

УДК 621.313

*Паутов Г.А., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;*

*Юрасова О.И., кандидат экономических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;*

*Юрасов С.Ю., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»*

## ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ВАЛОВ ЯКОРЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

*Аннотация: Содержатся результаты анализа технологичности трёх конструкций якоря тяговых электродвигателей мощностью 560-755 кВт, с силой тяги 5326 кгс. В результате сравнительного анализа предложена конструкция вала якоря переменного (усиленного) сечения вместо втулочного исполнения, а также рекомендации по сборке опор и упрочнению выглаживанием рабочих шеек вала.*

*Ключевые слова: технологичность; запас прочности; микротрещины; втулочное исполнение; групповая взаимозаменяемость.*

Анализ охватывает конструкции электродвигателей со следующим исполнением якорей: с насаживаемой по неподвижной посадке на шейки вала втулкой; безвтулочный якорь со шпоночным креплением на валу; якорь с переменным сечением диаметров вала; дискового печатного якоря. В первом случае якорные листы напрессовываются на втулку, во втором – непосредственно на валу, у якоря с переменным сечением – на наибольший, усиленный диаметр вала.

Дисковый якорь представляет собой диск, изготовленный по технологии многослойных печатных плат, а обмотка-коллектор изготовлена методом штамповки или травления (напыления).

Анализ несовершенств тяговых электродвигателей при эксплуатации на основании рекламаций: дебаланс якоря; вибрации в опорных узлах

подшипников; деформация корпуса втулки; повышенный шум; микротрещины на посадочных шейках вала.

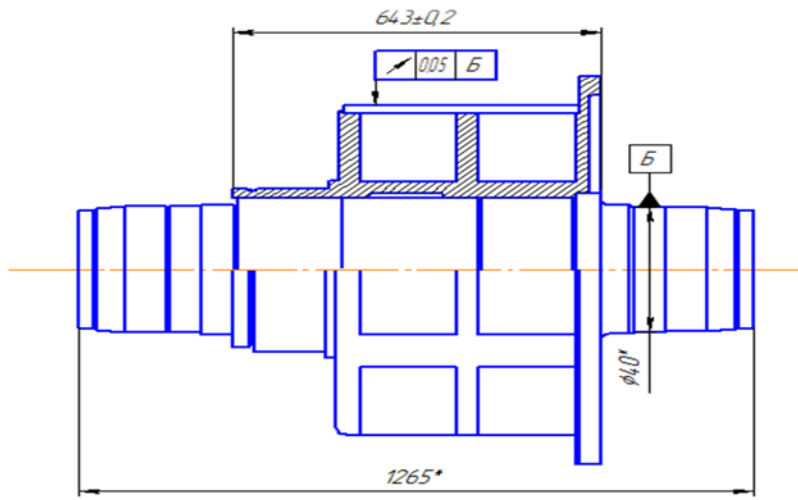
Для оценки показателей качества на основе морфологического анализа составили матрицу положительно-отрицательных характеристик рассматриваемых конструктивных исполнений, представленную в таблице 1.

Таблица 1

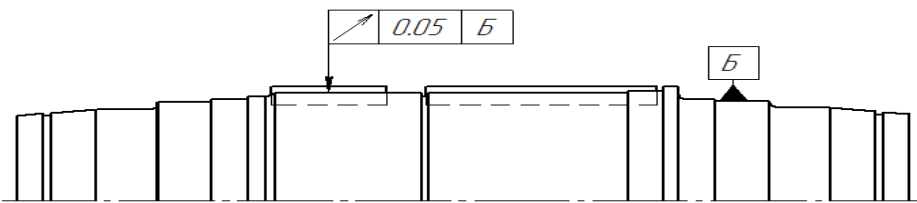
Матрица положительно-отрицательных характеристик рассматриваемых конструктивных исполнений

