

Научная статья  
УДК 621.313.33  
DOI: 10.55196/2411-3492-2026-1-51-76-84

## Теоретическое обоснование и практические результаты реконструкции обмотки короткозамкнутого ротора асинхронного электродвигателя

Ирбек Хаджимуратович Есенов<sup>1</sup>, Амур Григорьевич Фиапшев<sup>✉2</sup>,  
Николай Ефимович Цопанов<sup>3</sup>, Таймураз Русланович Сатцаев<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Горский государственный аграрный университет, улица Кирова, 37, Владикавказ, Россия 362040

<sup>2</sup>Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

<sup>1</sup>esenov1949@yandex.ru

<sup>✉2</sup>energo.kbr@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3080-0901>

<sup>3</sup>nic1tsopanov1@bk.ru

<sup>4</sup>tamusatcaev1@gmail.com

**Аннотация.** Традиционный способ уменьшения пускового тока основан на увеличении активного сопротивления роторной цепи, что достигается изменением формы стержней – либо выполнением высоких и узких пазов (глубокий паз ротора), либо применением двойной клетки. Узкие стержни обладают высоким удельным сопротивлением, а связь между распределением тока и геометрией стержня опирается на эффект вытеснения тока: чем выше частота, тем сильнее ток смещается к периферии проводника. В работе рассматриваются особенности электромагнитных процессов в асинхронном электродвигателе с короткозамкнутым ротором при наличии «провалов» на пусковой ветви механической характеристики. На основе анализа распределения токов в роторной обмотке показано, что причиной возникновения указанных провалов является возбуждение токов высших гармоник, прежде всего пятой и седьмой, формирующих замкнутые пути внутри конструкции клеточной обмотки. Предложена модифицированная схема исполнения короткозамкнутой обмотки, исключающая образование таких паразитных контуров. Результаты экспериментального исследования подтверждают, что реконструкция ротора приводит к улучшению пусковых и механических характеристик асинхронного электродвигателя, снижая влияние высших гармонических составляющих и обеспечивая более устойчивую работу двигателя в переходных режимах.

**Ключевые слова:** асинхронный электродвигатель, короткозамкнутая обмотка ротора, реконструкция ротора, пусковой момент, магнитопровод, механическая мощность

**Для цитирования:** Есенов И. Х., Фиапшев А. Г., Цопанов Н. Е., Сатцаев Т. Р. Теоретическое обоснование и практические результаты реконструкции обмотки короткозамкнутого ротора асинхронного электродвигателя // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета имени В. М. Кокова. 2026. № 1(51). С. 76–84. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-1-51-76-84

Original article

## Theoretical justification and practical results of the reconstruction of the squirrel-cage rotor winding of an asynchronous motor

Irbek Kh. Yesenov<sup>1</sup>, Amur G. Fiapshev<sup>✉2</sup>, Nikolay E. Tsopanov<sup>3</sup>, Taimuraz R. Satsaev<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Gorsky State Agrarian University, 37 Kirov Street, Vladikavkaz, Russia, 362040

<sup>2</sup>Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030

<sup>1</sup>esenov1949@yandex.ru

<sup>✉2</sup>energo.kbr@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3080-0901>

<sup>3</sup>nic1tsopanov1@bk.ru

<sup>4</sup>tamusatcaev1@gmail.com

**Abstract.** The traditional method of reducing the starting current is based on increasing the active resistance of the rotor circuit, which is achieved by changing the shape of the rods – either by making high and narrow grooves (deep rotor groove), or by using a double cage. Narrow rods have a high resistivity, and the connection between the current distribution and the geometry of the rod is based on the effect of current displacement: the higher the frequency, the more the current shifts to the periphery of the conductor. The study examines the electromagnetic processes occurring in an induction motor equipped with a squirrel-cage rotor in the presence of "dips" on the starting branch of its mechanical characteristic. Analysis of the current distribution within the rotor winding demonstrates that these irregularities are primarily caused by the excitation of higher-order harmonic currents, mainly the fifth and seventh, which form unintended closed loops inside the cage structure. A modified design of the squirrel-cage winding is proposed, eliminating the formation of such parasitic circuits. Experimental results confirm that the reconstructed rotor provides improved starting and mechanical characteristics, reduces the influence of higher harmonic components, and ensures more stable motor operation under transient conditions.

