

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАТОЧНОГО ОТНОШЕНИЯ РЕДУКТОРА ПО ЦЕНОВОМУ КРИТЕРИЮ

Плотников С.М., Плотникова С.П.

Ключевые слова: электродвигатель, редуктор, передаточное число, ценовой минимум.

Аннотация. На основании зависимостей цены асинхронного двигателя от его скорости и цены редуктора от его передаточного числа получено выражение оптимального передаточного отношения, при котором стоимость комплекса двигатель-редуктор минимальна. Методика расчета комплекса рассмотрена на примере двигателя мощностью 7,5 кВт и цилиндрического редуктора.

GEAR TRANSMISSION RATIO OPTIMIZATION BY PRICE CRITERION

Plotnikov S.M., Plotnikova S.P.

Keywords: electric motor, gearbox, gear ratio, minimum price.

Abstract. Based on the dependences of the price of an induction motor on its speed and the price of the gearbox on its gear ratio, an expression of the optimal gear ratio is obtained, at which the cost of the motor-gearbox complex is minimal. The calculation method is considered on the example of an motor with a power of 7.5 kW and a cylindrical gearbox.

Выбор оптимального передаточного отношения является важным вопросом в теории электропривода. При этом целью оптимизации является достижение минимального времени разгона или торможения привода [1]. Этот вопрос касается лишь небольшой части приводов, которые работают с частыми пусками. В связи со сложившейся в настоящее время экономической ситуацией, для большинства электроприводов сегодня более актуальна другая задача: минимизация цены комплекса электродвигатель-редуктор.

Привод механизма можно реализовать двумя путями:

- использовать мотор-редуктор, который не требуют соединительных муфт между элементами, т.к. двигатель прикреплен непосредственно к редуктору;

- сочленить двигатель и редуктор.

Недостаток первого способа – высокая стоимость мотор-редукторов и их поставка под заказ. Если отдельно приобрести редуктор, электродвигатель и соединительные муфты, изготовить площадку для их крепления и произвести работы по сборке, то сумма затрат на это будет на 20-25% меньше, чем стоимость аналогичного мотор-редуктора.

В большинстве случаев выбор редуктора сводится к подбору его по мощности электродвигателя и частоте вращения на выходном валу. При этом можно взять более дешевый высокоскоростной двигатель и более дорогой редуктор с большим передаточным отношением или, напротив, выбрать дорогостоящий тихоходный двигатель и более легкий редуктор с малым передаточным отношением. Для минимизации комплексной цены двигатель-редуктор целесообразно определить оптимальное передаточное отношение такой системы.

Стоимость асинхронного двигателя нелинейно снижается по мере увеличения его синхронной скорости – при этом уменьшаются его габариты (высота оси вращения). Зависимость стоимости двигателя от передаточного отношения i наиболее близко соответствует логарифмическому выражению

$$C_d = a - b \cdot \ln i, \quad (1)$$

где a, b – соответственно начальное значение цены и коэффициент жесткости логарифмической кривой.

Цена редуктора растет с ростом количества ступеней (передаточного числа). Зависимость стоимости редуктора можно аппроксимировать линейным уравнением

$$C_p = c + d \cdot i, \quad (2)$$

где c, d – соответственно начальное значение цены и коэффициент наклона линии.

Уравнение суммарной стоимости комплекса

$$C = C_d + C_p = a - b \cdot \ln i + c + d \cdot i.$$

Производная данной величины

$$(C)^I = -b / i + d.$$

Приравняв производную нулю, получим оптимальное значение передаточного отношения, при котором стоимость комплекса минимальна

$$i_{\text{опт}} = b / d. \quad (3)$$

Из (3) следует, что оптимальное передаточное отношение не зависит от начальных значений цен, а определяется только коэффициентами наклона зависимостей цены двигателя и редуктора от передаточного числа (скорости).

Расчет оптимального передаточного отношения рассмотрим на примере асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором серии АИР мощностью 7,5 кВт с номинальным скольжением 4%, сочлененного с цилиндрическим редуктором типа 1Ц, выходной вал которого вращается со скоростью 120 об/мин. Цены на двигатели серии АИР мощностью 7,5 кВт [2] представлены в таблице 1.