№ п/п	Конструктивное исполнение якоря	Служебные функции	Положительные характеристики	Отрицательные характеристики
1	С насаживаемой на вал втулкой	Монтаж якорных листов	Меньшая материалоемкость пакета листов электротехнической стали	Дополнительное звено в сборочной цепи. Деформации рабочих поверхностей во время реверса.
2	Безвтулочный со шпоночным креплением		Отработанная конструкция и технология производства	Высокая трудоемкость, связанная с напрессовкой якорных листов. Ослабление рабочих сечений вала из-за наличия шпоночных канавок.
3	С переменным сечением диаметров вала		Устраняется промежуточное сборочное звено. Уменьшение объема якорных пластин. Большая жёсткость конструкции.	Менее технологическая конструкция заготовки вала
4	Дисковый печатный якорь		Возможность получения больших крутящих моментов за счёт действия постоянного магнитного поля. Возможность создания малогабаритных изделий. Упрощение технологического процесса механообработки и сборки.	Требуется технологичная проработка конструкции. Высокая трудоёмкость подготовки и запуска в производство.

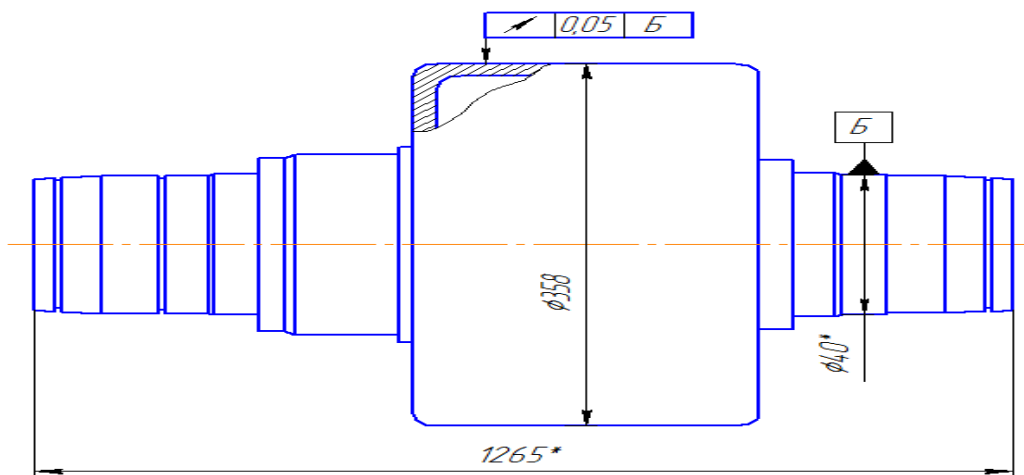
Конструкции валов рассматриваемых якорей представлены на рис. 1.



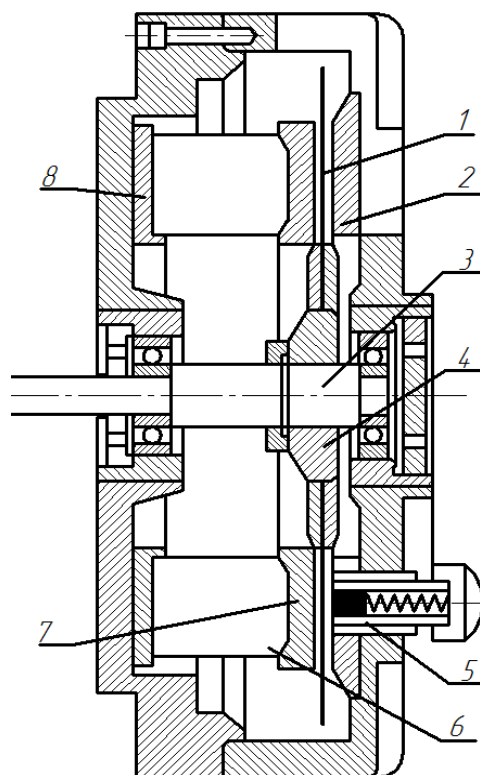
a)



б)



B)



г) 1 – дисковой якорь; 2,8 – кольцевые магнитопроводы; 3 – вал; 4 – втулка; 5 – щётка; 6 – постоянный магнит; 7 – полюсный наконечник.