**Keywords:** asynchronous electric motor, short-circuited rotor winding, rotor reconstruction, starting torque, magnetic circuit, mechanical power

**For citation:** Yesenov I.Kh., Fiapshev A.G., Tsopanov N.E., Satsaev T.R. Theoretical justification and practical results of reconstructing the squirrel-cage rotor winding of an induction motor. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2026;1(51):76–84. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2026-1-51-76-84

**Введение.** Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутыми роторами широко применяются в различных отраслях, что обусловлено их простой конструкцией, высокой надёжностью и низкой стоимостью изготовления [1, 2]. Однако при эксплуатации в режимах пуска и повышенной нагрузки в ряде случаев наблюдаются характерные искажения механической характеристики, выражающиеся в виде «провалов» крутящего момента. Подобные отклонения затрудняют пуск двигателя, ухудшают устойчивость его работы и могут приводить к дополнительным тепловым и электромагнитным перегрузкам [3, 4].

Изучение причин возникновения таких провалов показывает, что определяющую роль играет распределение токов в короткозамкнутой роторной обмотке. Геометрия клеточной структуры ротора и особенности её электромагнитного взаимодействия с полем статора создают условия для возбуждения токов высших гармоник [5, 6]. Наибольшее влияние оказывают пятая и седьмая гармонические составляющие, формирующие локальные замкнутые контуры внутри обмотки. Наличие подобных контуров способствует появлению дополнительных потерь и снижению пускового момента двигателя.

Решение проблемы, связанной с устранением данных эффектов, имеет важное значе-

ние для повышения эффективности и надёжности асинхронных двигателей, особенно в системах, предъявляющих высокие требования к стабильности пуска [7, 8]. Одним из перспективных подходов является изменение конструкции короткозамкнутой обмотки ротора с целью исключения образования паразитных токовых цепей [9, 10].

**Целью данного исследования** является теоретическое обоснование влияния гармонических составляющих на форму механической характеристики асинхронного электродвигателя и экспериментальная проверка работоспособности модифицированной конструкции ротора, позволяющей устранить появление провалов на пусковой ветви.

**Теоретическая часть исследования.** Попытки устранить основные недостатки асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором ведутся с момента появления самой конструкции ротора (Г. Феррарис, Н. Тесла) и последующего перехода электродвигателей на трёхфазное питание (М. О. Доливо-Добровольский). Совершенствование роторов всегда опиралось на классические положения теории электрических машин и большое число экспериментальных данных. Для анализа процессов, происходящих в роторной и статорной цепях, используется фазовый ток статора, который определяется выражением:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_\mu + (-\dot{I}'_2), \quad (1)$$

где

$\dot{I}_\mu$  – ток намагничивания;  
 $\dot{I}'_2$  – приведенный ток ротора.

Величина  $I_t$  обусловлена потерями в магнитопроводе и воздушном зазоре и в условиях нормальной работы конкретного двигателя является практически неизменной величиной, если отсутствует насыщение стали.

Приведенный ток ротора вычисляется по формуле:

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 / k_i, \quad (2)$$

где

$\dot{I}_2$  – действительный ток фазы ротора;  
 $k_i$  – коэффициент приведения.

Коэффициент  $k_i$  определяется конструктивными и обмоточными характеристиками машины:

$$k_i = \frac{m_1 \cdot W_1 \cdot k_{\theta 1}}{m_2 \cdot W_2 \cdot k_{\theta 2}} \cdot \frac{1}{k_c}, \quad (3)$$

где

$m_1, m_2$  – число фаз статора и ротора;  
 $W_1, W_2$  – число витков в фазе;  
 $k_{\theta 1}, k_{\theta 2}$  – коэффициенты распределения;  
 $k_c$  – коэффициент скоса пазов.

Для обычной «беличьей клетки»  $m_2=z_2$  число витков получается равным одному проводнику, нередко  $k_{\theta 2}=1,05$ . При этих условиях коэффициент приведения принимает вид:

$$k_i = \frac{2m_1 \cdot W_1 \cdot k_{\theta 1}}{z_2 \cdot k_c}. \quad (4)$$

Действительный ток роторной обмотки выражается формулой:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{\frac{r_2}{s} + jx_2}, \quad (5)$$

где

$\dot{E}_2$  – ЭДС ротора;  
 $r_2, x_2$  – активное и индуктивное сопротивление обмотки ротора;  
 $s$  – скольжение ротора.

