

сбалансированного развития регионов.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-20061, <https://rscf.ru/project/22-28-20061/> и Тульской области

Список использованных источников

1. Жуков Р.А., Козлова Н.О., Манохин Е.В., Плинская М.А. Построение агрегированной производственной функции с реализацией на примере регионов Центрального федерального округа // Бизнес-информатика. – 2022. – Т. 16. – № 3. – С. 7–23.

2. Жуков Р.А. Многоуровневый оптимизационный подход к управлению развитием иерархических социально-экономических систем / Р.А. Жуков // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3. Экономика. – 2020. – Т. 22. – № 3. – С. 17-29.

3. Жуков Р.А. Подход к оценке функционирования иерархических социально-экономических систем и принятию решений на базе программного комплекса «ЭФРА» // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 3. С. 82–95. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.3.82.95.

УДК 621.396.6

В.Г. Макаров, С.В. Игнаев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева
Казань, Россия

БАЛАНСИРОВКА ЭКСЦЕНТРИЧНОГО РОТОРА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация. Рассматривается синхронный двигатель с эксцентричным ротором, который позволяет получить скорость вращения 6000 об/мин при питании от сети 50 Гц, что позволит увеличить производительность турбомеханизмов. Эксцентричный ротор приводит к возникновению биений на высоких скоростях. Рассматриваются способы балансировки ротора.

V.G. Makarov, S.V. Ignaev

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev - KAI

BALANCING ECCENTRIC ROTOR OF SYNCHRONOUS MOTOR

Abstract. A synchronous electric motor with an eccentric rotor is considered, which makes it possible to obtain a rotation speed of 6000 rpm when powered by a 50 Hz network, that can increase productivity of a wide class of turbomechanisms. The presence of an eccentric rotor leads to the occurrence of beats at high speeds. Methods for balancing the rotor are considered in this article.

В [1] – [3] предложена конструкция и рассматривается принцип действия синхронного двигателя с повышенной частотой вращения ротора. Конструкция двигателя показана на рис. 1.

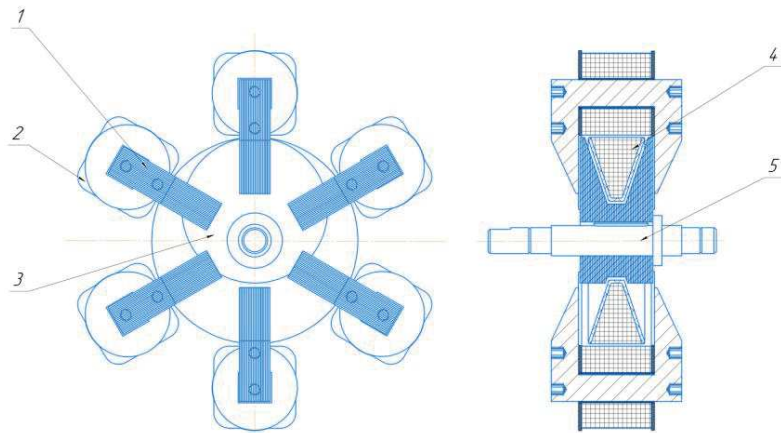


Рис. 1 - Чертёж разрабатываемого двигателя

Статор имеет шесть С-образных шихтованных магнитопроводов 1, расположенных под углом $\pi/3$. Питание шести обмоток статора осуществляется шестифазной системой напряжений. Цилиндрический ротор 3 расположен эксцентрично относительно центра вращения. Конструкция ротора показана на рис. 2.

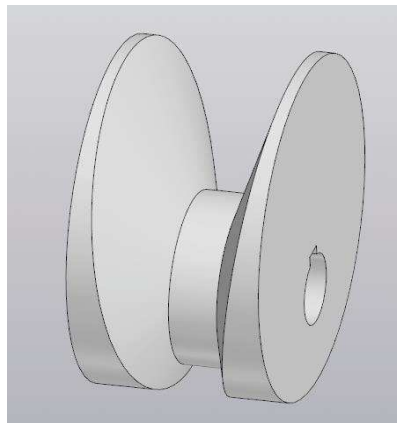


Рис. 2 - Ротор двигателя

В [1] – [3] показано, что за счет применения рассматриваемой конструкции удастся получить синхронный двигатель, скорость вращения ротора которого при питании от трехфазной сети частотой 50 Гц равна 6000 об/мин. Экспериментальные исследования макетного образца, проведенные на кафедре Электрооборудования ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ», позволили выявить существенный недостаток: из-за эксцентricности ротора на высоких скоростях наблюдаются существенные биения, которые могут привести к разрушению подшипников. Анализ способов решения этой проблемы посвящена данная статья.