Рис.1. Конструкции якорей тяговых электродвигателей:

а) - с насаживаемой втулкой; б) – безвтулочный якорь; в) – с валом переменного сечения; г) – с дисковым якорем с печатной обмоткой.

Втулочное исполнение появилось в качестве альтернативного якорю со шпоночным креплением. Электродвигатель с дисковым печатным якорем следует рассматривать как перспективное изделие. Наиболее рационально оценивать технологичность конкурирующих исполнений: якоря, с напрессовываемой на вал переходной втулкой и с переменным (усиленным) сечением вала.

Для оценки степени влияния технологических условий формообразования на погрешность формы валов произведены расчёты жёсткости [1, с.32], которые выявили, что величины прогибов стержня валов при тчении составляют от 0,048 до 0,069 мм. Учитывая, что базовые поверхности под сопряжение с

якорными листами должны иметь радиальное биение не свыше 0,05 мм, условия обработки точением необходимо пересмотреть в сторону уменьшения составляющей силы резания  $P_y$ . Точение осуществляется при продольной подаче  $S = 0,25$  мм/об и глубине резания  $t = 2$  мм. Более рациональным представляется обтачивание с глубиной менее 2 мм, т.е. снятие припуска за 2-3 прохода вместо одного.

Проведённый расчёт конструкций якорей на прочность с валами из стали 40Х при рабочих нагрузках, с учётом электродинамических, по четырём характерным участкам показал, что наибольшему прогибу подвергаются участки вала, находящиеся под пакетом якорных листов. Наименьший запас прочности имеет участок, примыкающий к подшипниковому узлу со стороны привода. Долговечность якорных подшипников для рассматриваемых исполнений составляет в опорах со стороны коллектора –  $8,872 \cdot 10^6$  и  $10,872 \cdot 10^6$  и со стороны привода –  $7,839 \cdot 10^6$  и  $8,625 \cdot 10^6$  мм, соответственно. Данные значения превышают предельно допустимое значение долговечности якорных подшипников тяговых электродвигателей.

С целью анализа причин возникновения вибрации и повышенного шума в подшипниковых узлах проведены контрольные испытания типовых подшипников с замером радиальных биений.

Контроль выявил достаточно большой разброс значений радиального биения от 0,042 мм до 0,087 мм, т.е. вносимый при сборке эксцентриситет может отличаться в два раза. Выборка подшипников в 28 штук выявила, что примерно 35% из них не могут обеспечить требуемые технические условия на точность при сборке ротора двигателя. Круглограмма возможного группирования опорных роликоподшипников представлена на рис.2.

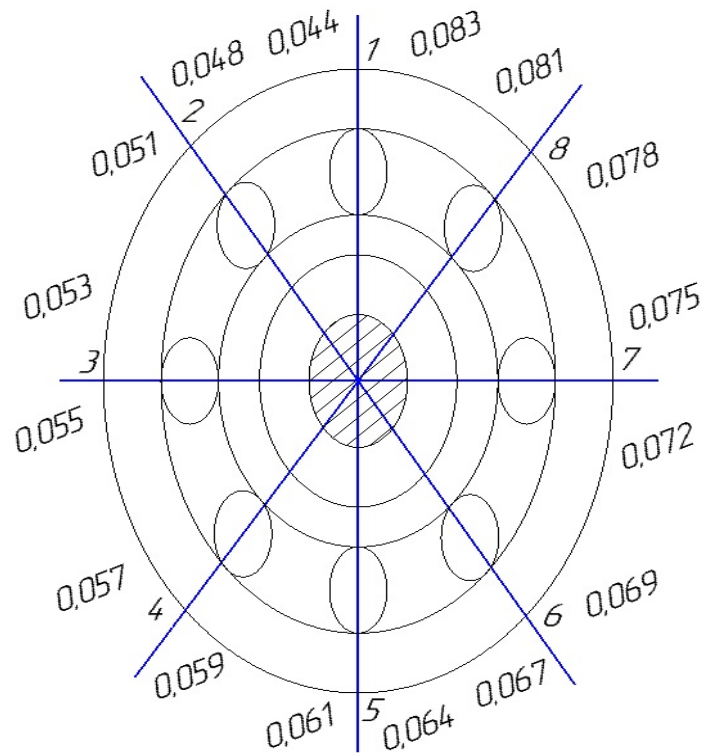


Рис.2. Круглограмма группирования подшипников

Сборку необходимо производить методом регулирования по принципу организации равных эксцентриситетов на опорах, что позволяет улучшить условия статической балансировки (рис.3а). Разновеликие эксцентриситеты на опорах приводят к динамической неуравновешенности, устранение которой представляет значительную трудность (рис.3б).

