

ВЫБОР СИСТЕМЫ ПРИВОДА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ БЛОЧНО-MOДУЛЬНОГО АГРЕГАТА

Ю. А. Шекихачев, В. Х. Мишхожев, А. Г. Фиапшев, Л. З. Шекихачева

Реферат. Обоснование системы передачи энергии рабочему органу сельскохозяйственных машин предполагает отыскание оптимальных принципов синтеза ее структуры в зависимости от факторов, влияющих на качество работы при выполнении ею главной своей функции. Цель исследования – повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственных машин за счет разработки и внедрения системы критериев для обоснованного выбора типа привода, обеспечивающей снижение эксплуатационных затрат и повышение надежности. Исследован привод инструментов, входящих в блочно-модульный агрегат для обрезки плодовых деревьев: электроветкорезов ЭВР-1 и ЭВР-2, электрических пил ЭПС-1 и ЭПС-2, электрокустореза ЭКР-1. Для окончательного выбора варианта системы передачи энергии рабочему органу в качестве дополнительного критерия предпочтения рекомендуется использовать показатели безотказной работы. В результате проведенных расчетов установлены типы приводов в зависимости от передаваемой мощности, расстояния выноса рабочего органа и совершаемого им вида движения: для электроветкорезов ЭВР-1 и ЭВР-2, электрокустореза ЭКР-1, в которых рабочий орган совершает вращательное движение, и он вынесен на расстояние не более 4 м от источника энергии, целесообразен механический привод (коэффициент готовности 0,96; наработка на отказ 192 мото-ч.; время восстановления 1,5 ч); на больших расстояниях, до 250 м, предпочтителен электропривод повышенной (200-400 Гц) частоты (0,97; 204 мото-ч.; 1,2 ч); на расстояниях свыше 400 м электропривод повышенной и промышленной частоты равноценны; для электрических пил ЭПС-1 и ЭПС-2, в которых рабочий орган совершает возвратно-поступательное движение, и он вынесен на расстояние до 10 м при любой мощности передаваемой энергии целесообразен гидропривод (0,96; 246 мото-ч.; 1,1 ч), причем с уменьшением мощности рекомендуется расширить зону действия гидропривода до 40 м; увеличение расстояния выноса рабочего органа до 200-250 м делает экономически целесообразным электропривод повышенной частоты (0,97; 198 мото-ч.; 1,2 ч).

Ключевые слова: сельскохозяйственные машины, рабочие органы, привод, оптимальность, мощность, повышенная частота.

Введение. Выбор системы приводов рабочих органов и оценка их надежности – одна из важных задач при конструировании сельскохозяйственных машин. Применяемые для приведения в движение исполнительных рабочих органов (РО) сельскохозяйственных машин и агрегатов приводы различных систем имеют свои преимущества и недостатки. Выбор одной из этих систем приводов, как оптимальной, без учета всего множества факторов, влияющих на качество работы всей системы в целом, будет неверным [1, 2, 3].

Наиболее часто применяемые системы передачи энергии рабочему органу (СПЭРО) применительно к мобильным агрегатам для садоводства с автономным, а, следовательно, ограниченным энергообеспечением, представляют собой совокупность двигателя внутреннего сгорания (ДВС), гидронасоса (электрогенератора), гидравлической (электрической) сети передачи энергии на расстоянии и гидромотора (электромотора) [4].

Оптимальность привода зависит не только от расстояния выноса РО, но и от величины передаваемой мощности, условий эксплуатации и от ряда показателей и требований конкретных мобильных сельхозмашин. Уточним с помощью критерия эффективности и минимальных затрат зоны предпочтительного применения отдельных СПЭРО в зависимости от величины передаваемой мощности, расстояния выноса РО и вида движения последнего.

Применение ЭП в мобильных

сельскохозяйственных машинах и агрегатов во многих случаях предпочтительней и весьма перспективно ввиду их гибкости, относительной дешевизны и простоты передаточных сетей [5, 6, 7].

Особенно бесспорны преимущества ЭП переменного тока повышенной частоты (200-400 Гц) ввиду хороших массогабаритных показателей и регулировочных возможностей. Уменьшение веса и габаритов ЭП в свою очередь повышает не только экономические (стоимостные), но и технологические, энергетические, эргономические и др. показатели, повышается производительность рабочего органа, а, следовательно, и производительность рабочего, пользующегося высокочастотным переносным инструментом.