В рабочем режиме, когда  $s \approx 0,02-0,05$ , первое слагаемое в знаменателе доминирует, и действительный ток ротора оказывается очень малым. Однако при пуске ( $s=1$ ) составляющая  $r_2/s$  уменьшается многократно, что и определяет значительную величину тока в режиме пуска.

Снижение тока ротора в момент пуска традиционно осуществляется увеличением активной составляющей сопротивления стержней и основано на эффекте вытеснения перемного тока к периферии в проводнике.

Реализация этого эффекта в асинхронном двигателе (АД) достигается посредством выполнения стержней высокими и узкими (глубокопазный ротор) или двойными (ротор с двойной беличьей клеткой). Высокие стержни могут выполняться в поперечном сечении прямоугольными или фигурными, в ряде случаев суживающимися к периферии ротора. В этом случае эффект снижения тока  $I_{2n}$  оказывается более значительным, так как существенно уменьшается эффективное сечение стержня, а, следовательно, возрастает  $r_2(r'_2)$ . В двойной «беличьей клетке» наружные (периферийные) стержни могут иметь меньшие поперечные сечения, чем внутренние (рабочие), и/или изготавливаться из материала с большим удельным сопротивлением. Такое конструктивное решение позволяет одновременно повысить пусковой момент асинхронной машины. Он вычисляется по известной формуле:

$$M_n = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2 \cdot r'_2}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot \left[ (r_1 + c_1 \cdot r'_2)^2 + (x_1 + c_1 \cdot x'_2)^2 \right]}, \quad (6)$$

где

$p$  – число пар полюсов;  
 $f_1$  – частота напряжения питания;  
 $c_1$  – коэффициент, определяемый отношением напряжения холостого хода к номинальному (обычно  $c_1 \approx 1,02-1,06$ ).

Перегрузочная способность двигателя:

$$\mu_m = \frac{M_m}{M_n}, \quad (7)$$

а максимальный момент:

$$\dot{I}_i \approx \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot c_1 \cdot (x_1 + c_1 \cdot x'_2)}, \quad (8)$$

практически не зависит от сопротивления  $r'_2$ , а определяется скольжением в точке максимума момента:

$$S_m \approx \frac{c_1 \cdot r'_2}{x_1 + c_1 \cdot x_2}. \quad (9)$$

Таким образом, изменение активного сопротивления почти не влияет на перегрузочную способность, но сильно отражается на токах высших гармоник. Наибольшее влияние

оказывают пятая и седьмая гармоники: они создают в роторе замкнутые контуры («короткие цепи»), возникающие между ближайшими стержнями и участками торцевых колец, имеющими малое сопротивление [2, 3].

Именно наличие таких контуров обуславливает «провалы» на механической характеристике: токи высших гармоник возбуждают знакопеременные моменты, которые накладываются на основной вращающий момент.

Величина мгновенной ЭДС в стержне определяется выражением:

$$e_2 = -\left(L_2 \frac{di_2}{dt} + M_{12} \frac{di_1}{dt}\right), \quad (10)$$

где

$L_2$  – собственная индуктивность стержня;

$M_{12}$  – взаимная индуктивность между статорной фазой и стержнем.

Второе слагаемое в (10) достигает максимума в зоне между полюсами статора, где  $dt_1/dt = \max$ , тогда как первое слагаемое практически достигает пика возле подполюсной зоны. Поэтому суммарная ЭДС оказывается максимальной, если стержни в этих зонах соединены последовательно, а её составляющие действуют согласованно.

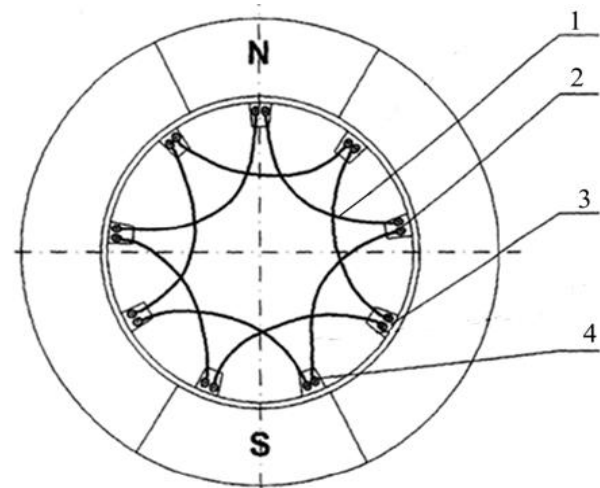
При таких условиях ток основной гармоники в стержне становится максимальным, и активная составляющая тока определяет электромагнитный момент. Если же исключить возможность образования контуров, благоприятных для протекания токов высших гармоник, то их влияние резко уменьшается.

