

использования в нерегулируемом электроприводе сельскохозяйственных электрифицированных машин с использованием трехфазных асинхронных короткозамкнутых электродвигателей, питание которых осуществляется от однофазной сети переменного тока.

Литература

1. Гайдар Е. Т. Кризисная экономика современной России: тенденции и перспективы : учебник. М. : Проспект, 2010. 656 с.
2. Khalina T. M., Stalnaya M. I., Eremochkin S. Y. The rational use of the three phase asynchronous short circuited electric motors in a single phase network // The Seventh International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering (ICTPE-2011). 2011. № 22. P. 105–107.
3. Сабинин Ю. А., Ковчин С. А. Теория электропривода : учебник для вузов. М. : Энергоатомиздат, 2000. 496 с.
4. Стальная М. И., Еремочкин С. Ю., Халтобина Т. А. Патент №109938 МПК H02P 27/16 (2006.01) «Однофазно-трехфазный транзисторный реверсивный коммутатор, ведомый однофазной сетью». № 2011120730/07(030632). Дата подачи заявки 23.05.2011.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

О. Г. ОГНЕВ,

доктор технических наук, профессор,

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,

И. Г. ОГНЕВ,

кандидат технических наук, доцент,

Ю. Н. СТРОГАНОВ,

кандидат технических наук, доцент,

Уральская государственная сельскохозяйственная академия

620048, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42

Положительная рецензия представлена Ю. Н. Сидыгановым, доктором технических наук, профессором (Поволжский государственный технологический университет).

Ключевые слова: *технические средства, растениеводство, критерии оценки, адаптивные свойства, система машин, методы, количественная оптимизация, системные параметры.*

Keywords: *means, plant growing, criteria of an estimation, adaptive properties, system of machines, methods, quantitative optimization, system parameters.*

На снижение эффективности работы предприятий АПК в последние годы определяющее влияние оказывает технический фактор: ухудшение количественного и качественного состава парка технических средств, параметров его использования. В результате разрушения комплексной целостности системы технической оснащённости земледелия, выхода системных показателей за границы оптимальных значений, ее способность эффективно функционировать, особенно при неустойчивости входных (прежде всего стоимостных) возмущений, существенно ухудшилась. Низкая вероятность улучшения оснащённости АПК техникой в ближайшее время определяет, для повышения общей рентабельности производства продукции растениеводства, первоочередную роль улучшения эффективности эксплуатации, обеспечения высоких качественных характеристик функционирования технических средств сельскохозяйственных предприятий.

Весь набор технических средств растениеводства должен представлять собой единую

сбалансированную, комплексную систему, обеспечивающую наилучшие характеристики качества ее функционирования. Для этого система должна быть адаптирована к конкретным условиям существования и оптимизирована (по количественному и качественному составу, режимам использования) к запланированному объёму полевых технологических работ.

Главной проблемой интенсивного развития агропромышленного комплекса мира в последнее время становится минимизация энергозатрат, достигаемая использованием ресурсосберегающих технических средств и технологий. В таком случае эффективность системы средств технической оснащённости в растениеводстве можно оценить энергетическим КПД — отношением полученной за какой-либо период времени (полезной) энергии E_n к общим энергозатратам системы E_z на ее функционирование. Воздействие на адаптивные свойства (энергетический КПД) технической системы земледелия, следовательно, можно осуществлять на двух уровнях:



— повышением количества производимой системой энергии (увеличением урожайности, возделыванием новых, энергонасыщенных сортов и т. п.);

— снижением уровня энергозатрат на функционирование системной модели (формирование набора технических средств, качественно и количественно оптимизированного к предстоящему объему работ, а также минимизация удельных энергозатрат на его выполнение).

Современную (10–30 %) эффективность мировых системных моделей в растениеводстве можно рассматривать как результат повышенных потерь вследствие слабой адаптации системы к конкретным производственным условиям. Проблема актуальна как для формируемых, так и для модернизируемых технических систем, особенно при изменении характера внешних воздействий.

