

ВЫБОР ХАРАКТЕРНОГО РАЗМЕРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА АНТЕННЫ

А. Б. Захаренко, Н. А. Белокурова, Н. А. Красова

Главные размеры электродвигателя определяются электромагнитным моментом и выбираются, как правило, исходя из формулы для постоянной Арнольда. Конструкция направленной антенны с приводом накладывает ограничение на конфигурацию и диаметр встраиваемого приводного электродвигателя. Поскольку диаметр электродвигателя, являющегося основанием азимутального электропривода, определяется диаметром кольцевой фермы, его величина выбирается исходя из максимизации значения низшей резонансной механической частоты конструкции. Предложена методика выбора оптимального диаметра электродвигателя для прямого электропривода антенно-фидерной системы с учетом ее механических характеристик.

Ключевые слова: синхронный электродвигатель, прямой электропривод, направленная антенна.

Наиболее актуальным в настоящее время является создание высокоскоростных радиолиний космических аппаратов (КА) на основе направленных антенн. Характерным для направленной антенны Ка-диапазона является то, что сверхвысокочастотный (СВЧ) сигнал может распространяться при относительно низких потерях только по жестким кабелям или волноводам. Нацеливание антенны на наземные станции приема осуществляется двухкоординатным электроприводом [1].

При проектировании антенны и электропривода, кроме величины управляющего момента, необходимо учитывать ограничения, накладываемые требованиями к бортовой аппаратуре КА:

- с одной стороны, суммарная масса антенно-фидерной системы должна быть снижена;
- с другой стороны, должна быть обеспечена достаточная жесткость конструкции антенны с приводом, которая не должна иметь резонансных механических частот ниже 40 Гц.

Следует отметить, что наибольшую вероятность безотказной работы обеспечивает прямой электропривод, построенный на основе многополюсной синхронной электромашины. При классическом проектировании внешний диаметр электродвигателя определяется электромагнитным моментом и выбирается исходя из формулы для постоянной Арнольда [2]. Либо находится в соответствии с известной «привязкой» высоты оси вращения электродвигателя к мощности, как это описано, например, для асинхронных двигателей в [3]. Задачей настоящей статьи является обоснование выбора внешнего диаметра встраиваемого электродвигателя исходя из максимизации низшей резонансной механической частоты конструкции направленной антенны, основанием которой он является.

Для оптимизации диаметра подшипника D_n электродвигателя необходимо рассчитать резонансные механические частоты конструкции

направленной антенны перспективного космического аппарата.

Двухзеркальная направленная антенна с механическим нацеливанием, согласно [1], приведена на рис. 1. Вращение относительно корпуса космического аппарата осуществляется посредством подшипника 1. Прямой электропривод поворота по углу азимута приводится во вращение многополюсным электродвигателем с внешним ротором 2, который находится у основания кольцевой фермы 3. Диаметр подшипника D_n электродвигателя 2 приблизительно равен диаметру кольцевой фермы 3 направленной антенны. К кольцевой ферме 3 крепятся кронштейн 4 контррефлектора 5 и кронштейн 6 крепления рефлектора 7. Электродвигатель 2 поворачивает на заданный угол азимута контррефлектор 5 и узел крепления рефлектора 7 вокруг оси облучателя 8, жестко закреплённого на волноводе. Второй электродвигатель 9 поворачивает на заданный угол места узел угломестного электропривода с рефлектором 7.

Активная длина электродвигателя может быть выбрана с использованием формулы для постоянной Арнольда исходя из необходимости обеспечения заданного пускового момента M_{Π} , то есть для преодоления момента трения покоя электропривода с квалификационным запасом:

$$l_{\delta 1} = \frac{M_{\Pi}}{30} \frac{1}{D_i^2 \pi \alpha_{\delta} \tau A B_{\delta}}, \quad (1)$$