Эта гипотеза была проверена на машине мощностью 0,6 кВт, использовавшей неизменённую статорную обмотку. Ротор был изготовлен из изолированных медных стержней, соединённых в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 1.

**Методика исследования.** Опытные исследования проводились на образце асинхронного двигателя, для которого была изготовлена двухслойная обмотка ротора по схеме, представленной на рисунке 1 с изолированными стержнями. Базовая машина имела мощность 0,6 кВт (тип АОЛ22-2). Сечение и материал стержней подбирались таким образом, чтобы их активное сопротивление соответствовало параметрам литых алюминиевых элементов серийного ротора.

Обмотка формировалась из медных стержней 2 и 3, расположенных в пазах по-

парно. Концы стержней, вставленных в паз, соединялись со стержнями паза сдвинутого по периметру ротора на расстояние, равное половине полюсного деления (с сокращением шага, определяемым числом пазов ротора) согласно схеме.



**Рисунок 1.** Схема соединения стержней ротора:

1 – стержень роторной обмотки; 2, 3 – концы последовательно соединённых стержней; 4 – пазы ротора

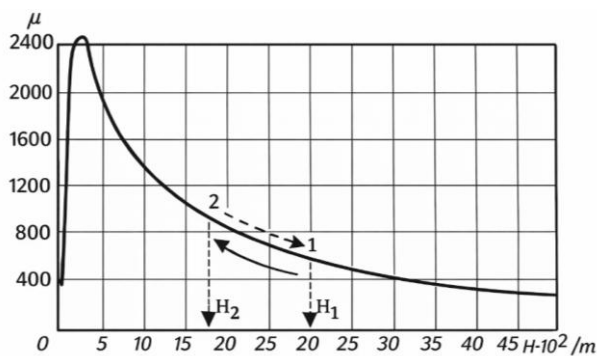
**Figure 1.** Rotor rods connection diagram:

1 – rotor winding rod; 2, 3 – ends of serially connected rods; 4 – rotor slots

**Результаты исследования.** Испытание асинхронного двигателя с реконструированным ротором показало заметное уменьшение потребляемого тока в режиме номинальной нагрузки. Так, по сравнению с серийным исполнением, ток снизился примерно на треть, при этом коэффициент мощности  $\cos\phi$  также уменьшился.

Уменьшение  $\cos\phi$  объясняется увеличением индуктивной составляющей сопротивления двигателя в целом и ротора в частности. Величина индуктивного сопротивления связана с относительной магнитной проницаемостью  $\mu$ , а последняя определяется напряжённостью магнитного поля  $H$ . На рисунке 2 представлена зависимость относительной магнитной проницаемости электротехнических сталей от напряжённости магнитного поля.

Как видно, при снижении тока ротора уменьшается и поле  $H$ , что приводит к росту магнитной проницаемости ( $\mu_2 > \mu_1$ ). При переходе из состояния 1 в состояние 2 (рис. 2) увеличивается индуктивность, а следовательно, и реактивная составляющая сопротивления.

