

## УЧЕТ РЕЖИМОВ НАГРУЗКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ю. М. Башагуров, Э. К. Стрельбицкий

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Систематические недогрузки асинхронных двигателей электроприводов универсальных металлорежущих станков значительно снижают коэффициент мощности сети и создают большой неиспользованный резерв мощности.

Наличие этого резерва обусловлено не только естественным стремлением конструктора станков выбрать ближайший больший по существующей шкале электродвигатель, но и затруднениями, возникающими при определении максимальной потребляемой мощности для механизмов со сложными режимами работы. Этот резерв до некоторой степени является неизбежным, так как вытекает из самой природы многообразия случайных нагрузок, в которых работают универсальные металлорежущие станки.

Незнание фактических режимов работы приводов приводит к тому, что мощность и максимальный момент двигателя обычно выбирают значительно завышенными.

Кроме того, анализ данных типовых испытаний двигателей серии АО2 показал, что каталожные значения максимального момента для четырехполюсных двигателей занижены в среднем в 1,3 раза против действительных, а это создает еще больший запас мощности.

Экономически правильный выбор двигателей возможен лишь на основе законов распределения нагрузок на валу для определенных групп станков. Законы распределения могут быть получены в результате исследования режимов работы двигателей в эксплуатации.

Исследования нагрузок приводов базовых станков должны быть основополагающим этапом проектирования электроприводов для последующей гаммы однотипных одноразмерных станков, величины и характер нагрузок которых определяют выбор двигателей и заранее предопределяют их технико-экономические показатели в эксплуатации. Вопросу правильного выбора двигателя необходимо уделять серьезное внимание еще на стадии проектирования станков, поскольку замена недогруженных двигателей в масштабе народного хозяйства встречает непреодолимые трудности и повлечь за собой изменение структуры установленных двигателей можно в самой незначительной степени.

Исследования режимов работы универсальных металлорежущих станков, проведенные в 1959—1968 гг. на 17 крупных машиностроительных заводах страны, показали, что средняя нагрузка на валу двигателей даже при наиболее тяжелых условиях нагружения (обработка деталей

большого диаметра, обдирка и т. д.) не превышает 0,45 номинальной [1—5].

В машиностроении сосредоточено примерно 57 процентов всего парка станков, из них только 60—65 процентов в основном производстве, где эксплуатация ведется наиболее интенсивно. Четверть всего парка распылена по мелким цехам и мастерским небольших предприятий и учебных заведений [6]. В целом использование обследованных двигателей станочного парка по мощности составляет 20—40 процентов. Всего обследовано около 1500 токарных, фрезерных, сверлильных и других станков, полуавтоматов широкого назначения наиболее распространенных моделей.

При сравнении результатов исследований режимов нагрузок приводов однотипных станков с целью обобщения статистического материала необходимо принимать во внимание следующее.

В опубликованных работах представлены распределения различных видов нагрузок (на валу двигателей, потребляемой мощности, на 1 валу и шпинделе станков и т. д.). Это объясняется тем, что исследования проводились специалистами различных отраслей науки и техники: энергетиками, экономистами, станкостроителями, электромеханиками и др. Естественно, что цели исследований были различны: учет нагрузок только за машинное время, выбор наиболее загруженных режимов и т. д. Сами данные были получены различными методами (статистической обработкой технологических материалов, измерениями самопишущими приборами и т. д.), с различной точностью, по разным выборкам.

Тем не менее в статистических распределениях нагрузок наблюдается определенная закономерность: все гистограммы и полигоны мощностей в общем случае могут быть выравнены законом Вейбулла:

$$f(p) = \frac{m}{x_0} p^{m-1} \exp\left(-\frac{p^m}{x_0}\right), \quad (1)$$

где  $m$  и  $x_0$  — параметры распределения.

Формирование убывающей плотности распределения нагрузок обусловлено примерно показательным законом распределения весов и размеров деталей, составляющих изделие, преобладанием чистовых и получистовых операций и наличием значительной доли переходов и легких режимов (нарезания резьб, прорезания канавок, снятие фасок и т. д.).

Так как критериальной величиной при выборе двигателей для универсальных станков является величина максимального момента, то в распределениях мощностей очень важно знать область перегрузок. Вышеупомянутые тяжелые режимы, как правило, не увеличивают плотностей в области перегрузок, а только несколько повышают средние значения мощности.

Другим важным свойством исследованных распределений является относительная устойчивость их формы и параметров, что позволяет провести классификацию режимов нагружения всего металлорежущего оборудования. Проведение такой классификации имеет большое теоретическое и технико-экономическое значение.

Теоретическое значение классификации состоит в том, что мы устанавливаем некое устойчивое по времени правило, основанное на статистических закономерностях распределения режимов нагружения.

В технико-экономическом аспекте классификация открывает большие возможности для рационального выбора, эксплуатации и проектирования двигателей. В качестве классификационных признаков следует принять, во-первых, вид закона распределения и, во-вторых, параметры процесса (среднее значение и корреляционную функцию).

Уже сейчас можно утверждать, что нагрузки двигателей горного оборудования и некоторых групп металлорежущих автоматов распределены

по нормальному закону, а нагрузки универсального металлорежущего оборудования — по закону, близкому к показательному. Двигатели некоторых автоматических линий имеют равномерную плотность распределения нагрузок.

В дальнейшем нагрузки должны быть классифицированы по степени разброса и по степени затухания корреляционной функции.