где D_i – внутренний диаметр ротора электродвигателя; $\alpha_{\delta} \tau$ – абсолютная длина полюсной дуги; A – линейная токовая нагрузка; B_{δ} – магнитная индукция в воздушном зазоре. При этом для электродвигателя с внешним ротором

$$D_i = D_n - 2(h_a + h_m), \quad (2)$$

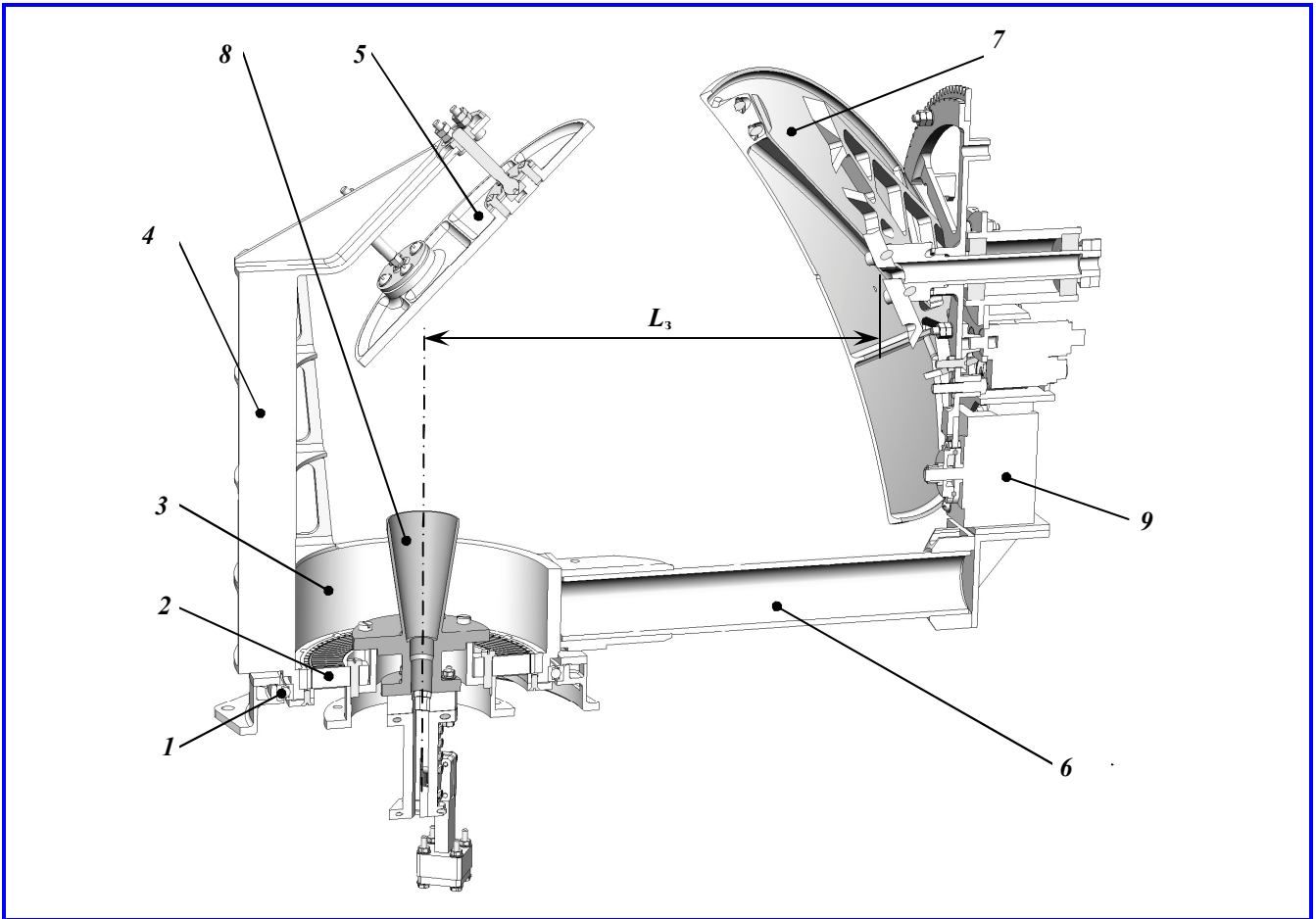