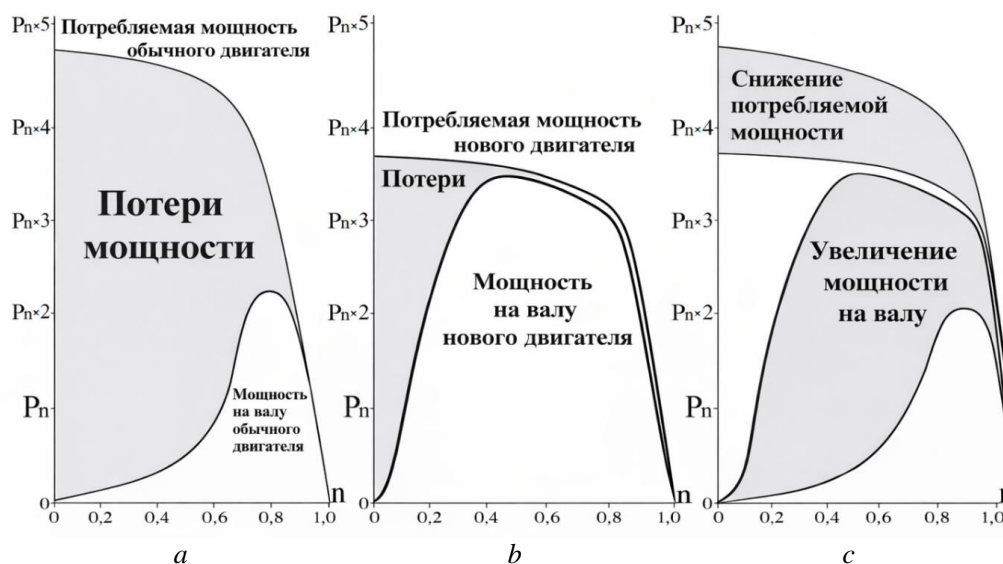


**Рисунок 2.** Характер изменения относительной магнитной проницаемости в функции напряженности магнитного поля электротехнических сталей  
**Figure 2.** The nature of the change in relative magnetic permeability as a function of the magnetic field strength of electrical steels

Для восстановления исходной величины магнитного потока необходимо увеличить ток статора, что возможно только при повышении нагрузки на вал.

В ходе эксперимента установлено, что  $\cos\phi$  достигает паспортного значения при нагрузке на вал двигателя в 1,65 раза выше номинальной. Мощность, соответствующая этому моменту, была предложена в качестве новой номинальной для двигателя с модернизированным ротором  $P_{n(нов)}$ .

По результатам испытаний построены зависимости: потребляемой мощности  $P_{номп}=f(n)$ , мощности на валу  $P_2=f(n)$  для двигателя с серийным ротором и двигателя с модернизированным ротором (рис. 3).



**Рисунок 3.** Зависимости потребляемой и выдаваемой на вал мощностей от частоты вращения:  
 а – двигатель с серийным ротором; б – двигатель с реконструированным ротором;  
 с – сравнительная характеристика

**Figure 3.** Dependence of power consumed and output to the shaft on the speed:

а – an engine with a serial rotor; б – engine with reconstructed rotor; с – comparative characteristics

Эти графики позволяют наглядно сравнить энергетические характеристики обеих машин, при этом статор оставался неизменным, что гарантирует корректность сопоставления.

Сравнение показывает:

- во всём диапазоне частот вращения потребляемая мощность у двигателя с новым ротором значительно меньше;
- механическая (выходная) мощность возрастает;
- достигается рост габаритной мощности до  $1,65 P_{n(баз)}$ .

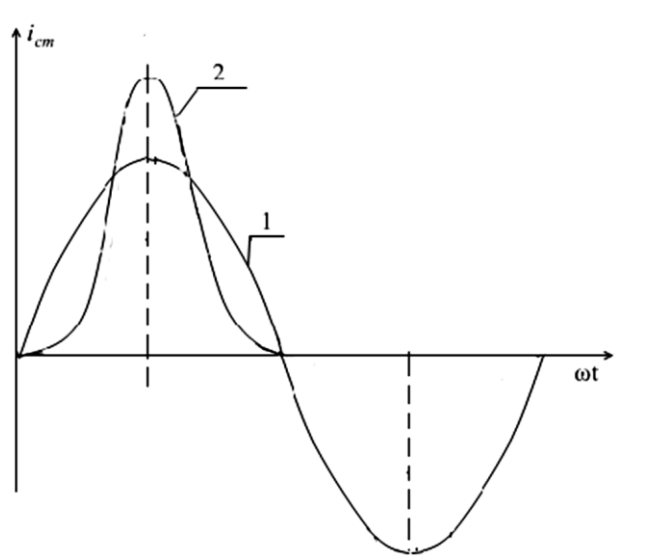
Пусковой ток двигателя с модифицированным ротором снизился до  $I_{n/нов}=0,63I_{n/баз}$ , (кратность пускового тока базового двигателя  $K_I=6,5$ , у нового двигателя она составила порядка 4).

Пусковой момент исходного двигателя был равен  $4,2 Н\cdot м$ , у двигателя с ротором новой конструкции  $6,9 Н\cdot м$ .