Возможны два варианта компенсации биений ротора:

1) при помощи пары эксцентриков, которые своими моментами инерции, который своим моментом инерции будет компенсировать биения ротора [4];

2) при помощи электромагнитного поля воздействовать на сам ротор и балансировать его в режиме реального времени, на основе заранее известной функции (которую предстоит найти).

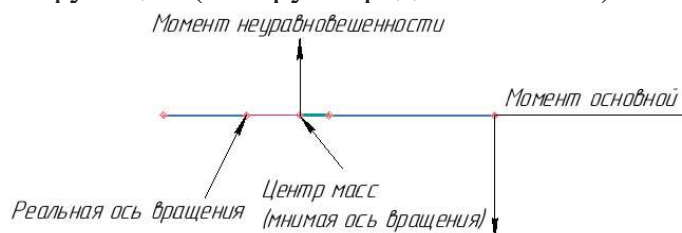


Рис. 3 - Картина моментов

На рис. 3 представлена картина моментов, создаваемых эксцентричным ротором. Видно, что реальная ось вращения и центр ротора (мнимая ось вращения) не совпадают. Это приводит к появлению пары сил. Одна из них направлена от оси вращения, но не создаёт момент, а вторая, которая находится в центре масс ротора, создает момент неуравновешенности ротора.

Для простоты и показательности построения картины моментов выбраны точки через каждые 15 геометрических градусов, что в данном двигателе соответствуют 7,5 электрическим градусам.

В результате имеем картину моментов, приведенную на рис 4.

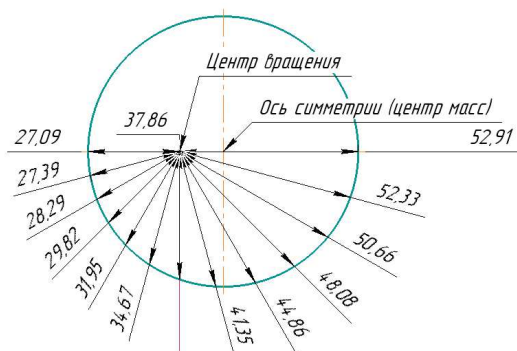


Рис. 4 - Картина моментов в зависимости от угла ротора

Спроецируем эту зависимость на декартовы координаты, где по оси абсцисс отсчитывается угол, а по оси ординат – момент.

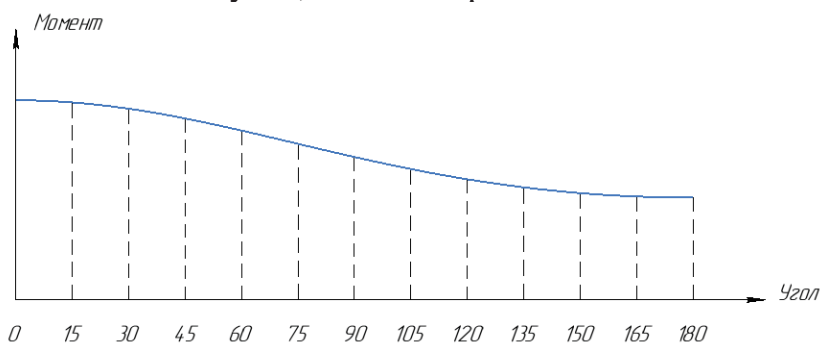


Рис. 5 - Зависимость момента от угла ротора

Видно, что с увеличением угла момент плавно уменьшается и существуют точки, где момент имеет максимальное и минимальное значение. Учитывая симметрию ротора, предполагаем, что при значениях угла от 180 до 360 градусов картина моментов будет постепенно возрастающая.

Рассмотрим картину моментов, когда ось вращения ротора расположена в центре масс.