Рис. 1. Сечение двухзеркальной направленной антенны с механическим нацеливанием

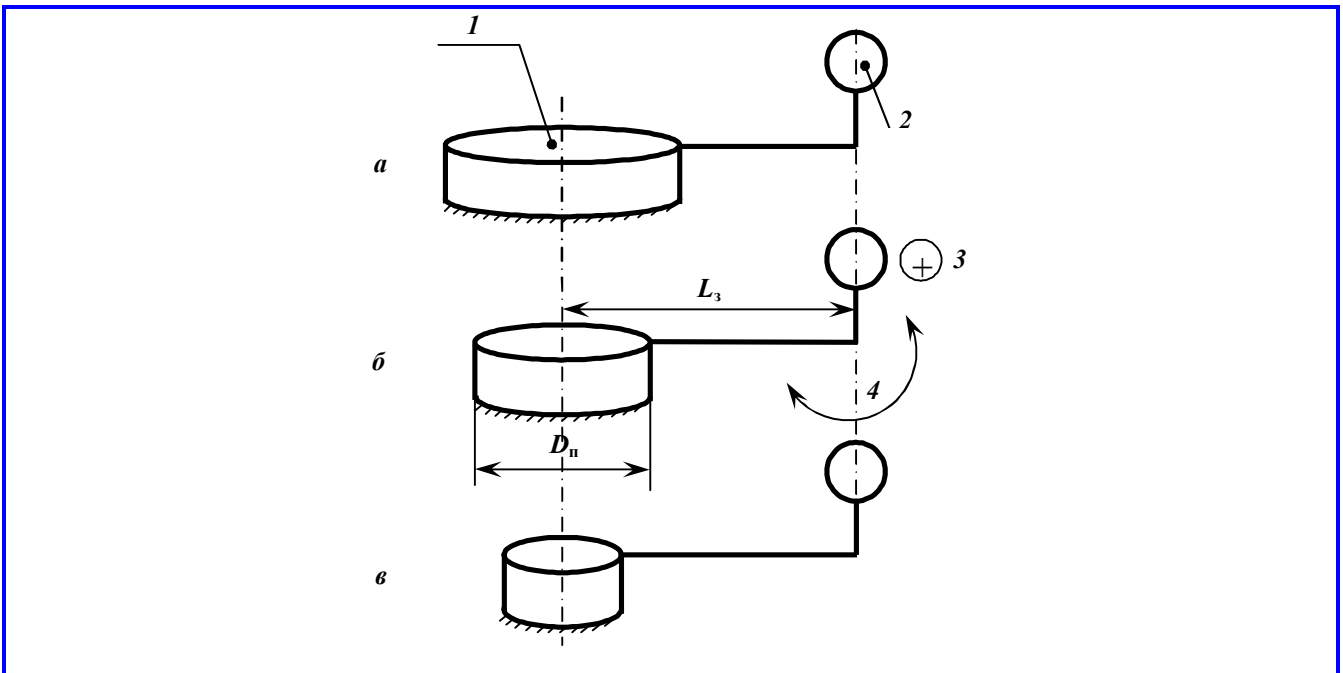


Рис. 2. Упрощенные модели конструкций направленной антенны, анализируемые при оптимизации диаметра D_n

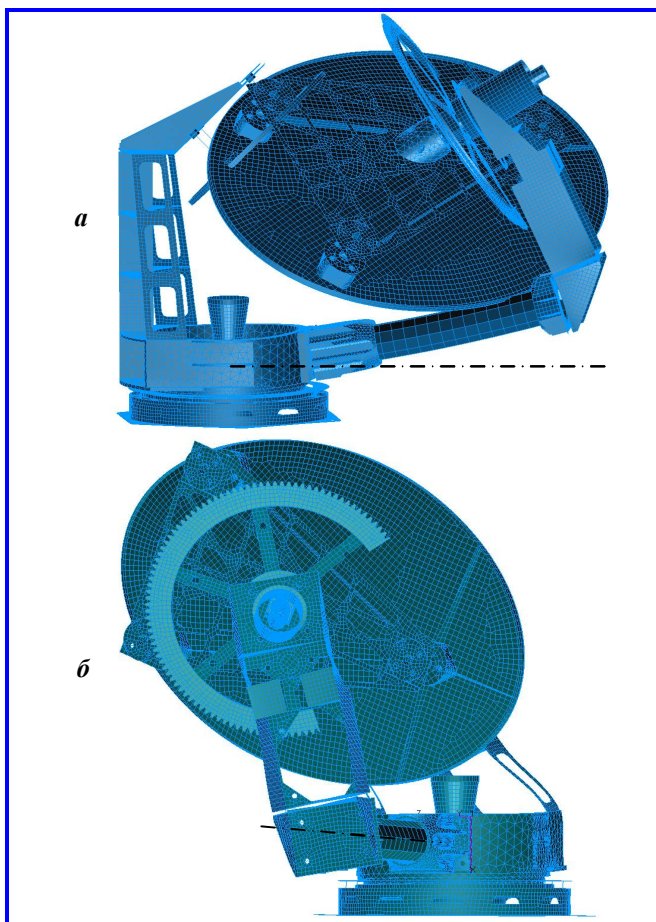


Рис. 3. Низшие поперечная (а) и продольная (б) формы колебаний конструкции направленной антенны