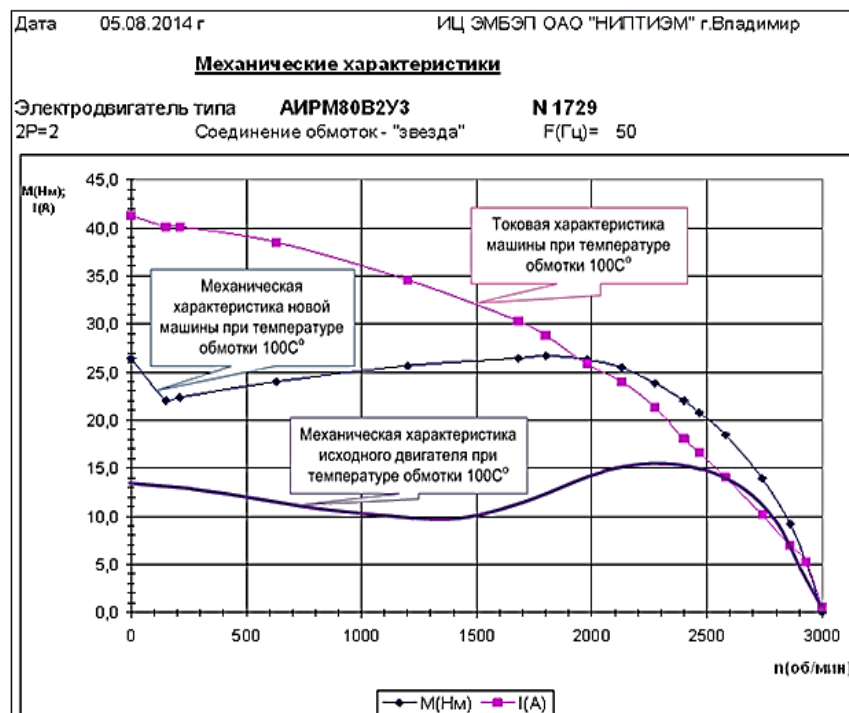
**Дополнительные исследования.** Анализ пульсаций магнитного потока и мгновенных значений тока показал (рис. 4), что новая конструкция ротора снижает влияние высших гармоник. В частности:

- мгновенные значения токов становятся ниже;
- пиковые значения токов действуют заметно меньшую часть периода (около 1/3 вместо 1/2);
- суммарные потери энергии уменьшаются примерно в 9 раз, что согласуется с квадратичной зависимостью потерь от тока.

Проверка достоверности результатов была проведена на современных двигателях (например, АИРМ80В2, мощностью 2,2 кВт) в условиях ОАО «НИПТИЭМ» г. Владимир. Было подтверждено, что машина с реконструированным ротором имеет более «мягкую» механическую характеристику при увеличении перегрузочной способности (рис. 5).



**Рисунок 4.** Характер тока в стержне ротора асинхронного двигателя:  
1 – расчетная форма тока стержня; 2 – фактическая форма тока  
**Figure 4.** The nature of the current in the rotor rod of an asynchronous motor:  
1 – the calculated shape of the rod current; 2 – actual current shape



**Рисунок 5.** Результаты испытания двигателя ОАО «НИПТИЭМ»  
**Figure 5.** NIPTIEM engine test results

По результатам сравнительного анализа установлено:

- пусковой момент увеличивается почти в 2 раза;
- минимальный момент выше в 2–2,2 раза;
- перегрузочная способность возрастает в 1,74 раза;
- частота вращения при максимальном моменте снижается, что делает характеристику более плавной.

Отмечено существенное снижение электромагнитного шума и уменьшение нагрева.

При нагрузке  $3 \cdot M_{ном/баз}$  потери уменьшились более чем на 10%.

Секундная нагрузка достигала 400%, ограничиваясь лишь термостойкостью неизменной статорной обмотки.

В лабораторных условиях на базе электродвигателя НВА-55 (55 кВт) был изготовлен опытный образец ротора. Испытания показали:

- потребляемая мощность при включении в сеть 140 кВт (у базовой машины 270 кВт);
- пусковой ток 692 А (у исходного 936 А);
- номинальная мощность достигала около 90 кВт;
- при ПВ=40% мощность на валу достигала 120 кВт, а в секундном режиме – до 140 кВт.

Базовый двигатель в условиях ПВ=40% обеспечивал лишь 65 кВт, а при росте нагрузки до 75 кВт начинал перегреваться.

Это указывает на то, что модернизированный ротор способен успешно применяться в качестве тягового двигателя и в приводах подъемно-транспортных машин с повторно-кратковременными режимами.