Табл. 1. Стоимость двигателей серии АИР

Тип двигателя	АИР160S8	АИР132M6	АИР132S4	АИР112M2
Синхронная скорость, об/мин	750	1000	1500	3000
Номинальная скорость, об/мин	720	960	1440	2880
Требуемое передаточное число	6	8	12	24
Цена двигателя, тыс.руб	23,1	16,2	14,2	10,8

Стоимость редуктора повышается с увеличением числа ступеней. В таблице 2 представлены цены на 1, 2 и 3-ступенчатые цилиндрические редукторы серии 1Ц [3].

Табл. 2. Стоимость редукторов

Тип редуктора	1ЦУ-160	1Ц2У-160	1Ц3У-160
Передаточное число	2...6,3	8...31,5	31,5...200
Цена редуктора, тыс.руб	14	19	25

Зависимости стоимости двигателя от его синхронной скорости, переведенной в передаточное отношение, и стоимости редуктора, выходной вал которого имеет скорость 120 об/мин, схематично представлены на рисунке 1. Для других мощностей двигателя кривая 1 смещается вдоль оси ординат, не меняя своей формы. На рисунке отражено то, что до передаточного числа $i = 6$ используется одноступенчатый редуктор, до 31,5 – двухступенчатый и свыше 31,5- трехступенчатый.

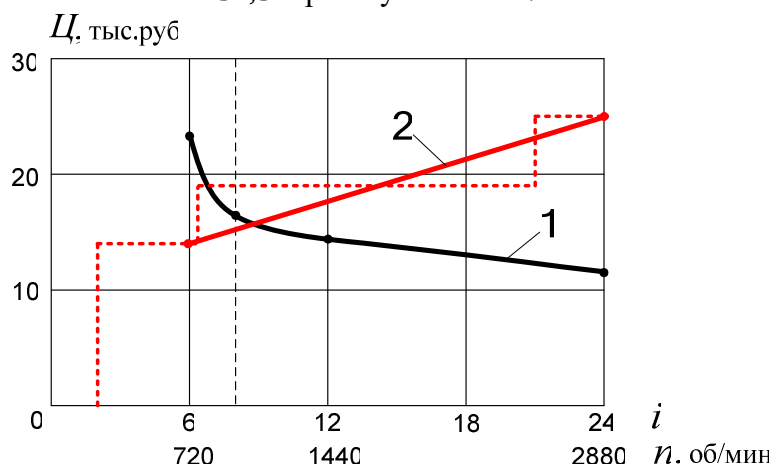


Рис. 1. Зависимость стоимости двигателя (1) и редуктора (2) от передаточного отношения

Для рассматриваемого примера $a = 40$, $b = 9,3$, $c = 10$, $d = 0,65$. Цены, рассчитанные с учетом данных коэффициентов, с погрешностью до $\pm 3\%$ соответствуют ценам на двигатель и редуктор, представленным в таблицах 1, 2. Передаточное отношение, определенное по формуле (3), $i_{\text{опт}} = 14,3$. Этому значению соответствует двигатель с синхронной скоростью 1500 об/мин в сочетании с двухступенчатым редуктором, общая цена которых составляет 33,2 тыс. руб.

Таким образом, для определения минимальной цены комплекса двигатель-редуктор необходимо рассчитать коэффициенты уравнений (1), (2) и подставить их в формулу (3). Представленная методика позволяет быстро и качественно произвести инженерный выбор комплекса двигатель-редуктор.

Список литературы

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 376 с.
2. Прайс-лист компании «Электромотор». <http://electronpo.ru/price>

3. Прайс-лист компании «Промпривод» http://promprivod.ru/useruploads/files/price/1_price_gearboxes_2016.pdf

References

1. Chilikin M.G., Sandler A.S. General course of electric drive. – M.: Energoizdat, 1981. – 376 p.
2. The price list of the company "Electromotor". <http://electronpo.ru/price>
3. The price list of the company "Promprivod". http://promprivod.ru/useruploads/files/price/1_price_gearboxes_2016.pdf

Плотников Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, Сибирский государственный университет науки и технологий имени М.Ф. Решетнева, г.Красноярск, Россия, smplochnikov@rambler.ru	Plotnikov Sergey Mikhailovich – doctor of technical sciences, associate professor, professor of Department Automation of Technological Processes, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia, smplochnikov@rambler.ru
Плотникова Светлана Петровна – доцент, доцент кафедры организации экономики сельскохозяйственного производства, Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия, spplotnikova@mail.ru	Plotnikova Svetlana Petrovna – associate professor of Department of Agricultural Economics, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia, spplotnikova@mail.ru

Received 04.06.2020