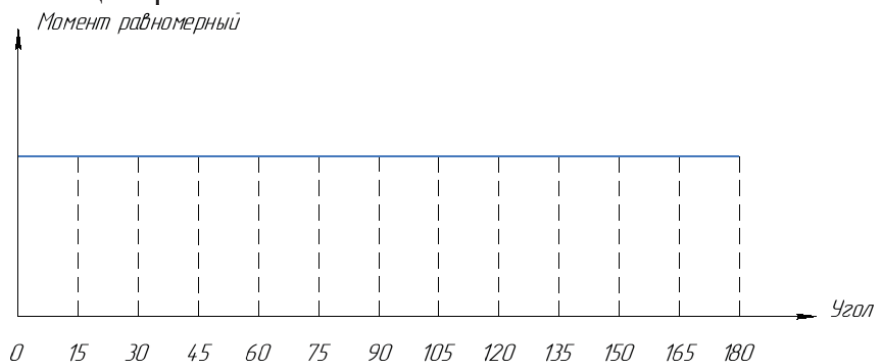


Рис. 6 - Зависимость момента в случае совпадения оси вращения и центра масс

Очевидно, что зависимость момента от угла ротора имеет равномерный характер и никаких биений не наблюдается. Однако в случае реального ротора из-за его неравномерной плотности всё равно будет присутствовать момент неуравновешенности.

Путём вычитания зависимости момента на рис. 6 из зависимости на рис. 5 получим приведенную на рис. 7 зависимость момента неуравновешенности, который вызван эксцентricностью ротора.

Анализ зависимости на рис. 7 показывает, что момент неуравновешенности является косинусоидой. Следовательно, можно создать такое магнитное поле, которое позволит скомпенсировать этот момент неуравновешенности.

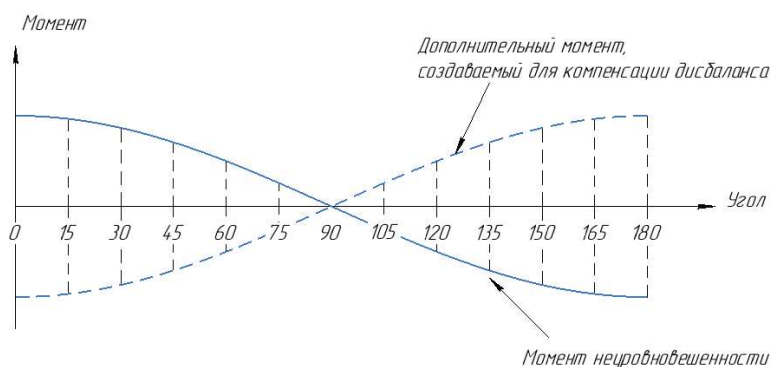


Рис. 7 - Моменты дисбаланса и компенсации (масштаб 2:1)

Учитывая, что шестифазная обмотка статора двигателя питается от трёхфазной сети и имеет 6 полюсов, можно разместить на них дополнительные обмотки для компенсации момента неуравновешенности.

Для компенсации дисбаланса необходимо создать момент, изменяющийся в противофазе по отношению к моменту неуравновешенности. Зависимость момента для компенсации дисбаланса показана на рис. 7.

Теперь рассмотрим балансировку при помощи дополнительного эксцентрика.

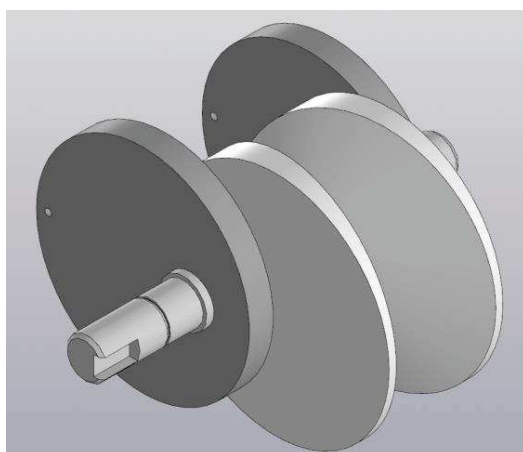


Рис. 8 - Балансировка эксцентриками

Балансир, показанный на рис. 8 представляет собой два простых эксцентрика, каждый из которых по размеру схож с ротором, он выполнен из материала с меньшей магнитной проницаемостью, например из высоколегированной стали. При таком расположении эксцентриков ротор будет статически и динамически уравновешен.

Недостатки такой конструкции тоже очевидны. Во-первых, это увеличение массо-габаритных показателей. Для макетного образца синхронного двигателя один эксцентрик должен иметь массу около 475 г и габариты: диаметр 90 мм и толщину 10 мм. Во-вторых, эксцентрики будут, хоть и слабо, но взаимодействовать с магнитным полем, создавая тормозной момент. Уменьшить это взаимодействие можно, если вынести их за пределы корпуса двигателя, где индукция магнитного поля статора минимальна, но при этом габариты двигателя увеличатся ещё больше. В-третьих, эксцентрики будут создавать дополнительную нагрузку на вал. Поэтому необходим анализ прочности вала в местах крепления эксцентриков и, возможно, дополнительное увеличение его размеров.