**Выводы.** Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором отличаются конструктивной простотой, технологичностью изготовления и высокой эксплуатационной надёжностью, что обусловило их широкое применение в приводах производственного и транспортного назначения.

1. Вместе с тем роторы традиционного исполнения имеют ряд характерных недостатков: сравнительно низкий пусковой момент, ограниченную перегрузочную способность, повышенную чувствительность к изменению нагрузки, а также трудности регулирования частоты вращения в установках с частыми пусками, реверсами и переменными режимами работы.

2. Значительная часть этих недостатков связана с наличием токов высших гармоник в стержнях «беличьей клетки», возникающих из-за образования коротких замкнутых контуров. Эти токи приводят к снижению момента, увеличению потерь и искажению механической характеристики. Проведённые исследования подтверждают, что модификация схемы роторной обмотки позволяет существенно уменьшить влияние высших гармонических составляющих.

3. Предложенный вариант однослойной реконструкции ротора обеспечивает устранение условий, при которых формируются замкнутые контуры токов высших гармоник. В результате удаётся снизить энергетические потери в роторе (в 9 раз), уменьшить пусковой ток (до 0,63 от базового значения), увеличить пусковой момент (почти в 2 раза), а также повысить перегрузочную способность двигателя до трёхкратных значений без перегрева статорной обмотки.

4. Испытание опытных образцов подтвердило, что модернизированный ротор обеспечивает увеличение механической мощности на валу до 1,65-кратного значения от номинала базовой машины, а также улучшение характеристик при повторно-кратковременных режимах нагрузки. Это позволяет рекомендовать предложенную конструкцию в качестве эффективного решения для приводов с тяжёлыми условиями эксплуатации – тяговых электроприводов, подъемно-транспортных машин, механизмов с частыми пусками и перегрузками.

#### Список литературы

1. Фиашев А. Г., Хамоков М. М., Кильчукова О. Х. Проблемы энергообеспечения предприятий Кабардино-Балкарской Республики // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 1(27). С. 63–68. EDN: OMGCKJ
2. Бароев Т. Р., Есенов И. Х., Цопанов Н. Е. Автоматическое управление работой погружного электронасоса для малобебитных источников воды // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 6. С. 40–41. EDN: JULTUP

3. Погружной электродвигатель насосной установки для локального водоснабжения / Н. Е. Цопанов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 8. С. 11–12. EDN: KAZYHD
4. Обоснование выбора источника питания погружного центробежного электронасоса для малолитражных источников воды / А. Г. Фиапшев, Н. Е. Цопанов, И. Х. Есенов, Т. А. Уртаев // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2025. № 4(50). С. 126–133. DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-126-133. EDN: MIRDRW
5. Погружной электронасос для глубоких малолитражных источников воды / Н. Е. Цопанов, И. Х. Есенов, А. Б. Кудзаев [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. 2009. Т. 46. Ч. 2. С. 123–126. EDN: MVJLGZ
6. Патент 2351803 Российская Федерация, МПК F04D 9/02, F04D 13/08. Способ обеспечения пуска электронасосов и устройство для его осуществления / И. Х. Есенов, Н. Е. Цопанов, Н. И. Гриднев, А. Б. Кудзаев; заявитель и патентообладатель Горский государственный аграрный университет. № 2007122878/06; заявл. 18.06.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.
7. Патент 2477389 Российская Федерация, МПК F04D 13/08. Погружной электронасос для глубоких малолитражных источников воды / Н. Е. Цопанов, И. Х. Есенов, А. Б. Кудзаев [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». № 2009140539/06; заявл. 02.11.2009; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7.
8. Модульное агрегатирование преобразователей электроэнергии мобильных энергосистем / О. В. Григораш, Ю. В. Даус, А. В. Квитко, П. М. Барышев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3(75). С. 339–348. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-39. EDN: BRWTFI
9. Выбор оптимального противодействующего усилия для достижения максимального быстродействия электромагнита / А. Г. Фиапшев, М. М. Хамоков, О. Х. Кильчукова, К. С. Розуматова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 1(35). С. 128–136. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-128-136. EDN: VKGMQK
10. Цопанов Н. Е., Фиапшев А. Г., Гриднев Н. И. Учёт технологичности при конструировании погружных центробежных электронасосов для малолитражных глубоких источников воды // Известия Горского государственного аграрного университета. 2013. Т. 50. Ч. 2. С. 216–219. EDN: QCFIIP

