

Предлагаемая методика позволила повысить объективность расчетов величины компенсации, ступени и числа ступеней компенсации путем учета случайного характера погрешностей сборочных работ и оснастки. Она может быть полезна инженерам-технологам, занимающимся проектированием техпроцессов сборки машин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник / А. А. Маталин. – 5-е изд., стер. – СПб: Лань, 2020. – 512 с.: ил.
2. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин – М. : Машиностроение, 1980 – 110 с.: ил.
3. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Гусев [и др.] – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.
4. Балакшин, В. С. Основы технологии машиностроения / В. С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1969. – 358 с.

УДК 621.83.061.1

АНАЛИЗ МЕТОДИК ВЫБОРА МОТОР-РЕДУКТОРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Монтик С. В.

*Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь*

Надежность и долговечность электромеханического привода во многом зависит от правильности выбора применяемого мотор-редуктора. Выполним анализ используемых для этого методик. Сложившаяся в странах СНГ практика выбора мотор-редукторов несколько отличается от зарубежной.

При использовании зарубежной методики выбор мотор-редуктора происходит с применением сервис-фактора (FS), который учитывает режим эксплуатации мотор-редуктора.

Американская ассоциация производителей зубчатых колес (The American Gear Manufacturers Association) AGMA в стандарте ANSI/AGMA 2001-D04 [1] указывает, что сервис-фактор традиционно используется как множитель номинальной рабочей нагрузки для выбора из каталога разработанных редукторов и характеризует приложенные повышенные нагрузки, надежность, долговечность. Сервис-фактор задается для редуктора в зависимости от опыта эксплуатации в конкретной области применения. Сервис-фактор должен быть применен только для привода в сборе и в случае отсутствия более определенных данных о нагрузке.

ООО «НТЦ Приводная Техника» [2] для выбора модернизированных червячных (тип 7МЧ-М) и цилиндрико-червячные (тип 7МЦЧ-М) мотор-редукторов собственного производства, сборка которых производится как из импортных, так

и из отечественных комплектующих, рекомендует использовать зарубежную методику с применением сервис-фактора (коэффициента эксплуатации) FS [2, 3].

Для определения сервис-фактора необходимо знать: характер нагрузки, продолжительность работы привода в сутки, число включений в час.

Продолжительность работы в сутки и число включений в час назначаются исходя из технологического процесса или технического задания на проектирование электромеханического привода технологического оборудования.

Характер нагрузки определяется по соотношению моментов инерции ротора электродвигателя I_p , кг · м² и момента инерции нагрузки, приведенного к ротору электродвигателя $I_{пр}$, кг · м². Приведенный момент инерции нагрузки определяется:

$$I_{пр} = I_{НАГР}/i^2, \quad (1)$$

где $I_{НАГР}$ – момент инерции нагрузки на выходном валу редуктора, кг · м²; i – передаточное отношение редуктора.

Нагрузки условно делятся на три группы:

– «А» – спокойная безударная, момент инерции ротора двигателя больше момента инерции нагрузки, приведенного к быстроходному валу: $I_p > I_{пр}$ (это условие почти всегда выполняется, если передаточное отношение редуктора достаточно велико);

– «В» – нагрузка с умеренными ударами, момент инерции нагрузки, приведенный к быстроходному валу не более чем в три раза превышает момент инерции ротора двигателя: $I_{пр}/I_p < 3$;

– «С» – нагрузка с сильными ударами – приведенный момент инерции более чем в три раза превышает момент инерции ротора электродвигателя: $I_{пр}/I_p > 3$.

Сервис-фактор определяется как произведение двух коэффициентов:

$$FS = f_B \cdot f_A, \quad (2)$$

где f_B – коэффициент, зависящий от характера нагрузки и продолжительности работы привода в сутки; f_A – коэффициент, зависящий от числа включений в час.

Выбор типоразмера мотор-редуктора осуществляется из каталога, исходя из требуемой мощности привода P_1 , кВт, частоты вращения выходного вала мотор-редуктора n_2 , мин⁻¹, крутящего момента на выходном валу M_2 , Н · м, расчетного сервис-фактора FS . При это следует выбирать мотор-редуктор с ближайшим большим сервис-фактором.