Поэтому конструктивное решение с эксцентриками не всегда оправдано и, помимо прочего, оно создаёт сложности при производстве, вызывая необходимость дополнительной балансировки, т.е. применения припаяк или сверления отверстий для работы на высоких скоростях вращения.

Дата	13.10.2022
Документ	Сборка C:\Users\Владелец\Desktop\Диплом\чертежи

МЦХ модели	
Сборка	
Масса	M = 2838.784299 г
Площадь	S = 78344.890937 мм ²
Объем	V = 361385.566352 мм ³
Центр масс	Xc = 24.549117 мм
	Yc = -0.000243 мм
	Zc = 0.199104 мм

Рис. 9 - Масс центровочные характеристики ротора с эксцентриком

Для балансировки ротора с помощью эксцентрика проведен механический расчет с использованием программы Компас3D. Результаты расчета показаны на рис. 9. Здесь несбалансированность ротора (Y_c) имеет весьма малое значение, что можно отнести к погрешности вычислений. Согласно данным, допустимые значения дисбаланса составляют 2,5% [5]. Проведенные расчет показывает, что полученное значение дисбаланса существенно меньше. Отметим, что значения X_c и Z_c не равны нулю. Однако это не имеет существенного значения для балансировки ротора, потому как при этом не возникают моменты несбалансированности.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности компенсации несбалансированности ротора путем воздействия на него магнитным полем. При этом не требуются дополнительные массивные элементы, применение которых приведет к увеличению массы и габаритов двигателя.

Список использованных источников

1. Федеральный институт промышленной собственности. Публикации. Патент № 2 757 459 [Электронный ресурс] URL: <https://fips.ru/publication-web/publications/document?type=doc&tab=IZPM&id=999B8813-6D2A-40E3-8C71-DE90DEDF5C> (дата обращения: 01.10.2022)
2. Федеральный институт промышленной собственности. Публикации. Патент № 2 761 085 [Электронный ресурс] URL: <https://fips.ru/publication-web/publications/document?type=doc&tab=IZPM&id=F3156CDE-D890-491E-8A9F-E11B3DCD90AF> (дата обращения: 01.10.2022)
3. Федеральный институт промышленной собственности. Публикации. Патент № 2 757 423 [Электронный ресурс] URL: <https://fips.ru/publication->

web/publications/document?type=doc&tab=IZPM&id=39BA4D44-6B08-4019-93A7-A87B874FFEAB (дата обращения: 01.10.2022)

4. Большая энциклопедия нефти и газа. [Электронный ресурс]
URL: <http://www.ngpedia.ru/id634255p2.html> (дата обращения: 02.10.2022)

5. ГОСТ 19534-74 Балансировка вращающихся тел. М.: Издательство стандартов, 1977.

УДК628.336.3+628.312.15

И.В. Войтов, В.Н. Марцуль

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

СОЗДАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЛАНТАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ХРАНЕНИЯ ОСАДКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Аннотация. Представлены результаты исследований по созданию на объектах хранения осадков очистных сооружений энергетических плантаций. Интервал от интенсивного роста до сбора биомассы составляет 3-4 года, количество сборов не менее 6-7. При этом сокращаются затраты на производство биомассы и снижается негативное воздействие на окружающую среду.

I.V. Voitau, V.N. Martsul

Belarusian National State Technological University
Minsk, Republic of Belarus

ESTABLISHMENT OF ENERGY PLANTATIONS ON SLUDGE STORAGE FACILITIES OF SEWER TREATMENT PLANTS

Abstract. The results of studies on the creation of energy plantations at the sludge storage facilities of treatment facilities are presented. The interval from intensive growth to biomass collection is 3-4 years, the number of collections is at least 6-7. This reduces the cost of biomass production and reduces the negative impact on the environment.

В настоящее время в Беларуси в области обращения с осадками преобладает размещение на объектах хранения. Практически повсеместно на объектах хранения размещаются нестабилизированные или частично стабилизированные осадки. Осадки после механического обезвоживания при отсутствии приемлемых вариантов использования