Недостатком предыдущих формирований системных моделей являлось отсутствие системного подхода к рассматриваемой проблеме, недостаточный учет адаптивных свойств (которые оценивались по 1–3 достаточно произвольным критериям) и, как следствие, повышенная вероятность неоптимальных решений.

Задачу адаптации следует сформулировать как **повышение эффективности работы системы машин в данных конкретных условиях**, а также *при изменении (модернизации) системных параметров (состава техники) и исходных условий их деятельности* (природных, экономических, социальных и т. п.). Тогда **системная постановка проблемы адаптации комплекса средств технической оснащенности земледелия** будет заключаться в:

— обосновании, в соответствии с выбранными адаптивными критериями, оптимального резерва производительности комплекса технических средств;

— реализации условий функционирования — выборе адекватного данным условиям решения, обеспечивающего достижение оптимальных целей;

— обеспечении контроля качества функционирования всей системы.

Рассматривая систему средств технической оснащенности земледелия как многомерную и многоуровневую вероятностную модель, оценку ее адаптивных свойств можно производить отдельными критериями: экологическими, природно-климатическими, конструктивной надежности, технологическими, экономическими, энергетическими, организационными, ресурсными (трудовыми), эксплуатационной надежности, оперативности и т. п.

Экологические условия адаптации технического парка АПК заключаются в зависимости выходного функционала качества работы системы машин также и от экологических параметров. Каждый параметр формирует свои требования к характеристикам входных полей оптимизируемой системы (подверженность ветровой, водной эрозии и т. п.). Критерий пока оказывает воздействие на работу системы только в зонах техногенных катастроф. Однако его влияние имеет тенденцию к накоплению, с переходом скачком на новую степень воздействия.

Адаптация по **конструктивным характеристикам** (производительности, мощности и т. п.) формирует размерный ряд интервалов системных параметров, повышающих вероятность их работы в различных условиях. Границы интервалов формируются также и

для условий эксплуатации техники, и являются одним из векторов формирования критерия "*эксплуатационная надежность*".

Воздействие **природно-климатического** критерия происходит в виде:

— формирования набора возделываемых в данном регионе культур;

— формирования набора применяемых технологических операций и приемов;

— оценки потенциальной урожайности возделываемых культур в регионе;

— оценки вероятности выполнения запланированных технологических операций (и их качественных показателей) в соответствии с агротехническими требованиями;

— формирования используемого в регионе набора технических средств.

Комплекс векторных полей формирует вероятностное поле потенциально возможной урожайности, которая и реализуется в данных конкретных условиях.

Критерии **технологической** оценки адаптивной способности системы:

— формируют матрицу количественного набора используемых полевых технологических операций возделывания и уборки культивируемых сортов;

— определяют технологическую сложность (логическую последовательность) выполнения полевых операций возделывания и уборки для каждой культуры; формируют требования к соблюдению вероятностно-статистических характеристик технологических режимов (сроков, показателей качества и т. п.);

— задают вероятностную оценку допустимости выброса текущих скалярных значений режимных параметров за границы доверительных интервалов.

В меньшей степени данный критерий влияет на формирование исходного состава и структуры МТП, набора сельхозорудий, параметров их работы, технологических условий комплектования агрегатов и т. п.

Экономическая оценка способности системы технической оснащенности АПК адаптироваться к конкретным условиям заключается в **стоимостной** оценке:

— характера векторных полей возмущающих воздействий;

— характера векторных полей выходного функционала качества системы;

— последствий выбросов показателей векторных полей за доверительные границы;

— возможности оптимизации параметров системы в пределах поля решений.

Оценка адаптивных способностей по **трудовому** критерию заключается в:

— анализе исходного поля наличия трудовых ресурсов в рассматриваемой зоне;

— качественной оценке массива трудовых ресурсов, охваченного зоной обслуживания системы технических средств;

— оценке возможности приведения параметров (количественных и качественных) ресурсного массива в заданные границы и создания мероприятий для этого;

— оценке эффективности формирования заданных параметров трудового поля.