Указанные в таблицах каталога сервис-фактор FS показывает связь между максимально допустимым моментом M_{2lim} , передаваемым мотор-редуктором, и крутящим моментом на выходном валу M_2 [2]:

$$FS = M_{2lim}/M_2. \quad (3)$$

Также при выборе мотор-редуктора необходимо учитывать требуемый ресурс работы мотор-редуктора, т. к. в каталоге приводятся параметры для ресурса 15000 мото-часов. Для вычисления предельно допустимого момента для редуктора или сервис-фактора для мотор-редуктора при других значениях ресурса L необходимо умножать приведенные в каталоге значения на поправочный коэффициент [2]:

$$M_{2L} = M_{2\ 15000ч} \cdot K, \quad (4)$$

$$FS_L = FS_{15000ч} \cdot K. \quad (5)$$

Так, для ресурса 10 000 мото-часов (именно такой ресурс применяется в расчетах большинство производителей компонентов электромеханического привода) значение поправочного коэффициента будет равно 1,15 [2].

Аналогичный подход для определения сервис-фактора для червячных редукторов и мотор-редукторов серии NMRV используется итальянской компанией MOTOVARIO, но с учетом температуры окружающей среды [4]. Если требуется подобрать мотор-редуктор по крутящему моменту на выходном валу M_2 , то следует определить требуемый максимальный крутящий момент развиваемый редуктором:

$$M_{2n} \geq M_2 \cdot FS, \quad (6)$$

где FS – сервис-фактор, M_{2n} – ближайшее большее значение из таблиц с техническими характеристиками мотор-редукторов [4].

Действующий в странах СНГ межгосударственный стандарт ГОСТ 21354-87 «Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность» вводит понятие о типовых и эквивалентных режимах нагружения. Были проведены исследования для установления соответствия между значениями сервис-фактора и типовыми режимами нагружения, которые показали, что, несмотря на разные методы определения между данными параметрами, существует однозначная зависимость (см. таблицу 1) [3].

Таблица 1 – Соответствие между режимами нагружения и значением сервис-фактора [3]

Типовой режим нагружения по ГОСТ 21354	0 Постоянный	1 Тяжелый	2 Средний равновероятный
Сервис-фактор FS	2,8 – 3,0	2,4 – 2,6	1,8 – 2,0
Типовой режим нагружения по ГОСТ 21354	3 Средний нормальный	4 Легкий	5 Особо легкий
Сервис-фактор FS	1,8–2,0	1,4–1,6	1,1–1,3

В НТЦ «РЕДУКТОР» предлагают свою методику выбора типоразмера мотор-редуктора [5]. Мотор-редукторы, применяемые в приводах промышленного оборудования, эксплуатируются в самых различных условиях и режимах работы, что необходимо учитывать при выборе мотор-редуктора, поэтому исходными данными для выбора являются: расчетный крутящий момент T_{2P} , воспринимаемый выходным валом мотор-редуктора и соответствующий нормально протекающему (установившемуся) процессу работы приводимого механизма, Н·м; расчетная частота вращения выходного вала n_{2P} , мин⁻¹; расчетная радиальная консольная нагрузка F_{RAP} на выходном валу мотор-редуктора, Н; требуемая долговечность червячного зацепления, ч; характер внешней нагрузки; время работы в сутки, ч; количество пусков в час; продолжительность включения в течение одного часа (ПВ), %; тип применяемой смазки; наличие упругих элементов (муфты, ремни и др.) на выходном валу мотор-редуктора; наличие реверсивного движения; режим ввода в эксплуатацию; температура окружающей среды, °С.

Также следует учесть требуемые конструктивные особенности мотор-редуктора: вариант сборки; вариант расположения мотор-редуктора в пространстве (червячный вал под колесом, червячный вал над колесом, вал колеса вертикальный, червячный вал вертикальный); конструктивное исполнение по способу монтажа (на лапах, на фланце, с реактивной штангой); особенности исполнения выходного вала; особенности исполнения электродвигателя; габаритные и присоединительные размеры.