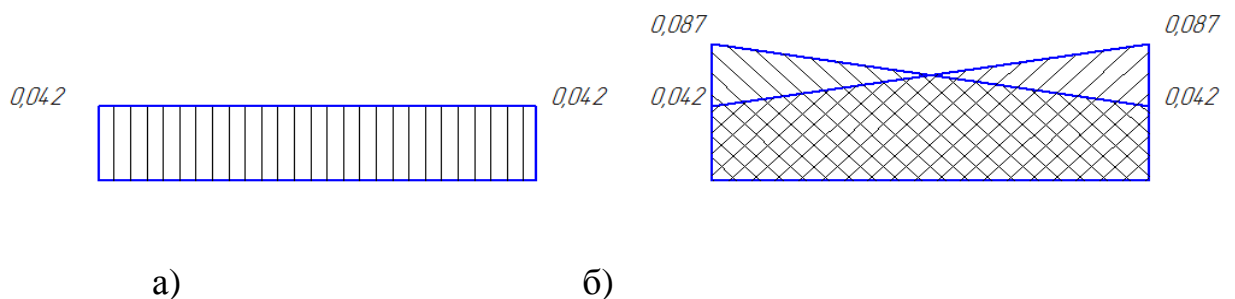


Рис.3. Схемы формирования неуравновешенности опор при сборке:

а) – при равенстве эксцентриситетов; б) – при их неравенстве.

Втулочное исполнение якоря приводит к деформации основания втулки при реверсе вращения. Кроме того, из-за большой длины сопряжения около 500 мм, конструкция является нетехнологичной как при изготовлении так и при сборке. Конструкция вала переменного сечения (см. рис.1,в) лишена таких недостатков. Для обеспечения веса вал возможно выполнить полым.

В результате эксплуатации тяговых электродвигателей на рабочих поверхностях вала выявлены микротрещины, что снижает работоспособность. Для повышения качества поверхностного слоя предлагается осуществить пластическое деформирование посредством выглаживания алмазным твердосплавным инструментом.

Для реализации операции выглаживания спроектировано приспособление с регулированием силы выглаживания.