Организационный критерий формирует мероприятия, оказывающие воздействие на устойчивость полей системных параметров с целью минимизации изменения характеристик системы в функции времени. К числу основных мероприятий, влияющих на адаптивные способности техники, следует отнести:



• при воздействии на составляющие выходного технологического потока:

— учет природно-климатических факторов при комплектовании полевых работ;

— установление доверительных границ выброса параметров составляющих технологического потока из заданных интервалов значений;

— адаптация самих условий функционирования системы машин.

• при воздействии на составляющие выходного технического потока:

— мероприятия, расширяющие границы применения технических средств;

— мероприятия, приближающие фактические значения параметров техники к паспортным характеристикам;

— установление границ выброса параметров потока из доверительных интервалов.

Критерий существенно влияет на обеспечение оптимальных параметров (и их динамической устойчивости) существования системы технической оснащенности, хотя и не относится к категории основных формообразующих адаптивных свойств.

Адаптация по критериям эксплуатационной надежности определяет стабильность параметров состава технических средств во времени, независимо от характера возмущений. Адаптивные способности системы проявляются в:

— статистической оценке изменения характеристик технического поля во времени;

— установлении зависимости параметров выходного потока качества от изменения характеристик выходного поля состава технических средств в функции времени;

— определении доверительных границ изменения параметров выходного технического поля (границ выброса параметров эксплуатационной надежности);

— формировании мероприятий, обеспечивающих стабильность параметров эксплуатационной надежности во времени, которая закладывается при адаптации по критериям «конструктивные характеристики». Здесь адаптивные способности системы реализуются в объеме, вероятность которого заложена при изготовлении;

— оценке эффективности применения комплекса мероприятий по обеспечению стабильности временного потока параметров выходного технического поля.

Критерий оперативности оценивает способность системы перестраиваться на новые параметры при изменении характера возмущений. Необходимость своевременного обнаружения выхода системных параметров из оптимального интервала и их возврата в заданные границы возрастает по мере увеличения зоны обслуживания комплекса техники.

Окончательная энергетическая оценка системы заключается в:

— оценке энергетических затрат на функционирование всей системы машин;

— формировании оптимальных (минимальных) энергетических характеристик для функционирования комплекса технических средств;

— определении границ изменения энергетических характеристик системы при выходе параметров возмущений за установленные доверительные границы;

— установлении доверительных границ энергетических параметров системы.

Критерий используется для оценки как энергетических затрат на функционирование системы машин, так и ее адаптивных способностей.

При оптимизации нормативно-технической базы АПК, в зависимости от преобладающего воздействия какого-либо параметра, применение адаптивных критериев может рассматриваться как наложение на многопараметрическую систему ограничений в количестве степеней свободы принятия решений. Значимость приобретают не только характеристики полей адаптивных ограничений, но и сама последовательность наложения, которая формируется с учетом:

— причинно-следственной логичности наложения ограничений;

— вероятностно-статистических параметров векторного поля ограничений.

Итоговое пространство принятия решений образуется взаимодействием множества вероятностных векторных полей. Взаимодействие адаптивных критериев как случайных элементов формализуется законами теории вероятностей. Оптимизация характеристик функционального пространства принятия оптимальных решений заключается в достижении экстремума многомерной функции цели методом градиентного наискорейшего спуска.

Оптимизирующей функцией (функцией цели) в данном случае является минимизация энергетических системных параметров, определяемая принципом экономии энергоресурсов при выполнении запланированного объема технологических операций [1]. Однако часто при проектировании состава технических средств принцип достижения минимума энергозатрат подменяется условием минимизации энергонасыщенности набора технических средств [1, 2]:

$$\Sigma(n_m \cdot N_m) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где n_m — количество m -х технических средств, ед.; N_m — энергонасыщенность (мощность ДВС) m -го средства, кВт.

Принцип реализуется закреплением за технологической операцией 2–3 технических средств, обладающих минимальными (близкими) энергетическими параметрами. В результате подобной замены формируется совершенно новая система машин, обладающая качественно иными системными характеристиками.