Эффективность исследования режимов нагрузки нами показана на примере универсального токарно-винторезного станка модели 1К62. Эти станки, имея наибольший вес в парке универсального металлорежущего оборудования, характеризуются наиболее низкими средними нагрузками. Двигатель АО2-52-4 мощностью 10 кВт, установленный на станке, загружен (без учета холостого хода) в среднем на 14 процентов.

Плотность распределения мощности на валу подчиняется экспоненциальному закону

$$f(P_2) = 0,735 \exp(-0,735 P_2), \quad (2)$$

где  $P_2$  — в кВт.

Учитывая, что годовой выпуск станков 1К62 составляет около 20 тыс. шт., а закон распределения нагрузок на валу достаточно устойчив, представляется целесообразным создавать модификацию асинхронных двигателей с повышенной перегрузочной способностью специально для универсальных металлорежущих станков. Увеличение перегрузочной способности на 1—2 ступени шкалы мощностей позволит соответственно снизить номинальную мощность устанавливаемых двигателей.

Важным вопросом при проектировании такой модификации следует считать определение требуемого максимального момента, так как увеличение последнего в одних и тех же габаритах двигателя сопровождается ухудшением его энергетических показателей. При этом не следует ориентироваться на наибольшую в данных режимах нагрузку, учитывая, что область наибольших перегрузок обычно относится к отдельным группам станков в определенных областях производства. Поэтому рациональнее выпускать станки 1К62 с двумя вариантами двигателей по мощности, т. е. двигатель 10 кВт устанавливать только по требованию заказчика.

В данном случае максимальный момент нужно иметь примерно равный 11—12 кгм, что соответствует фактическому, максимальному моменту двигателя АО2-51-4.

Томским политехническим институтом совместно с СКБ электромашиностроения был спроектирован такой двигатель применительно к станку 1К62 на базе серийного двигателя АО2-42-4, предназначенный для замены ныне используемого двигателя АО2-52-4. Были сохранены все основные и габаритно-установочные размеры двигателя АО2-42-4.

Повышение перегрузочной способности осуществлено путем увеличения магнитного потока на 14 процентов при некотором увеличении ширины зубцов статора и ротора, так что индукция в зубцах и спинке статора составила соответственно 1,66 и 1,50 тл.

При насыщении стали появляется эффект вытеснения потока из спинки статора в корпус. Поэтому проведены дополнительные исследования по определению влияния добавочных потерь в нем на к. п. д. двигателя.

Геометрия зубцовой зоны была оптимизирована на ЭЦВМ М-20. В качестве целевой функции при оптимизации геометрии принята сумма затрат на изготовление и стоимость потерь при средней фактической нагрузке.

Увеличение магнитного потока приводит к повышению кратности пускового тока ( $I_K/I_H = 8 \div 10$ ) и большей скорости нарастания температуры обмотки статора в режимах короткого замыкания ( $T = 9 \div 12^\circ \text{C/сек}$ ).

Однако, поскольку в проектируемой гамме станков предполагается применять тиристорные пускатели и эффективные встроенные защиты, указанное обстоятельство не снижает срок службы обмотки.

Опытный образец двигателя с условным названием АОМ 2-42-4 был изготовлен в СКБЭМ. В табл. 1 приводятся его основные данные.

Годовой выпуск предлагаемой модификации двигателей для новой гаммы токарных станков составляет 20 тыс. шт., при этом ожидаемая эффективность от внедрения указанного выпуска по данным ЭНИМСа составит 300 тыс. руб. в год.

Таблица 1

	АО2-42-4	АОМ2-42-4	АО2-51-4	АО2-52-4
$P_2$ , кВт	5,5	5,5	7,5	10
$M_m$ , кгм	7,4	11,4 *	10,0	13,3
$M_m/M_n$	2,0	3,1 *	2,0	2,0
$M_n$ , кгм	5,5	6,0 *	7,0	9,3
$M_n/M_n$	1,5	1,6 *	1,4	1,4
$I_n$ , а	11,0	12,4 *	14,5	19,2
$\cos\varphi_n$	0,86	0,85 *	0,88	0,88
$\eta_n$ , %	88	86,8 *	89	90
Вес, кг	68	69	90,5	104
Стоимость, руб.	52	—	84	100

Примечание: «звездочкой» обозначены опытные данные.

### Выводы

1. Установлены закономерности режимов нагружения электродвигателей приводов универсальных металлорежущих станков и проведена предварительная их классификация по однотипному оборудованию.
2. На примере станка модели 1К62 показана эффективность создания специальной модификации асинхронных двигателей для привода универсальных металлорежущих станков.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Р. М. Пратусевич. Эксплуатационные режимы нагружения универсальных станков. «Станки и инструмент», № 6, 1960.
2. Р. М. Пратусевич. Эксплуатационные нагрузки станков. «Станки и инструмент», № 8, 1963.
3. ЭНИМС. Расчетные нагрузки станков, руководящие материалы, 1964.
4. Д. С. Львов. Основы экономического проектирования машин, «Экономика», 1966.
5. Ю. М. Башагуров, А. С. Гитман, Э. К. Стрельбицкий. Исследование режимов работы электродвигателей универсальных металлорежущих станков, Известия ТПИ, № 172, 1967.
6. Л. М. Лыч, М. В. Ильенченко, Д. Б. Рикберг, В. Г. Шалита. Экономика использования машиностроительного оборудования, «Техника», 1967.