Поскольку источником энергии для мобильных агрегатов, как правило, служит ДВС, то, естественно, первичным источником энергии для рабочих органов, выполняющих различные агротехнологические операции, служит вал отбора мощности (ВОМ) указанного ДВС. Необходимость наличия генератора, работающего от ВОМ, как источника электрической энергии, не делает применение статических преобразователей частоты заведомо предпочтительным вариантом, и перевес полупроводниковых преобразователей в этих условиях, да и с точки зрения устойчивой и надежной работы, не всегда бесспорен. Что же касается массогабаритных преимуществ полупроводниковых преобразователей, в мобильных агрегатах, где требования к этим показателям

не такие жесткие, указанные преимущества практически не полностью реализуются [8, 9].

Одним из существенных требований к СПЭРО является надежность в работе, а в ряде случаев этот показатель может стать определяющим. ЭП не только более гибкие и универсальные, но имеют относительно высокий уровень надежности функционирования, потому они более предпочтительны как приводы рабочих органов мобильных агрегатов для садоводства. Проблемы безотказной работы всех звеньев подобных СПЭРО приобретают актуальное значение для хозяйств, которым приходится уделять внимание не только стоимостным показателям, но и показателям надежности [10].

ЭП мобильных агрегатов, как электромеханическая система, состоящая из преобразовательного, передаточного и двигательного звеньев, а также устройств управления и контроля, имеют сложную структуру, особенно в части управляющего устройства в виде пусковой, регулирующей и измерительной аппаратуры. Это вынуждает прогнозировать уровень надежности конструктивно усложненного устройства, ужесточить требования к качеству исполнения всех звеньев и узлов ЭП.

Задача сравнения альтернативных вариантов и систем СПЭРО сводится к отысканию оптимальных принципов синтеза ее структуры в зависимости от факторов, влияющих на качество работы при выполнении ею главной своей функции. При этом синтез системы передачи будем считать эффективным, если

будет обеспечено необходимое качество передачи энергии при минимальных затратах с одновременным обеспечением устойчивой и надежной работы всех звеньев системы, вне зависимости от системы передачи, числа степеней свободы и конструкции РО.

Цель исследования – повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственных машин за счет разработки и внедрения системы критериев для обоснованного выбора типа привода, обеспечивающей снижение эксплуатационных затрат и повышение надежности на основе анализа коэффициента готовности, работки на отказ и времени восстановления.

Условия, материалы и методы. Исследования базируются на методах физического и математического моделирования, сравнения. В качестве объекта исследования использован привод инструментов, входящих в блочно-модульный агрегат для обрезки плодовых деревьев, представляющего собой самоходное шасси Т-25, на раме которого монтируется садовая вышка, состоящая из металлической сварной платформы, гидравлического цилиндра, лестницы, огражденной площадки, комплекта ручных инструментов для выполнения вспомогательных работ (рис. 1): электроветкорезов ЭВР-1 и ЭВР-2, электрических пил ЭПС-1 и ЭПС-2, электрокустореза ЭКР-1 [11, 12]. На раме самоходного шасси смонтированы редуктор, электрогенератор, преобразователь для преобразования постоянного тока в переменный с частотой 200 Гц и напряжением 36 В.



Рис. 1 – Блочно-модульный агрегат для обрезки плодовых деревьев

Исследования проведены на садовом участке ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства».

Результаты теоретических расчетов обработаны с помощью пакета прикладных программ «STATISTICA-5.0».

Учитывая, что эффективность работы СПЭРО зависит от надежности технических средств, технологических, энергетических, эргономических и множества других показателей и свойств, как коэффициент полезного действия (КПД), масса, безопасность эксплуатации, степень свободы РО, кратность

пускового момента электродвигателя, его перегручная способность, а также вероятность безотказной работы всего устройства. Определим критерий оптимальности синтезируемой СПЭРО не только как минимум затрат $З$, но и как минимальное значение некоторой функции эффективности, представляющей собой сумму произведений, двух переменных показателей x_i' и c_i :

$$З \rightarrow \min; K'_{\Sigma} = K_{OPГ} \sum_{i=1}^n x_i' c_i \rightarrow \min, (1)$$