Как отмечалось, эффективность функционирования системы машин можно оценить по степени ее приспособленности (адаптации) к работе в конкретных условиях. Более адаптированная система при идентичных параметрах производит больше полезной работы (продукции растениеводства). Если адаптивные свойства технической системы количественно оценивать энергетическим КПД $K_{эн}$, то при равной эффективности сопоставляемых систем должно выполняться условие:

$$K_{эн} = E_{n1} / E_{з1} = E_{n2} / E_{з2}. \quad (2)$$

При равном производстве полезной энергии выражение (2) примет вид:

$$E_{з1} = E_{з2}. \quad (3)$$

Комплектование системы машин включает определение для каждой технологической операции требуемого количества технических



средств и удельных (на единицу продукции, площади и т. п.) затрат энергии. Для каждой операции технологического процесса возделывания набора сельскохозяйственных культур составляется функционал требуемого количества рекомендуемых (оптимальных n_0 и допускаемых n_{o+1}, \dots, n_m) технических средств: $\{n_0^p, n_{o+1}^p, \dots, n_m^p\}$. Пооперационное количество потребных технических средств рассчитывается как:

$$n = S / (W \cdot t_{\text{раб}} \cdot K_{\text{см}}), \quad (4)$$

где S — площадь обрабатываемой пашни, га;
 W — производительность технического средства, га/час;

$t_{\text{раб}}$ — агротехническая продолжительность операций, час;

$K_{\text{см}}$ — коэффициент использования рабочего времени смены.

Расположение m -го технического средства в функциональном ряду (его порядковый номер) определяется затратами энергии на выполнение данной технологической операции, причем по мере увеличения порядкового номера элемента энергозатраты на операцию увеличиваются, т. е. $E_0 < E_{o+1} < \dots < E_m$.

При использовании пооперационного принципа минимизации энергозатрат общие энергетические затраты системы из H технических средств на выполнение Y технологических операций возделывания для R культур будут определяться как:

$$E_{j1} = \sum_k \sum_j \sum_m [n_0^p \cdot E_0] + \sum_m [n_o^{\text{max}} \cdot N_o \cdot e_{\text{ДВС}} / T_1] \quad (5)$$

$$1 \leq k \leq R; 1 \leq j \leq Y; 1 \leq m \leq H$$

$$n_0^p \in [1, \dots, n_o^{\text{max}}]$$

$$0 < E_0 < E_{o+1} < \dots < E_m$$

где n_0^p — требуемое (расчетное) количество оптимальных (по энергозатратам) средств для выполнения j -й операции возделывания k -й культуры, ед.;

E_0 — минимальные энергозатраты (m -го технического средства) для выполнения j -й операции возделывания k -й культуры, Дж;

n_o^{max} — максимальное количество m -х технических средств в системе, ед.;

N_o — энергонасыщенность m -го технического средства, кВт;

$e_{\text{ДВС}}$ — коэффициент перевода мощности ДВС в энергию, $e = 12$ МДж/кВт;

T_1 — ресурс технического средства (всей системы машин), лет.

Энергозатраты системы, оптимизируемой минимизацией энергетической насыщенности (закрепление за каждой технологической операцией 2–3 машин с наименьшими энергетическими параметрами), можно определить как:

$$E_{j1} = \sum_k \sum_j \sum_m [n_0^p \cdot E_0 + (n_0^p - n_0^{\phi}) k_1 \cdot E_{o+1}] + \sum_m [n^{\phi} \cdot N \cdot e_{\text{ДВС}} / T_2]$$

$$1 \leq k \leq R; 1 \leq j \leq Y; 1 \leq m \leq H$$

$$n_0^p \in [1, \dots, n_o^{\text{max}}]$$

$$0 < E_0 < E_{o+1} < \dots < E_m$$

$$k_1 = n_0^{\phi} / n_o^{\text{max}}; k_2 = n_{o+1} / n_o = W_o / W_{o+1}; k_3 = E_{o+1} / E_0; k_2 < k_3$$

$$0,5 < k_1 < 1; k_2 \in]0, \dots, +\infty; k_3 \in]1, \dots, +\infty[$$

где k_1 — коэффициент сопоставления фактической и максимальной расчетной потребности системы в техническом средстве;

k_2 — коэффициент сопоставления потребности в n_0 и n_{o+1} технических средствах для выполнения j -й операции возделывания k -й культуры;

k_3 — коэффициент сопоставления энергозатрат технических средств;

n_0^{ϕ} — фактическое (принятое) количество m -х технических средств, ед.