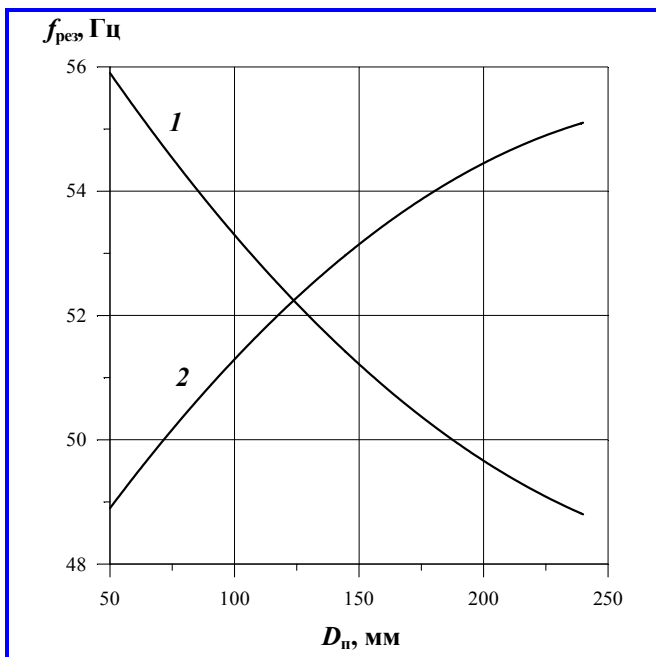


Рис. 4. Зависимости частот низших форм колебаний от диаметра подшипника электродвигателя: 1 – поперечная форма колебаний; 2 – продольная форма колебаний

где h_a – высота ярма ротора; h_m – высота постоянного магнита. Таким образом, с использованием формул (1) и (2) и результатов настоящей статьи может быть определён объем электродвигателя прямого привода направленной антенны.

Для снижения массы конструкции привода диаметр подшипника D_n , приблизительно равный внешнему диаметру ротора, должен соответствовать диаметру кольцевой фермы, основанием которой он является. Этот диаметр подлежит оптимизации по критерию максимизации низшей резонансной механической частоты ($D_n = \text{var}$).

Размер L_3 (рис. 1), определяющий расстояние между осью рупора δ и центром рефлектора 7 , должен остаться неизменным при оптимизации ($L_3 = \text{const}$).

Методика выбора оптимального внешнего диаметра электродвигателя заключается в том, что методом конечных элементов необходимо провести расчеты резонансных механических частот конструкции антенны с электроприводом. По результатам расчетов необходимо выбрать конструкцию антенны с наибольшей низшей резонансной механической частотой. В точке пересечения зависимостей низших резонансных механических частот (продольной и поперечной) от диаметра кольцевой фермы у этой конструкции будет оптимальный диаметр подшипника D_n .

На рис. 2 представлен ряд упрощенных моделей конструкции, где 1 – кольцевая ферма, имеющая диаметр D_n , подлежащий оптимизации; 2 – узел угломестного электропривода с рефлектором, расположенным на фиксированном расстоянии L_3 от оси поворота. Этот рисунок иллюстрирует рассматриваемые в процессе оптимизации модели, они отличаются перераспределением расстояния L_3 между опорой и консольной частью кронштейна. Для оптимизации будем рассматривать два взаимно перпендикулярных направления форм колебаний конструкции: направление продольных колебаний 3 и направление поперечных колебаний 4 (рис. 2).

Анализ упрощенных моделей конструкций направленной антенны (рис. 2) говорит о том, что с увеличением диаметра D_n :

- жесткость кольцевой фермы уменьшается;
- длина кронштейна уменьшается, а его жесткость увеличивается;
- изгибающий момент, действующий на кронштейн (в связи с уменьшением плеча, то есть длины кронштейна), также уменьшается.

Результаты выбора оптимального диаметра электродвигателя

Для конструкции направленной антенны были проведены расчеты низших резонансных частот в продольном и поперечном направлениях при разных диаметрах подшипника D_n . Формы колебаний при низших резонансных частотах в продольном и поперечном направлениях представлены на рис. 3. Графики зависимостей низших резонансных частот от диаметра подшипника D_n в продольном и поперечных направлениях представлены на рис. 4. Точка пересечения графиков соответствует оптимальному значению диаметра подшипников D_n по критерию максимизации низшей резонансной механической частоты. Для рассматриваемой конструкции оптимальным является диаметр $D_n = 120$ мм.