здесь $K_{OPГ}$ – коэффициент, показывающий степень совершенства и организованности системы;

x_i' – нормируемый относительно базисного значения показатель единичный i -того варианта СПЭРО: $x_i' = x_i/x_{i0}$;

c_i – значимость, «вес» показателя i -того

$$\sum_{i=1}^n c_i = 1$$

варианта, причем $c_i > 0$, а

В тех случаях, когда совокупности показателей $K(S)$ окажутся векторно несравнимыми, введение некоторого интегрального

коэффициента K_{Σ} , отражающего влияние эффективности K'_{Σ} и затрат $З$, как условный критерий предпочтения, облегчит синтез структуры СПЭРО, а минимум этой функции условного критерия $K_{\Sigma} = K'_{\Sigma} З \rightarrow \min$ позволит найти окончательную границу использования системы или четко определить зону оптимального использования различных систем.

Результаты и обсуждение. На основании результатов исследований построены графики зависимостей эффективностей K'_{Σ} и стоимостей $З$ двух систем S_1 и S_2 от изменения удаленности ℓ рабочего органа от источника энергии (рис. 2).

На отрезке $\ell \leq \ell_1$, предпочтение на стороне системы S_1 – оба показателя K'_{Σ} и $З_1$, лучше (меньше), чем у системы S_2 .

При $\ell \geq \ell_2$ оптимальна система по тем же причинам.

На отрезке $\ell_1 < \ell < \ell_2$ приемлемы обе системы S_1 и S_2 : $K'_{\Sigma 2}$ у системы S_2 лучше, чем $K'_{\Sigma 1}$ у системы S_1 , но зато $З_1$ у системы S_1 лучше, чем $З_2$ системы S_2 . Условный критерий предпочтения K_{Σ} , заключенный между точками 1 и 2, позволит найти границу использования системы.

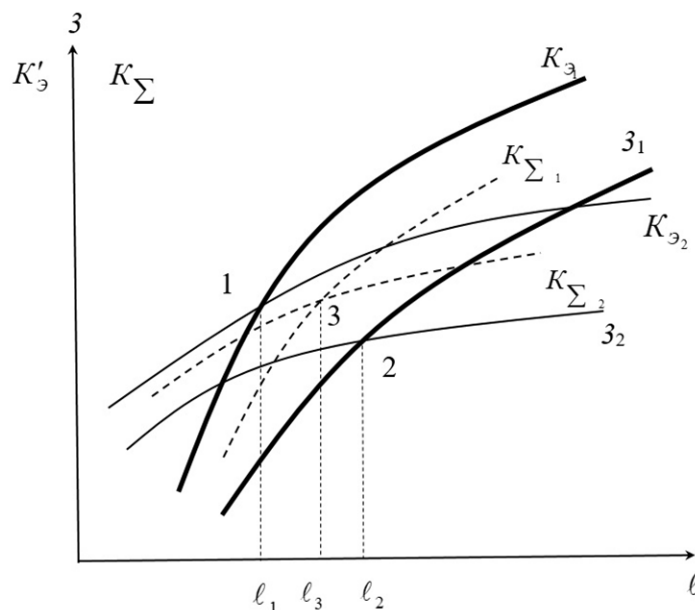


Рис. 2 – Зависимость эффективностей K'_{Σ} , интегрального коэффициента K_{Σ} и стоимостей $З$ двух систем S_1 и S_2 от изменения удаленности ℓ рабочего органа от источника энергии

Заменяв вероятность безотказной работы ЭП в течение заданного времени наработкой T_O на отказ, и считая, что показатель ремонтпригодности (вероятность восстановления за время, не более заданного τ) равно среднему времени восстановления T_B , то по значениям T_O и T_B устанавливаем комплексный показатель надежности, так называемый коэффициент готовности K_r :

$$K_r = \frac{T_O}{T_O + T_B}. (2)$$

Допускаем, что все отказы носят внезапный характер, поиск места повреждения

производится «вручную» (не автоматически) и ремонт осуществляется на месте. Тогда математическая модель распределения времени между отказами будет представлять собой экспоненциальное распределение, а времени восстановления – распределение Эрланга [13, 14].