Первоначально, учитывая требуемую частоту вращения выходного вала, n_{2P} определяют тип мотор-редуктора. В случае, если для данной частоты возможно использовать разные типы мотор-редукторов, выбирается лучший вариант, соответствующий тем или иным существенным требованиям эксплуатации: с максимальным крутящим моментом или КПД, с минимальными габаритами и массой, с наибольшими долговечностью и экономичностью.

Исходя из условий и режимов эксплуатации мотор-редуктора, определяем значение эксплуатационного коэффициента $K_{Э}$, учитывающего фактический режим работы мотор-редуктора, по формуле [5]:

$$K_{Э} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8, \quad (7)$$

где K_1 – коэффициент характера эксплуатации редуктора; K_2 – коэффициент смазки; K_3 – коэффициент наличия упругих элементов; K_4 – коэффициент реверсивных пусков; K_5 – коэффициент режима ввода редуктора в эксплуатацию; K_6 – коэффициент расположения червячной передачи в пространстве при расположении червячной пары выходной ступени; K_7 – температурный коэффициент; K_8 – коэффициент долговечности. Если значение $K_{Э} > 3$, то для дальнейших расчетов принимается $K_{Э} = 3$.

Для определения типоразмера мотор-редуктора находим значение расчетно-эксплуатационного крутящего момента $T_{2PЭ}$ на его выходном валу по формуле

$$T_{2PЭ} = T_{2P} \cdot K_{Э}. \quad (8)$$

Далее по каталогу данного производителя по техническим характеристикам мотор-редукторов выбирают минимально допустимый типоразмер мотор-редуктора, который удовлетворяет условиям $n_2 \approx n_{2P}$, $T_2 \geq T_{2PЭ}$. Для выбранного мотор-редуктора также сравнивают расчетную величину радиальной консольной нагрузки на выходном валу с допускаемой.

Данная методика наиболее полно учитывает условия работы мотор-редуктора, при этом коэффициент характера эксплуатации редуктора K_1 наиболее близок по значению к сервис-фактору.

Каждую из рассмотренных методик выбора мотор-редуктора следует применять для продукции конкретного производителя.

Выполним подбор червячного мотор-редукторов для электромеханического привода подъемника (прототип модель ПЛД-3 [6]). Требуемые параметры привода подъемника определялись по методике, изложенной в [7]. В результате расчета были получены следующие параметры для выбора мотор-редуктора: крутящий момент на выходном валу $M_2 = 65,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$; частота вращения выход-

ного вала $n_2 = 124,8 \text{ мин}^{-1}$; требуемая мощность электродвигателя $P_1 = 1,1 \text{ кВт}$; частота вращения вала электродвигателя (частота на входном валу мотор-редуктора) $n_1 = 1400 \text{ мин}^{-1}$ (синхронная частота 1500 мин^{-1}); требуемое передаточное отношение мотор-редуктора составляет $i = 11,21$; требуемый ресурс мотор-редуктора $10\,000$ мото-часов.

Выполняем подбор червячного мотор-редуктора ООО «НТЦ Приводная Техника» типа 7МЧ-М по методике, изложенной в [2]. Исходя из режима работы подъемника значение сервис-фактора составляет $FS=0,8$. Выбираем мотор-редуктор 7МЧ-М-60 со следующими параметрами: $n_2 = 140 \text{ мин}^{-1}$; $i = 10$; $M_2 = 63 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $FS=2,1$; $P_1 = 1,1 \text{ кВт}$. Значение крутящего момента ниже требуемого, однако с учетом требуемого ресурса крутящий момент $M_{2_{10000ч}} = 72,45 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

При выборе червячного мотор-редуктора НТЦ «РЕДУКТОР» по методике [5] значение эксплуатационного коэффициента $K_3 = 0,94$; расчетно-эксплуатационный крутящий момент на выходном валу $T_{2PЭ} = 61,57 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Выбираем мотор-редуктор МЧ-63 со следующими параметрами: $n_1 = 1500 \text{ мин}^{-1}$; $n_2 = 120 \text{ мин}^{-1}$; $i = 12,5$; $T_2 = 93 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $P_1 = 1,3 \text{ кВт}$; КПД мотор-редуктора $\eta = 0,88$.