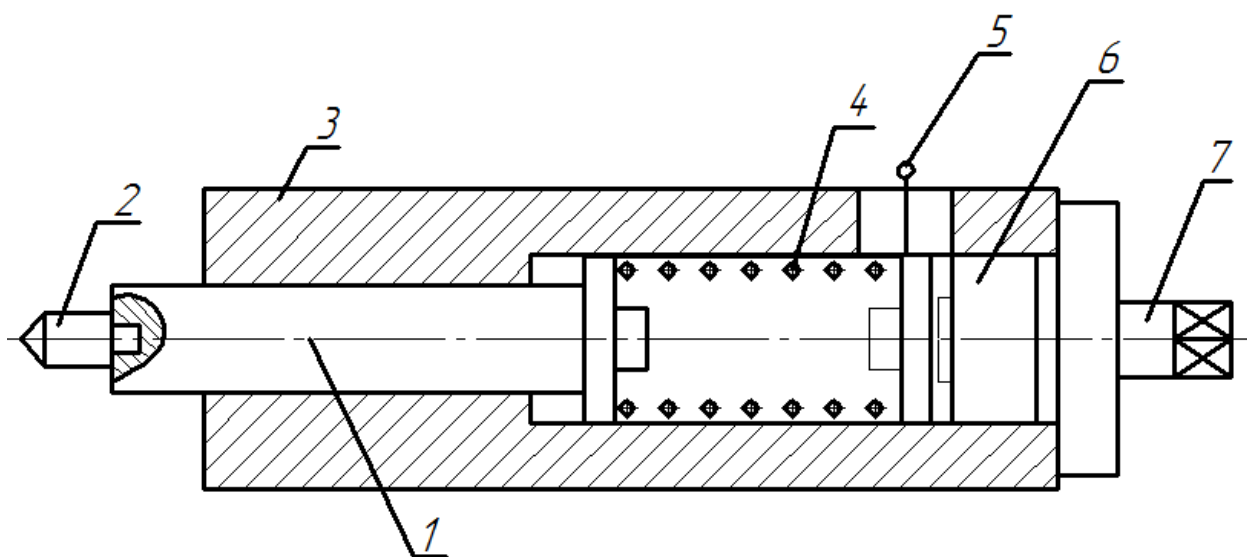


Рис.4. Приспособление для выглаживания рабочих поверхностей вала: 1-шток; 2-выглаживатель; 3- корпус; 4- силовая пружина; 5- индикатор силы выглаживателя; 6 –плунжер; 7 – винт регулировочный.

Рабочие параметры выглаживания определяются по методике [2]. Сила выглаживания  $F = 0,013 \text{ HV} \left( \frac{Dr}{D+r} \right)^2$ , где HV – твердость обрабатываемой поверхности по Виккерсу,  $\text{H/m}^2 \cdot 10^7$ ; D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; r – радиус рабочей части выглаживателя, мм.

Назначение силы свыше 100 – 200 н приводит к перенаклёпу. Радиус сферы выглаживателя выбирается в пределах 1,5...3 мм. Для охлаждения используется масло индустриальное И-20А.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы можно констатировать следующее.

– Исполнение вала ротора с усиленным сечением на участке монтажа пакета якорных листов является более технологичным конструкции вала с напрессованной втулкой из-за повышения жёсткости за счёт сокращения количества сопряжений.

– Для обеспечения точности расположения рабочих поверхностей вала формообразование точением необходимо производить при глубине резания менее 2 мм.

– Во избежание возможных деформаций стержня желательно исключить правку окончательно обработанного вала.

– Необходимо подвергать входному контролю опорные подшипники с целью определения величины радиального биения с последующим распределением на размерные группы. Монтаж осуществлять методом регулирования, добиваясь наименьшего радиального биения присоединительной шейки вала.

– Рабочие шейки вала необходимо подвергать обязательному контролю на магнитном дефектоскопе с целью выявления микротрещин и прижогов.

– Для повышения стабильности качества сопряжений с кольцами подшипников рекомендуется опорные шейки подвергать поверхностно-



пластическому деформированию алмазным или твердосплавным выглаживанием.

#### Литература:

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. – М: Машиностроение, 1985. – 512 с.
2. Одинцов Л. Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. – М: Машиностроение, 1981. – 159 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М: Машиностроение, 1986. – 496 с.

---

*Pautov G. A., candidate of technical Sciences, associate Professor, NaberezhnyeChelny Institute, Kazan (Volga region) Federal University»;*  
*Yurasova, O. I., candidate of economic Sciences, associate Professor of NaberezhnyeChelny Institute of Federal STATE Autonomous educational institution "Kazan (Volga region) Federal University»;*  
*Yurasov, S. Yu., candidate of technical Sciences, associate Professor of NaberezhnyeChelny Institute of Federal STATE Autonomous educational institution "Kazan (Volga region) Federal University»*

#### MANUFACTURABILITY OF THE ARMATURE SHAFTS OF TRACTION MOTORS

*Annotation: Contains the results of the analysis of the manufacturability of the three designs of anchors of traction motors 560-755 kW, with thrust 5326 kgs. A comparative analysis of the proposed design of the armature shaft AC (reinforced) cross-section instead of the stub implementation, as well as recommendations for the Assembly of supports and strengthening the smoothing of the working shaft.*

*Keywords: adaptability; margin of safety; micro-cracks; the stub version; group interchangeability.*