Расчеты по определению наработки T_O на отказ и среднего времени на восстановление T_B произведены с использованием коэффициентного метода, т.е. с использованием не абсолютного значения интенсивности отказов элементов λ_i , а коэффициентов надежности этих элементов K_i , определяемых с помощью достоверно известной интенсивности отказов

некоторого базисного элемента λ_{δ} . Тогда по заданному допускаемому значению коэффициента готовности K_{Γ} , расчетному варианту ЭП с известными номиналами элементов, а также среднему значению времени восстановления i -того элемента T_{B_i} определим T_O и T_B (2):

$$T_O = \frac{1}{\lambda_{\delta}} \sum_{i=1}^n N_i K'_i; \quad (3)$$

$$T_B = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i K'_i}{\sum_{i=1}^n N_i K'_i} \right)^{T_{B_i}}, \quad (4)$$

здесь N_i – число одноименных элементов системы;

K'_i – результирующее значение коэффициента надежности i -того элемента с учетом поправочных коэффициентов;

λ_{δ} – интенсивность отказов базисного элемента.

Расчетное значение коэффициента готовности K_{Γ} не должно быть меньше допустимого значения, т.е. $K_{\Gamma} \geq K_{\Gamma, \text{доп}}$. Если окажется, что K_{Γ} меньше $K_{\Gamma, \text{доп}}$, то выполнение условия рекомендуется обеспечить:

- увеличением наработки T_O на отказ;
- уменьшения среднего времени восстановления T_B .

Уменьшение среднего времени восстановления T_B обеспечивается как техническими мерами (повышением, например, степени блочности узлов, унифицированием деталей), так и организационными мерами (например, повышением оперативности действий персонала, своевременной заготовкой ремкомплекта).

Критерием оптимального повышения уровня надежности путем увеличения наработки T_O на отказ служит максимум дополнительной экономической эффективности, связанной с повышением надежности отдельных элементов, а, следовательно, и их стоимости (2):

$$\Theta_{\Gamma} = (m_0 R_0 - m_j R_j) T_{\Sigma} - \Delta K_j, \quad (5)$$

где m_0 и m_j – среднее число отказов в год элемента повышенной надежности и j -того элемента;

R_0 и R_j – средние стоимости потерь от одного отказа указанных элементов;

T_{Σ} – эквивалентный срок службы;

ΔK_j – дополнительные капвложения в повышение надежности j -того варианта.

Экономически целесообразный уровень надежности будет иметь вариант с максимальным эффектом $\Theta_{\Gamma, \text{max}}$.

Уровень надежности ЭП рекомендуется поддерживать также проведением своевременных периодических осмотров и технического обслуживания (ТО) через оптимальные сроки. Определив оптимальный коэффициент готовности как некоторую функцию от коэффициента срока службы K_{Γ} , стоимости проведения

техосмотра c_O и годового максимального технологического ущерба от отказов Y_{Γ}

$$K_{\Gamma, \text{опт}} = 1 - \sqrt{\frac{K_O c_O}{Y_{\Gamma}}}, \quad (6)$$

устанавливается оптимальная периодичность проведения ТО через эти параметры и наработку T_O на отказ (4):

$$t_{TO, \text{опт}} = \frac{2T_O}{\sqrt{\frac{T_O Y_{\Gamma}}{c_O} - 0,5}}. \quad (7)$$

В выражении (6) коэффициент срока службы K_O , в свою очередь, зависит от наработки T_O на отказ и годового времени работы:

$$K_O = \frac{t_2}{4T_O}.$$

Цифра 4 означает, что лишь четверть отказов явные, остальные скрытые.

Оптимальная наработка на отказ $T_{O, \text{опт}}$ зависит от периодичности ТО t_{TO} , принятой в конкретном хозяйстве, числа ТО в году n_{TO} , стоимости ЭП R :

$$T_{TO, \text{опт}} = \frac{t_{TO} n_{TO} B}{4R}, \quad (8)$$

где B – приращение стоимости элемента при снижении интенсивности отказов.

При необходимости учета ущерба от недопуска продукции оптимальный коэффициент готовности примет несколько иной вид:

$$K_{\Gamma, \text{опт}} = \frac{1}{\frac{4R}{n_{TO}} + 1}, \quad (9)$$

где R – стоимость ЭП;

n_{TO} – число ТО в году.

