

**Прищепов М.А., д.т.н., профессор,
Прищепова Е.М., к.т.н., доцент**
**УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО
ЧИСЛА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ МЕЖДУ
АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ И ВАЛЬЦАМИ
ПЛЮЩИЛКИ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА**

Область основной работы электропривода (ЭП) вальцовой плющилки-измельчителя фуражного зерна для кинематической схемы с индивидуальным частотно-регулируемым асинхронным электроприводом (ЧРАЭП) каждого вальца лежит в первом квадранте механической характеристики вальцов при плющении и первом, третьем квадрантах при измельчении зерна. При этом длительный режим работы ЭП вальцов ограничен минимальной $\omega_{\text{ЭП,мин}}$ и максимальной $\omega_{\text{ЭП,макс}}$ угловыми скоростями вальцов при плющении и измельчении зерна и интервалом изменения момента полезной нагрузки в длительном режиме от минимального момента сопротивления $M_{\text{с,мин}}$ вальца при плющении зерна и до максимального момента сопротивления $M_{\text{с,макс}}$ вальца при измельчении зерна.

Кратковременный режим работы ограничен максимальной угловой скоростью ЭП $\omega_{\text{ЭП,макс}}$ и значениями момента холостого хода $M_{\text{хх}}$ вхолостую вращающихся вальцов и максимального момента ЭП $M_{\text{с,макс}}$ обусловленного колебаниями нагрузки в длительном режиме при плющении и измельчении зерна.

Учитывая, что ЭП вальцовой плющилки-измельчителя зерна независимо от технологического режима, плющения или измельчения, работает, как правило, в длительном режиме с переменной нагрузкой, то в приводе целесообразно использовать АД общепромышленной серии для продолжительного режима работы S1, как обеспечивающих наилучшее выполнение возлагаемых на них функций. Их паспортные или номинальные данные должны быть близки к расчетным, а конструктивное исполнение должно соответствовать способу его размещения и условиям окружающей среды. Основным элементом любого ЭП является двигатель, а его паспортные данные определяют выбор других элементов – преобразователей, коммута-

ционной аппаратуры, элементов защиты. По этой причине расчету мощности и выбору двигателя уделяется основное внимание.

Задача выбора состоит в поиске такого двигателя, который будет обеспечивать заданный технологический цикл плющилки-измельчителя, иметь конструкцию, соответствующую условиям эксплуатации и компоновки с рабочей машиной, а его нагрев при этом не должен превышать нормативный (допустимый) уровень.

Выбор двигателя недостаточной мощности может привести к нарушению заданного технологического цикла и снижению производительности РМ. Происходящие при этом его повышенный нагрев и ускоренное старение изоляции определяют преждевременный выход самого двигателя из строя, остановку плющилки-измельчителя и соответствующие экономические потери.

Недопустимым является также использование двигателей повышенной мощности, так как при этом, имея повышенную первоначальную стоимость, ЭП работает с низким КПД и коэффициентом мощности. Таким образом, обоснованный выбор ЭД во многом определяет технико-экономические показатели работы плющилки-измельчителя зерна.

Для обоснованного выбора мощности ЭД скоростные и нагрузочные диаграммы валцов должны быть приведены к валу двигателя.

При неизвестном передаточном числе i передачи между двигателями и валцами его оптимальное значение можно определить по одному из критериев [1], например, по быстродействию, минимуму габаритов двигателя, минимуму габаритов системы «двигатель-передача», минимуму потерь энергии за цикл и т.п. При выборе критерия необходимо учитывать, что запуск плющилки-измельчителя практически всегда будет производиться без нагрузки.

Определение оптимального передаточного числа ЭП валцов плющилки-измельчителя наиболее целесообразно производить из критерия наилучшего совпадения приведенного к валу двигателя эквивалентного статического момента нагрузки валцов с допустимым моментом на валу ЭД в области его длительной работы без снижения допустимого момента за счет ухудшения охлаждения и ослабления потока при номинальном токе двигателя (рисунок 1).