Выводы

1. Актуальным в настоящее время является создание высокоскоростных радиолиний космических аппаратов на основе направленных антенно-фидерных систем.
2. Предложена методика выбора оптимального диаметра встраиваемого электродвигателя и его

активной длины для прямого электропривода антенно-фидерной системы по критерию максимизации низшей резонансной частоты конструкции.

3. Предложенная методика апробирована на примере электродвигателя для электропривода антенно-фидерной системы Ка-диапазона.

Литература

1. Патент на изобретение № 2665495 Российская Федерация, МПК H01Q 3/08 (2006.01) Двухзеркальная антенна с механическим нацеливанием: № 2017136068 : заявл. 11.10.2017: опубл. 30.08.2018 / А. Б. Захаренко, А. А. Дульцев, С. В. Чеботарёв, А. Ю. Федотов, А. В. Шишлов, В. Я. Геча ; патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает Госкорпорация «Роскосмос». – 11 с. : ил.
2. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин [и др.]; под ред. И. П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Высшая школа, 2002. – 757 с. : ил.
3. ГОСТ 19523-74. Двигатели трехфазные асинхронные короткозамкнутые серии 4А мощностью от 0,06 до 400 кВт. Общие технические условия : дата введения: 01.01.1975 / утвержден Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР. – Москва : Издательство стандартов, 1980. – 44 с. : ил.

Поступила в редакцию 02.08.2019

Андрей Борисович Захаренко, начальник отдела общих научно-технических исследований, доктор технических наук, доцент, т. (495) 366-26-44.

Нина Андреевна Белокурова, инженер-конструктор 1-й категории, аспирант, т. (495) 366-54-24.

Наталья Алексеевна Красова, научный сотрудник, аспирант, т. (495) 366-33-61. (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

CHOICE OF CHARACTERISTIC SIZE OF ELECTRIC MOTOR FOR ANTENNA DRIVE

A. B. Zakharenko, N. A. Belokurova, N. A. Krasova

The main dimensions of an electric motor are determined by electromagnetic torque and are chosen, as a rule, on the basis of the formula used to calculate the Arnold's constant. The design of a directional antenna with a drive imposes constraints on configuration and diameter of an embedded electric drive motor. Since the diameter of the electric motor being a base of the azimuth electric drive is determined by the diameter of the ring girder, its value is chosen based on maximization of the lowest resonance mechanical frequency of the structure. A procedure for choosing an optimal diameter of an electric motor for a direct electric drive of an antenna-feeder system with consideration of its mechanical characteristics has been suggested.

Key words: synchronous electric motor, direct electric drive, directional antenna.

References

1. RF Patent of invention No. 2665495, МПК H01Q 3/08 (2006.01) Dual-reflector antenna with mechanical pointing: No. 2017136068 : patent application lodged on 11.10.2017: published on 30.08.2018 / A. B. Zakharenko, A. A. Dultsev, S. V. Chebotarev, A. Iu. Fedotov, A. V. Shishlov, V. Ia. Gecha ; Patent holder: the Russian Federation on behalf of which the Roscosmos State Corporation acts. – 11 p. : with figures.

2. Design of electric machines: textbook for higher education / I. P. Kopylov, B. K. Klokov, V. P. Morozkin [et al.] ; edited by I. P. Kopylov. – 3rd ed., revised and enlarged. – M. : Vysshaya Shkola Publishers, 2002. – 757 p. : with figures.
3. GOST 19523-74. Series 4A 3-phase asynchronous squirrel-cage motors of 0.06 – 400 kW. General specifications : date of introduction: 01.01.1975 / approved by the State Committee of the USSR Council of Ministers for Standards. – Moscow : Standards Publishing House, 1980. – 44 p. : with figures.

*Andrei Borisovich Zakharenko, Head of General Scientific and Technical Research Department,
Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Associate Professor, tel.: +7 (495) 366-26-44.*

*Nina Andreevna Belokurova, 1st Category Design Engineer, Ph. D. Student,
tel.: +7 (495) 366-54-24.*

*Natalia Alekseevna Krasova, Researcher, Ph. D. Student, tel.: +7 (495) 366-33-61.
(JC «VNIEM Corporation»).*