В результате проведенных расчетов установлено, что передаваемая мощность, расстояние выноса рабочего органа и его функциональное назначение (вид движения) в общем величины переменные, и зоны предпочтения различных систем и вариантов СПЭРО зависят от конкретных значений этих параметров:

- для электроветкорезов ЭВР-1 и ЭВР-2, электрокустореа ЭКР-1, в которых РО совершает вращательное движение, и он вынесен на расстояние не более 4 м от источника энергии, целесообразен механический привод ($K_{\Gamma} = 0,96$; $T_O = 192$ мото-ч.; $T_B = 1,5$ ч); на больших расстояниях, до 250 м, предпочтителен электропривод (ЭП) повышенной (200-400 Гц) частоты ($K_{\Gamma} = 0,97$; $T_O = 204$ мото-ч.; $T_B = 1,2$ ч); на расстояниях свыше 400 м ЭП повышенной и промышленной частоты равноценны;

- для электрических пил ЭПС-1 и ЭПС-2, в которых РО совершает возвратно-поступательное движение, и он вынесен на расстояние до 10 м при любой мощности передаваемой энергии целесообразен гидропривод ($K_{\Gamma} = 0,96$; $T_O = 246$ мото-ч.; $T_B = 1,1$ ч), причем с уменьшением мощности рекомендуется

расширить зону действия гидропривода до 40 м; увеличение расстояния выноса РО до 200-250 м делает экономически целесообразным ЭП повышенной частоты ($K_T = 0,97$; $T_O = 198$ мото-ч.; $T_B = 1,2$ ч).

Выводы. 1. Для окончательного выбора варианта системы передачи энергии рабочему органу в качестве дополнительного критерия предпочтения рекомендуется использовать показатели безотказной работы, т.е. надежности привода, с учетом экономической эффективности $\mathcal{E}_{T,max}$ и целесообразности повышения уровня этих показателей.

2. Рекомендуется оптимизировать уровень надежности электрического привода и поддерживать его за счет проведения своевременных периодических осмотров и технического обслуживания на том уровне, какой себе может позволить хозяйство с учетом его экономики и возможностей, исходя из выбранной им стратегии эксплуатации электрооборудования в целом.

3. В тех случаях, когда мощности источника и наиболее мощного электрического привода соизмеримы, вопросы динамической устойчивости работы системы в целом оказываются определяющими.

4. Синтезируя структуру системы передачи энергии рабочему органу при различных расстояниях выноса рабочего органа, величинах передаваемой ему мощности и видах его движения, следует руководствоваться следующим:

- для инструментов, в которых РО совершает вращательное движение, и он вынесен на расстояние не более 4 м от источника энергии, следует использовать механический привод; на расстояниях до 250 м – электропривод (ЭП) повышенной (200-400 Гц) частоты;

- для инструментов, в которых РО совершает возвратно-поступательное движение, и он вынесен на расстояние до 40 м следует использовать гидропривод; на расстояниях до 200-250 м – ЭП повышенной частоты.