## References

1. Fiapshv A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.Kh. Problems of energy support of the enterprises of the Kabardino-Balkarian Republic. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;1(27):63–68. (In Russ.). EDN: OMGCKJ
2. Baroev T.R., Esenov I.Kh., Tsopanov N.E. Automatic control of a submersible electric pump for low-flow water sources. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva*. 2008;(6):40–41. (In Russ.). EDN: JULTUP
3. Tsopanov N.E. [et al.]. Submersible electric motor of a pumping unit for local water supply. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva*. 2008;(8):11–12. (In Russ.). EDN: KAZYHD
4. Fiapshv A.G., Czopanov N.E., Esenov I.X., Urtaev T.A. Justification for the selection of a power source for a submersible centrifugal electric pump for low-flow water sources. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2025;4(50):126–133. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-126-133. EDN: MIRDRW
5. Tsopanov N.E., Yesenov I.Kh., Kudzaev A.B. [et al.]. Submersible electric pump for deep low-flow water sources. *Proceedings of Gorsky state agrarian university*. 2009;46(2):123–126. (In Russ.). EDN: MVJLGZ
6. Patent 2351803 Russian Federation, Int. Cl. F04D 9/02, F04D 13/08. Method of starting electrically driven pumps and device to this end. I.Kh. Yesenov, N.Ye. Tsopanov, N.I. Gridnev, A.B. Kudzaev; applicant and patent holder Gorskiy gosudarstvennyj agrarnyj universitet. No. 2007122878/06; application 18.06.2007; publ. 10.04.2009, Bull. No. 10. (In Russ.)
7. Patent 2477389 Russian Federation, Int. Cl. F04D 13/08. Downhole electrically driven pump for deep low-yield water sources. N.E. Tsopanov, I.Kh. Yesenov, A.B. Kudzaev [et al.]; applicant and patent holder Federal'noe gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya "Gorskiy gosudarstvennyj agrarnyj universitet". No. 2009140539/06; application 02.11.2009; publ. 10.03.2013, Bull. No. 7. (In Russ.)
8. Grigorash O.V., Daus Yu.V., Kvitko A.V., Baryshev P.M. Modular aggregation of power converters of mobile power systems. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2024;3(75):339–348. (In Russ.). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-39. EDN: BRWTFI

9. Fiapshv A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.Kh., Rozumatova K.S. Selection of the optimal reactive force to achieve the maximum speed of the electromagnet. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022;1(35):128–136. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-128-136. EDN: VKGMQK

10. Tsopanov N.E., Fiapshv A.G., Gridnev N.I. Uchyot bystrokhodnosti pri konstruirovanii pogruzhnykh centrobezhnykh elektronasosov dlya malodebitnykh glubokikh istochnikov vody. *Proceedings of Gorsky state agrarian university*. 2013;50(2):216-219. (In Russ.). EDN: QCFIIP

---

#### Сведения об авторах

**Есенов Ирбек Хаджимуратович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования, электротехнологий и энергообеспечения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 2980-6243

**Фиапшев Амур Григорьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Kabardino-Balkarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V. M. Koкова», SPIN-код: 2111-4506, Scopus ID: 57216563705, Researcher ID: AAE-4739-2019

**Цопанов Николай Ефимович** – старший преподаватель кафедры электрооборудования, электротехнологий и энергообеспечения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 6999-5541

**Сатцаев Таймураз Русланович** – ассистент кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 5811-4698

#### Information about the authors

**Irbek Kh. Yesenov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Equipment, Electrical Technologies and Energy, Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 2980-6243

**Amur G. Fiapshv** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Enterprise Power Supply, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 2111-4506, Scopus ID: 57216563705, Researcher ID: AAE-4739-2019

**Nikolay Ye. Tsopanov** – Senior Lecturer of the Department of Electrical Equipment, Electrical Technologies and Energy Supply, Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 6999-5541

**Taimuraz R. Satsaev** – Assistant Professor at the Department of Technical Systems in Agribusiness, Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 5811-4698

---

**Авторский вклад.** Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

**Author's contribution.** All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

---

Статья поступила в редакцию 27.11.2025;  
одобрена после рецензирования 15.01.2026;  
принята к публикации 21.01.2026.

The article was submitted 27.11.2025;  
approved after reviewing 15.01.2026;  
accepted for publication 21.01.2026.