При сопоставлении выражений (5, 6) видно, что $K_{\text{эн1}} > K_{\text{эн2}}$ практически при любых условиях функционирования моделируемых систем:

$$\sum_k \sum_j \sum_m [n_0^p \cdot E_0] + \sum_m [n_o^{\text{max}} \cdot N_o \cdot e_{\text{ДВС}} / T_1] < \quad (7)$$

$$< \sum_k \sum_j \sum_m [n_0^{\phi} \cdot E_0 + (n_0^p - n_0^{\phi}) k_1 \cdot E_{o+1}] + \sum_m [n^{\phi} \cdot N \cdot e_{\text{ДВС}} / T_2]$$

В самом деле, при любых условиях будет справедливо выражение:

$$\sum_k \sum_j \sum_m [n_0^p \cdot E_0] < \sum_k \sum_j \sum_m [n_0^{\phi} \cdot E_0 + (n_0^p - n_0^{\phi}) k_1 \cdot E_{o+1}]. \quad (8)$$

Выражение (8) с использованием коэффициентов k_1, k_2, k_3 можно записать как:

$$1 < k_2 \cdot k_3 = (W_o / W_{o+1}) \cdot (E_{o+1} / E_0). \quad (9)$$

Следовательно, для снижения энергоемкости производственного цикла в растениеводстве необходимо, чтобы при применении альтернативных технических средств **интенсивность повышения производительности всегда опережала интенсивность увеличения энергозатрат**. Из выражения (9) также следует вывод о необходимости узкой специализации технических средств на выполнении конкретных технологических операций.

Сопоставляя вторые половины неравенства (7), можно утверждать, что:

$$\sum_m [n_o^{\text{max}} \cdot N_o \cdot e_{\text{ДВС}} / T_1] \approx \sum_m [n^{\phi} \cdot N \cdot e_{\text{ДВС}} / T_2]. \quad (10)$$

При рассмотрении ресурса технического устройства (системы) как совокупности затраченной за период использования энергии, ресурс машины рассчитывается как обратная величина интенсивности ее эксплуатации IP^0 , которая находится в обратной зависимости от фактического количества технических средств в системе (при одинаковом объеме выполняемых системой технологических операций):

$$I_1^{y0} / I_2^{y0} = T_2 / T_1 = n_2 / n_1. \quad (11)$$

С учетом подстановки коэффициентов k_1 и k_2 выражение (11) примет вид:

$$n_o^{\text{max}} \cdot N_o \cdot e_{\text{ДВС}} / T_1 \approx (k_1 \cdot n_o^{\text{max}} \cdot N \cdot e_{\text{ДВС}}) / (k_1 \cdot T_1) \quad (12)$$

что соответствует истине. Фактически же, с учетом более интенсивной загруженности техники при использовании принципа комплектования технической системы по минимуму ее энергонасыщенности ($n_m^p / n_m^{\text{max}} < n_m^p / n_m^{\phi}$), действительный ресурс технических средств в данном случае **всегда** будет меньше (за счет большей интенсивности их работы), следовательно:

$$\sum_m [n_o^{\text{max}} \cdot N_o \cdot e_{\text{ДВС}} / T_1] < \sum_m [n^{\phi} \cdot N \cdot e_{\text{ДВС}} / T_2]. \quad (13)$$

На основании выражений (9) и (13) можно утверждать, что **практически при любых условиях** функционирования система, скомплектованная по принципу пооперационной минимизации



энергозатрат, более адаптирована к производственным условиям, чем система, формируемая на основе минимизации ее энергонасыщенности. Согласно расчетам, общая потребность системы, скомплектованной по первому принципу, в технических средствах (ее энергонасыщенность) увеличивается на 1,8–2,9 %, а удельные энергозатраты снижаются на 8,9–9,9 %. При ухудшении параметров надежности техники энергонасыщенность обеих систем становится практически идентичной.