Литература

1. История и перспективы технологического развития систем передачи электроэнергии / Н. В. Арефьев, А. С. Сигов, В. Э. Воротнический и др. // Вести в электроэнергетике. 2025. № 1 (135). С. 44-60.
2. Адигамов Н.Р. Теория и методы расчета повышения надежности сельскохозяйственных уборочных машин с учетом состояния их элементов: дис. д-ра техн. наук / Адигамов Наиль Рашатович. Казань, 2006. 282 с.
3. Analysis of change in the state of hydraulic drive of machines in operation according to the diagnostic results / N. G. Grinchar, P. A. Sorokin, Karpychev V. A. и др. // Scientia Iranica. 2020. Т. 27. № 1 В. С. 295-301. doi: 10.24200/sci.2018.50340.1644.
4. Стребков Д. С., Шогенов А. Х., Шогенов Ю. Х. Перспективы применения электротехнологии в садоводстве // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 6 (94). С. 53-59. doi: 10.34677/1728-7936-2019-6-53-59.
5. Чаплыгин М. Е., Годжаев З. А., Уютов С. Ю. Обоснование параметров и режимов работы электроприводов базовых рабочих органов селекционного комбайна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 1(80). С. 112–124. doi:10.53914/issn2071-2243_2024_1_112–124.
6. Математическое моделирование динамических процессов сельскохозяйственного мобильного энергетического средства на электроприводе / З. А. Годжаев, С. Е. Сенькевич, И. С. Алексеев и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25. № 1. С. 112-122. doi: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.112-122.
7. Чаплыгин М.Е., Старостин И.А., Овчаренко А.С. Концептуальные основы создания электрического селекционного комбайна с комбинированной энергетической установкой // Инженерные технологии и системы. 2025. Т. 35. № 2. С. 266-283. doi: 10.15507/2658-4123.035.202502.266-283.
8. О точности регулирования дискретных значений тока и напряжения в установках для испытания силовых полупроводниковых приборов / С. Н. Антонов, С. В. Оськин, С. В. Аникуев и др. // Электротехника. 2022. № 7. С. 6-9. doi: 10.53891/00135860_2022_7_6.
9. Математическое описание переходных процессов в преобразователях и стабилизаторах напряжения систем автономного электроснабжения / В. Я. Хорольский, А. В. Ефанов, С. Н. Антонов и др. // Электротехника. 2021. № 7. С. 58-61.
10. Повышение эксплуатационной надежности сельскохозяйственных машин / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов и др. // Техника и оборудование для села. 2023. № 4 (310). С. 12-16. doi: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16.
11. Апхудов Т. М., Шекихачев Ю.А. Разработка и исследование садовой пилы с электрическим приводом // АгроЭкоИнфо. 2020. №1. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_112.pdf.
12. Апхудов Т. М. Блочно-модульный агрегат для обрезки плодовых деревьев // Сельский механизатор. 2016. № 2. С. 10-11.
13. Острейковский В. А., Павлов А. С. Математические модели оценки техногенного риска сложных систем на основе распределения Эрланга // Надежность и качество сложных систем. 2016. № 1 (13). С. 99-106;
14. Наумова Н. А., Данович Л. М., Данович Ю. И. Определение параметров распределения обобщенного закона Эрланга по экспериментальным данным при изучении транспортных потоков // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5 URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10045>.

Сведения об авторах:

Шекихачев Юрий Ахметханович – доктор технических наук, профессор, декан факультета механизации и энергообеспечения предприятий, профессор кафедры технической механики и физики, e-mail: shek-fmep@mail.ru

Мишхожев Владислав Хасенович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой агроинженерии, e-mail: mvkklk@mail.ru

Фиापшев Амур Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой энергообеспечения предприятий, e-mail: energo.kbr@rambler.ru
 Шекихачева Людмила Завиевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, e-mail: sh-ludmila-z@mail.ru
 Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, Нальчик, Россия.

SELECTION OF A DRIVE SYSTEM FOR COMPONENTS OF A BLOCK-MODULE UNIT Yu. A. Shekikhachev, V. Kh. Mishkhozhev, A. G. Fiapshev, L. Z. Shekikhacheva

Abstract. Justification of a power transmission system for the working element of agricultural machinery requires identifying optimal principles for synthesis of its structure based on factors affecting the performance of its primary function. The purpose of this study is to improve the operational efficiency of agricultural machinery by developing and implementing a system of criteria for the informed selection of a drive type, ensuring reduced operating costs and increased reliability. The drive system of the tools included in a block-modular unit for pruning fruit trees was studied: EVR-1 and EVR-2 electric branch trimmers, EPS-1 and EPS-2 electric saws and EKR-1 electric brush cutter. For the final selection of the option of power transmission system to the working element, it is recommended to use the failure-free operation indicators as an additional preference criterion. As a result of the calculations, the types of drives were established depending on the transmitted power, the extension distance of the working element and the type of movement it performs: for EVR-1 and EVR-2 electric branch cutters, EKR-1 electric brush cutter, in which the working element performs a rotational movement and it is extended at a distance of no more than 4 m from the power source, a mechanical drive is advisable (availability factor 0.96; mean time between failures 192 motor-hours; recovery time 1.5 hours); at greater distances, up to 250 m, an electric drive with increased (200-400 Hz) frequency (0.97; 204 motor-hours; 1.2 hours) is preferable; at distances over 400 m, an electric drive with increased and industrial frequencies are equivalent; for EPS-1 and EPS-2 electric saws, which have a reciprocating working element and an extended reach of up to 10 m, a hydraulic drive (0.96; 246 motor-hours; 1.1 h) is recommended for any transmitted power. As the power decreases, it is recommended to extend the hydraulic drive's range to 40 m. Increasing the working unit's extension distance to 200-250 m makes a high-frequency electric drive (0.97; 198 motor-hours; 1.2 h) economically feasible.