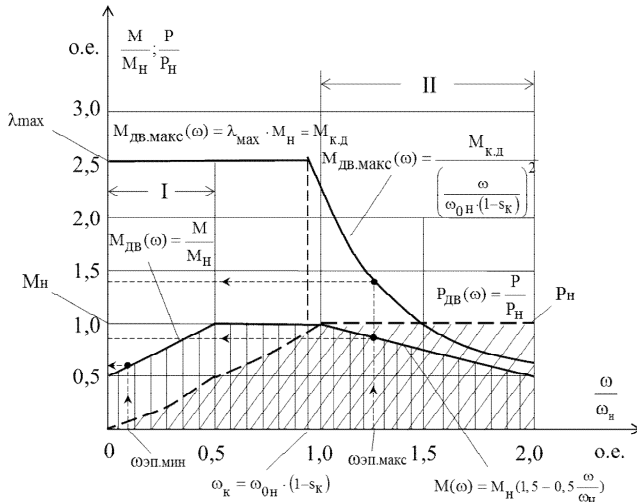


Рисунок 1 – Зависимость допустимых момента $M_{дв}(\omega)$ и мощности $P_{дв}(\omega)$ нагрузки на валу электродвигателя в области его длительной работы и максимального момента двигателя $M_{дв.макс}(\omega)$ в области кратковременной работы, где I – зона снижения тока и момента нагрузки двигателя M за счет ухудшения его охлаждения; II – зона снижения момента нагрузки M за счет ослабления потока возбуждения при номинальном токе двигателя; \square – область длительной работы электродвигателя по допустимому моменту нагрузки $M_{дв}(\omega)$; \square – область длительной работы электродвигателя по допустимой мощности нагрузки $P_{дв}(\omega)$; \square – общая область длительной работы электродвигателя по допустимому моменту $M_{дв}(\omega)$ и мощности $P_{дв}(\omega)$ нагрузки.

Обоснование границ областей длительной и кратковременной работы АД производилось на основании анализа исследований, имеющих в опубликованных работах [1, 2, 3, 4, 5, 6], а также на основании анализа полученных расчетным путем статических механических и электромеханических характеристик АД при частоте напряжения питания обмоток статора выше номинальной по методике, приведенной в работе [7].

В регулируемом ЭП при отклонении скорости двигателя от номинальной в сторону уменьшения изменение теплоотдачи оценивается коэффициентом ухудшения теплоотдачи $\beta_{ох}$, равным

$$\beta_{ох} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (1)$$

где β_0 – коэффициент ухудшения теплоотдачи для неподвижных АД (для закрытого самовентилируемого электродвигателя со степенью защиты IP44 $\beta_0=0,45-0,55$); ω – текущая угловая скорость электродвигателя, рад/с; ω_n – номинальная угловая скорость электродвигателя, рад/с; x – показатель степени относительной скорости двигателя.

При этом для закрытого самовентилируемого АД со степенью защиты IP44 при $\omega=0$ $\beta_{0x}=\beta_0=0,5$, а при $\omega=0,5\omega_n$ коэффициент ухудшения теплоотдачи β_{0x} можно приближенно считать равным единице, что совпадает с его принятым значением в работе [3].

При регулировании скорости АД выше номинальной верхнюю границу области кратковременной работы двигателя, т.е. максимальный момент двигателя $M_{дв.макс}(\omega)$ по аналогии с работой [3], принимая за базовую угловую скорость номинальную угловую скорость двигателя, можно описать выражением:

$$M_{дв.макс}(\omega) = \frac{M_{к.д}}{(\omega / \omega_{0н} \cdot (1 - s_k))^2}, \quad (2)$$

где $M_{к.д}$ – относительный критический момент в двигательном режиме, о.е.; s_k – критическое скольжение двигателя, о.е.; $\omega_{0н}$ – синхронная угловая скорость магнитного поля статора при номинальной частоте питающего напряжения, рад/с.

Это выражение хорошо согласуется с полученными данными по расчетным механическим характеристикам согласно приведенной в работе [7] методике для двигателей серии АИР.

Квадратичную зависимость момента от соотношения скоростей можно обосновать, если учесть, что жесткость механических характеристик АД при частотном регулировании скорости на рабочем участке практически неизменна, а скольжение $s \ll 1$, то $\frac{1}{1-s_k} \approx \frac{1-s}{1-s_k}$.