Следовательно, принцип минимизации энергонасыщенности для оптимизации количественного состава технических средств земледелия применять нецелесообразно. Его использование [1, 2] определяется стремлением к наиболее полной загрузке имеющегося технического парка. Действительно, привлечение к технологической операции 3–4 типов технических средств, даже сопоставимой производительности, позволяет на соответствующую величину снизить общее количество необходимой техники данной марки и «загрузить» простаивающие без работы виды машин. Фактический «выигрыш» получается меньшим (из-за наложения сроков полевых операций). Воздействие же подобной «интенсификации» на ресурс технических средств при этом не рассматривается.

Следует отметить еще один недостаток второго принципа оптимизации. Земледелие, как и всё агропромышленное производство, — это динамическая система, постоянное воздействие на которую многих случайных факторов переводит прогнозирование результатов в категорию вероятностных процессов. На практике это означает вероятность временной работы системы в условиях выхода за статистические границы их значений (эффект «выбросов»).

«Выбросы» природно-климатических факторов приводят к сокращению календарной длительности технологических операций и, как следствие, потерям урожая, повышению интенсивности эксплуатации техники. Легко убедиться, что устойчивость работы (достижение запланированных параметров качества) системы, сформированной по минимуму энергонасыщенности, существенно ниже, чем

системы, оптимизированной по минимуму пооперационных энергозатрат.

Неустойчивость работы системы в условиях «выбросов» вынуждает повышать коэффициент «компенсации» системных параметров для сглаживания непредсказуемости воздействий, что практически реализуется в форме «холодного» («горячего») резервирования техники [3, 4]. Однако неограниченное увеличение коэффициента усиления приводит только к общему снижению устойчивости системы, ухудшению ее параметров [5] (а ограниченное не позволяет решать поставленные задачи). Кроме того, резервирование, без изменения структуры эксплуатации, сближает только параметры энергонасыщенности обеих систем, но не их энергетические затраты.

Следовательно, комплектование технологических операций целесообразно производить узкоспециализированными агрегатами, обеспечивающими минимальные энергетические затраты. Потребность в технике должна рассчитываться с учетом почвенно-климатических факторов (региональных фенологических сроков развития растений), определяемых статистической обработкой многолетних (10–30 лет) данных с вероятностью не менее 90 %. Подобная методика формирования технического парка обеспечивает снижение интенсивности эксплуатации агрегатов, повышение качества подготовки машин к пикам технологической загрузки, а также упрощает применение прогрессивных систем технического обслуживания и ремонта, например поточно-цикловой.

Таким образом, оптимизация системы по минимуму энергозатрат обеспечивает достижение не только оптимальных системных характеристик, но и устойчивости ее функционирования, особенно в экстремальных условиях.

Изложенные в настоящей работе принципы позволяют сформировать сбалансированную систему технических средств земледелия, достаточно адекватно адаптирующуюся практически к любым условиям функционирования, и оптимизировать ее количественные и качественные системные параметры.

Литература

1. Зайцев Н. В., Акимов А. П. Эксплуатация и ремонт машинно-тракторного парка. М. : Колос, 1993. 349 с.
2. Зангиев А. А., Лышко Г. П., Скороходов А. Н. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. М. : Колос, 1996. 320 с.
3. Кашпура Б. И. Эксплуатация машинно-тракторного парка на Дальнем Востоке. Благовещенск, 1989. 87 с.
4. Константинов М. М. Формирование и функционирование перспективной системы машин сельскохозяйственных предприятий (на примере степных регионов СНГ): автореф. дис. д-ратехн. наук. Оренбург, 1995. 39 с.
5. Емельянов В. С. Системы автоматического управления с переменной структурой. М. : Наука, 1967. 336 с.