Key words: agricultural machinery, working units, drive, optimality, power, high frequency.

References

1. Arefev NV, Sigov AS, Vorotnitskiy VE. [History and prospects of technological development of electric power transmission systems]. *Vesti v elektroenergetike*. 2025; 1 (135). 44-60 p.
2. Adigamov NR. *Teoriya i metody rascheta povysheniya nadezhnosti selskokhozyaystvennykh uborochnykh mashin s uchetom sostoyaniya ikh elementov: dis. d-ra tekhn.nauk*. [Theory and calculation methods for improving the reliability of agricultural harvesting machines taking into account the state of their components: dissertation for a degree of Doctor of Technical Sciences]. Adigamov Nail Rashatovich. Kazan. 2006; 282 p.
3. Grinchar NG, Sorokin PA, Karpychev VA. Analysis of change in the state of hydraulic drive of machines in operation according to the diagnostic results. *Scientia Iranica*. 2020; Vol.27. 1 B. 295-301 p. doi: 10.24200/sci.2018.50340.1644.
4. Strebkov DS, Shogenov AKh, Shogenov YuKh. [Prospects for electrical technology application in horticulture]. *Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"*. 2019; 6 (94). 53-59 p. doi: 10.34677/1728-7936-2019-6-53-59.
5. Chaplygin ME, Godzhaev ZA, Uyutov SYu. [Justification of the parameters and operating modes of electric drives of the basic working units of a selection combine]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.17. 1(80). 112-124 p. doi:10.53914/issn2071-2243_2024_1_112-124.
6. Godzhaev ZA, Senkevich SE, Alekseev IS. [Mathematical modeling of dynamic processes of an agricultural mobile energy vehicle with an electric drive]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2024; Vol.25. 1. 112-122 p. doi: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.112-122.
7. Chaplygin ME, Starostin IA, Ovcharenko AS. [Conceptual foundations for the creation of an electric selection combine harvester with a combined power plant]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2025; Vol.35. 2. 266-283 p. doi: 10.15507/2658-4123.035.202502.266-283.
8. Antonov SN, Oskin SV, Anikuev SV. [On the accuracy of regulation of discrete current and voltage values in installations for testing power semiconductor devices]. *Elektrotehnika*. 2022; 7. 6-9 p. doi: 10.53891/00135860_2022_7_6.
9. Khorolskiy VYa, Efanov AV, Antonov SN. [Mathematical description of transient processes in converters and voltage stabilizers of autonomous power supply systems]. *Elektrotehnika*. 2021; 7. 58-61 p.
10. Apazhev AK, Shekikhachev YuA, Khazhmetov LM. [Improving the operational reliability of agricultural machinery]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2023; 4 (310). 12-16 p. doi: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16.
11. Apkhudov TM, Shekikhachev YuA. [Development and research of a garden saw with an electric drive]. *AgroEkoInfo*. 2020; 1. Available from: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_112.pdf.
12. Apkhudov TM. [Block-modular unit for pruning fruit trees]. *Selskiy mekhanizator*. 2016; 2. 10-11 p.
13. Ostreykovskiy VA, Pavlov AS. [Mathematical models for assessing the technogenic risk of complex systems based on Erlang distribution]. *Nadezhnost i kachestvo slozhnykh sistem*. 2016; 1 (13). 99-106 p;
14. Naumova NA, Danovich LM, Danovich YuL. [Determination of the distribution parameters of generalized Erlang law based on experimental data in the study of traffic flows]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013; 5. Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10045>.

Authors:

Shekikhachev Yuriy Akhmetkhanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Faculty of Mechanization and Energy Supply of Enterprises, Professor of Technical Mechanics and Physics Department, e-mail: shk-fmep@mail.ru
 Mishkhozhev Vladislav Khasenovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Agricultural Engineering Department, e-mail: mvkhhh@mail.ru
 Fiapshev Amur Grigorevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Energy Supply of Enterprises Department, e-mail: energo.kbr@rambler.ru
 Shekikhacheva Lyudmila Zavievna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Land Management and Real Estate Expertise Department, e-mail: sh-ludmila-z@mail.ru
 Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russia.