Рассмотренные методики выбора мотор-редукторов могут использоваться студентами специальности 1 – 37 01 06 Техническая эксплуатация автомобилей при проектировании привода электромеханического подъемника при выполнении курсового проекта по дисциплине «Механизация процессов технической эксплуатации».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ANSI/AGMA 2001-D04, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agma.org/standards/ansi-agma-2001-d04/>. – Дата доступа: 28.09.2022.
2. Сайт ООО «НТЦ Приводная Техника». Редукторы и мотор-редукторы. Технический каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://privod.ru/upload/files/Каталог_механика_полный.pdf. – Дата доступа: 28.09.2022.
3. Сайт ООО «НТЦ Приводная Техника». Инструкция по эксплуатации. Мотор-редукторы 7-й серии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://privod.ru/upload/files/Инструкция_по_эксплуатации_7МЧМ_версия_13-12-18.pdf – Дата доступа: 28.09.2022.
4. Сайт ООО «Редуктор». Сервис-фактор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://motor-reduktor-nmrv.ru/content/reduktor/pics/catalog/service-factor-worm-gear-reducer.pdf>. – Дата доступа: 28.09.2022.
5. Сайт НТЦ «РЕДУКТОР». Редукторы, мотор-редукторы червячные модернизированные. Каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://reduktorntc.ru/wp-content/uploads/Reduktory-i-motor-reduktory-chervyachnye-modernizirovannye-seriya-M.pdf> – Дата доступа: 28.09.2022.
6. Подъемник ПЛД-3. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.asopskov.ru/storage/repeater_catalog_docs/doc_22_0.pdf. – Дата доступа: 28.09.2022.

7. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплинам «Средства технического оснащения автосервиса», «Механизация процессов технической эксплуатации» для студентов специальностей 1-37 01 07 «Автосервис», 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей» : в 2 частях / сост. С.В. Монтик, Я. А. Акулич, Ф. М. Санюкевич. – Брест : БрГТУ, 2019. – Часть 2. – 42 с.

УДК 517.2, 519.7, 531.36, 681.3.06

О РЕШЕНИИ ОДНОЙ МОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ

Назаров С., Рахимов М., Аннабердиев Ш.

Государственный энергетический институт Туркменистана

1. В работе предлагается аналитическое решение одной модельной задачи оптимального конструирования динамики движения материальной точки, которая возникает при производстве и расчете параметров различных технических конструкций. Движение рассматриваемой материальной точки $x(t)$ при каждом t в начальный период времени происходит в «цилиндрической трубке» длины l . В начальный момент времени ($t = 0$) материальная точка принимает точное (импульсное) возмущение со скоростью ϑ_0 , под действием которой «цилиндрическая трубка» как стержень совершает продольные колебания вдоль своей оси симметрии or . После сравнительно короткого времени $t = \tau$ материальная точка, вылетая из трубки, совершает полет вдоль продолжения симметрии трубки [1–3].

Допустим, что при настильной стрельбе центр тяжести материальной «точки-снаряда» движется равномерно и прямолинейно. Движение снаряда вокруг центра масс характеризуется следующими величинами [3]:

α – углом между осью и направлением движения снаряда;

β – углом между осью снаряда и ее проекцией на вертикальную плоскость;

n – проекцией угловой скорости вращения снаряда на его ось.

Известно, что при малых n снаряд начинает «кувыркаться» в полете. При этом α и β сильно меняются и точность стрельбы резко падает. Наоборот, при больших n «кувырканий» не происходит, углы α и β незначительно меняются во время полета и при этом достигается меньшее рассеивание снаряда. Изменяя параметры нарезки ствола орудия, можно менять n и тем самым добиваться устойчивости полета снаряда.

Пусть C – момент инерции снаряда относительно его оси; A – момент инерции относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести; l – расстояние от центра давления (так называется точка, где приложены силы сопротивления воздуха); R – лобовое сопротивление.

Найдено необходимое и достаточное условие (условие Маиевского – Крылова) устойчивости полета без «кувырканий» [3]:

$$n^2 > \frac{AlR}{C^2}. \quad (\text{МК})$$