности МТА требуемыми СЧМ и специалистами технического сервиса.

Исходя из изложенного фактические значения продолжительности выполнения технологических процессов ($\Delta_{p.a}^{\phi}$, сут., $t_{p.a}^{\phi}$, ч.) и количество фактически необходимых МТА N_{MTA}^{ϕ} , шт., нужно рассчитывать по формулам:

$$\Delta_{p.a}^{\phi} = \frac{S^{\phi}}{N_{MTA}^{\phi} \cdot W^{\phi} \cdot T_{cm}^{\phi} \cdot K_{cm}^{\phi} \cdot K_{Г.Р.П}}; \quad (22)$$

$$t_{p.a}^{\phi} = \frac{\Delta_{p.a}^{\phi} \cdot T_{cm}^{\phi} \cdot K_{cm}^{\phi}}{K_{Г.Р.П}}; \quad (23)$$

$$N_{MTA}^{\phi} = \frac{N^{\phi}}{K_{Г.Р.П}}, \text{ шт.} \quad (24)$$

Очевидно, что комплексный коэффициент готовности реализации механизированных технологических процессов в растениеводстве является основным и его величина при проектировании, планировании процессов производства сельхозпродукции позволяет судить об уровне эффективности реализации предстоящих объемов полевых работ, устанавливать потребность необходимых ресурсов для их выполнения в лучшие агротехнические сроки, совершенствовать технологические процессы и организацию их реализации.

Выводы

1. Модернизация посевных процессов зернобобовых культур в растениеводстве на основе использования комбинированных посевных агрегатов в составе с тракторами 5–8-го класса тяги и шириной захвата посевного комплекса от 10 до 18 метров, при одновременном выполнении до 5–7 технологических операций потенциально позволяет: повысить нормативную сменную производительность до 120–150 га, а производительность труда механизаторов, по сравнению с однооперационными агрегатами, в 4–5 раз.

2. Использование при проектировании, планировании в хозяйствах посевных процессов комбинированными агрегатами комплексного коэффициента готовности реализации механизированных процессов в растениеводстве позволяет не только повысить их адекватность реальным процессам в рядовых условиях, но и по величине комплексного коэффициента (расчетного и опытного по данным предыдущих лет) осуществить организационно-технические мероприятия для его повышения в нерабочий период агрегатов. Комплексный коэффициент готовности реализации процессов в растениеводстве является обобщающим критерием эффективности реализации механизированных процессов производства сельскохозяйственной продукции.

Список литературы

1. ГОСТ 27.02-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»



(Восстановлен на территории РФ с 1.XII.2012 г. Приказ Росстандарта от 29.XI.2012 г. № 649-ст.).

2. ГОСТ 18322-2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения». Введен в действие с 1.IX.2017 г.

3. Жалнин Э. В. Системно-аналитический метод формирования технической политики в АПК России // Тракторы и сельхозмашини. 2012. № 6. С. 3–8.

4. Иванова Р. П., Симонов А. Л. Реализация методологической функции философии в научном познании и практике. Новосибирск : Наука, 1984.

5. Качурин В. В. Обоснование количества мобильных звеньев для восстановления работоспособности посевных комбинированных агрегатов : дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2014. С. 150.

6. Результаты расчетно-экспериментального метода установления показателей использо-

зования и надежности агрегатов в растениеводстве / А. М. Плаксин [и др.] // АПК России. 2022. Т. 29. № 1. С. 54–61.

7. Плаксин А. М., Гуляренко А. А. Управление уровнем безотказности с.-х. тракторов на основе оценки издержек на изготовление, обслуживание и ремонт // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 4. С. 52–55.

8. Плаксин А. М., Гриценко А. В. Ресурсы растениеводства. Энергетика машинно-тракторных агрегатов. Челябинск, 2015. С. 306.

9. Системные исследования. Методологические проблемы / АН СССР, ВНИИСИ. М. : Наука, 1986.

10. Селиванов А. И., Артемьев Ю. Н. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. Колос, 1978. С. 247.

11. Соломкин А. П., Марламов Э. Г. Теоретическое обоснование построения систем техсервиса сельскохозяйственной техники в АПК Сибири. Улан-Удэ, 2018. С. 179.

Плаксин Алексей Михайлович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технология и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: plaksin.1944@mail.ru.

Гриценко Александр Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»; профессор кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: alexgrits13@mail.ru.

Власов Дмитрий Борисович, канд. техн. наук, старший преподаватель, кафедра «Технический сервис машин, оборудования и безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: dimon.vlasoff2012@yandex.ru.

* * *