Тогда выражение (2) преобразуется следующим образом:

$$M_{дв.макс}(\omega) = \frac{M_{к.д}}{\left(\frac{\omega}{\omega_{0н} \cdot (1-s_k)}\right)^2} = \frac{M_{к.д}}{\left(\frac{\omega_0(1-s)}{\omega_{0н} \cdot (1-s_k)}\right)^2} \approx \frac{M_{к.д}}{\left(\frac{\omega_0}{\omega_{0н}}\right)^2} = \frac{M_{к.д}}{\left(\frac{f_1}{f_n}\right)^2} = \frac{M_{к.д}}{(\alpha)^2}, \quad (3)$$

где α – относительная частота напряжения питания статора, о.е.; f_n, f_1 – номинальная и текущая частота напряжения питания статора,

Гц; ω_0 – синхронная угловая скорость магнитного поля статора при текущей частоте напряжения питания статора f_1 , рад/с; s – скольжение ротора при угловой скорости ω , о.е.

Обоснованность вывода приведенного выражения объясняется тем, что при частотном регулировании скорости АД жесткость механических характеристик на их рабочих участках практически не меняется и соответственно отношение $\frac{1-s}{1-s_k} \approx 1,1 \dots 1,15 \approx \text{const}$ и незначительно отличается от единицы.

Верхнюю границу длительно допустимых моментов по условиям допустимого нагрева при двукратном превышении номинальной угловой скорости (рисунок 1) можно описать выражением

$$M_{\text{дв}}(\omega) = M_n \left(1,5 - 0,5 \frac{\omega}{\omega_n} \right). \quad (4)$$

Зная зависимости допустимого момента нагрузки $M_{\text{дв}}(\omega)$ на валу ЭД в области его длительной работы и максимального момента двигателя $M_{\text{дв.макс}}(\omega)$ в области кратковременной работы в относительных единицах, в сравнении с номинальным моментом M_n и угловой скоростью ω_n двигателя, а также зная эквивалентный статический момент нагрузки M_c и диапазон регулирования угловой скорости ($\omega_{\text{эп.мин}} \dots \omega_{\text{эп.макс}}$) валцов необходимо предварительно определиться с мощностью нагрузки валцов, а затем с номинальной мощностью и угловой скоростью двигателя и передаточным числом i передачи между двигателем и валцами. При этом во всем диапазоне регулирования скорости приведенный к валу двигателя эквивалентный статический момент нагрузки валцов $M_c/i\eta_n$ должен быть меньше или равен допустимому моменту двигателя $M_{\text{дв}}(\omega)$.

Выводы

1. Из рисунка 1 очевидно, что наилучшим образом, одновременно, по допустимому и максимальному моменту АД используются в диапазоне скоростей $(0,5-1,0)\omega_n$, несколько хуже по максимальному – АД в диапазоне $(1,0-1,5)\omega_n$. Следовательно, зная диапазон регулирования угловой скорости ($\omega_{\text{эп.мин}}-\omega_{\text{эп.макс}}$) и эквивалентный статический момент нагрузки M_c валцов с учетом этого обстоятельства определяется значение передаточного числа i механической передачи между АД и валцами, обеспечивающее

работу АД в общей области его длительной работы по допустимому моменту $M_{дв}(\omega)$ и мощности $P_{дв}(\omega)$ нагрузки (рисунок 1).

2. Двухзонное регулирование скорости АД наиболее эффективно использовать, когда момент нагрузки M_c уменьшается на верхних скоростях заданного диапазона регулирования скорости РО.

Список использованных источников

1. Фираго, Б.И. Теория электропривода: учебное пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн. : Техноперспектива, 2004. – 527 с.
2. Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие / Г.И. Драчев. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2005. – Часть 1. – 209 с.
3. Мальцева, О.П. Системы управления электроприводов : учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 82 с.
4. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. – 832 с.
5. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины / А.В. Иванов-Смоленский. – М. : Энергия, 1980. – 928 с.
6. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн. : Техноперспектива, 2006. – 363 с.
7. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик АД с к.з. ротором в двигательном и генераторном режимах при частоте напряжения питания обмоток статора выше номинальной / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2017. – № 3 (121). – С. 26–34.

Селюк Ю.Н.

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК**

В начальный период разработки и применения сельскохозяйственного электрооборудования его ТО, как правило, не проводилось, а все восстановительные работы выполнялись