

РАЗГИЛЬДЕЕВ Геннадий

Кузбасский политехнический институт, Кемерово, СССР

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ГОРНЫХ МАШИН НА НАДЕЖНОСТЬ
ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Резюме. Приводятся результаты исследований влияния динамики горных машин, выраженной через число пусков рудничных электродвигателей (РЭД) в единицу времени, на их надежность и полученные уравнения регрессии.

Показано, что при пуске РЭД в обмотках возникает вибрация, вызванная колебаниями проводников под воздействием электромагнитных сил по сложной траектории.

Установлено, что спектр частот колебаний соответствует частоте сдвига проводника обмотки при прохождении по нему пускового тока, двойной частоте сети и собственной частоте лобовой части.

В качестве меры силы воздействия вибраций на изоляцию обмотки введено понятие амплитудно-частотного коэффициента вибрации.

Изучение характера распределения АЧКВ лобовой части обмотки показало, что повысить стойкость изоляции возможно применением теплопроводных компаундов, закрепляющих обмотки и предохраняющих их от воздействия окружающей среды.

Опыт показал, что на этой основе возможно повысить надежность рудничных электродвигателей в 2,0–2,5 раза против существующего уровня.

Отказы взрывозащищенных рудничных электродвигателей (РЭД) приводят к длительным простоям очистных и подготовительных забоев угольных шахт и вызывают большие материальные потери.

Динамику горных машин, определяющую надежность РЭД, можно характеризовать числом пусков электродвигателей (ЭД) в единицу времени.

В реферате приводятся результаты исследования влияния динамики работы ЭД на их надежность.

Статистические исследования на шахтах показали, что наработки ЭД на отказ имеют экспоненциальное распределение и зависят от режима работы горных машин.

В табл. I приведены средние значения числа пусков конвейеров (скребковых и ленточных) и насосов водоотлива и относительные

средние наработки их ЭД (средняя наработка ЭД насосов водоотлива принята за единицу), а на рис.1-кривые вероятностей безотказной работы. Здесь же показаны относительные средние наработки T'_{m1} , T'_{m2} , T'_{m3} и T_{m4} , соответствующие вероятности $P(t) = 0,367$.

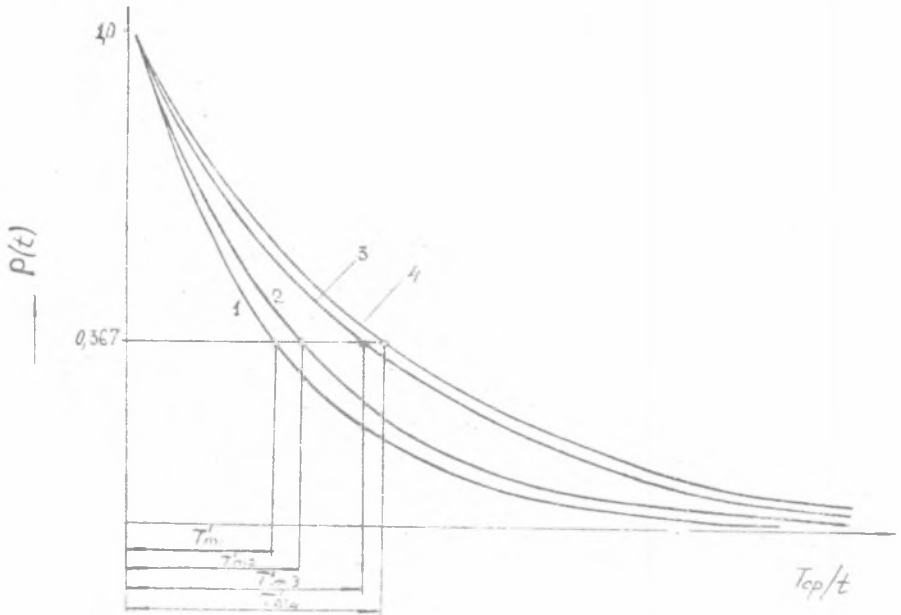


Рис. 1. Вероятности безотказной работы РЭД

1 - скребковые конвейеры, 2 - перегружатели, 3 - ленточные конвейеры, 4 - насосы водоотлива

Таблица 1

Наименование горных машин	Среднее число пусков, 1/ч, $T_{m,с}$	Средняя относительная наработка ЭД на отказ, $T'_{m,с} / T_{m,в}$
Скребковые конвейеры угледобывающих комплексов	40,0	0,571
Скребковые конвейеры-перегружатели угледобывающих комплексов	30,0	0,685
Ленточные конвейеры по горизонтальным выработкам	7,0	0,92
Насосы водоотлива	0,2	1,0

Из табл.1 и рис.1 следует, что при увеличении числа пусков за единицу рабочего времени ЭД и их надежность снижается.

В условиях проведенного эксперимента для каждого распределения наработок ЭД на отказ и числа пусков, т.е. для ЭД определенного назначения и типоразмера, были получены статистические ряды, по которым рассчитаны кривые регрессии, связывающие с достаточно высокими коэффициентами корреляции ($K_{T_m} = 0,82$ и $K_{T_M} = 0,89$) среднюю T_m и максимальную T_M наработки с этими характеристиками:

$$T_m = 13030 - 5,43 \cdot 10^{-2} N_{m.s} \quad (I)$$

$$T_M = 15624 - 6,51 \cdot 10^{-2} N_{m.s}$$

где $N_{m.s}$ - среднее число пусков на 1ч наработки ЭД, 1/ч.

С помощью формул (I) можно рассчитать ожидаемую наработку ЭД, если известен или задан режим работы горной машины по числу пусков в единицу времени.

Причины связей, описываемых уравнениями (I), состоят в том, что при пусках ЭД и при работе под нагрузкой в обмотках возникают термомеханические напряжения, которые воспринимаются изоляцией и снижают ее прочность, а также вызывают повышенный износ подшипников и других узлов и, в конечном счете, влияет на надежность РЭД в целом.

Вызываются эти напряжения электромагнитными силами, которые, в свою очередь, возбуждаются магнитодвижущими силами (м.д.с.) обмоток статора и ротора и магнитным полем в воздушном зазоре. При этом действуют радиальные силовые волны основного поля и волны взаимодействия любой пары высших гармонических м.д.с. статора и ротора.

Обычно в РЭД применяют двухслойные обмотки. При одинаковом числе проводников в пазу статора результирующая сила \bar{P}_p , вызывающая их вибрацию, равна векторной сумме силы \bar{P}_g взаимодействия токов по проводникам в верхнем и нижнем слоях обмотки и сил \bar{P}_{gM} и \bar{P}_{nM} , возбуждаемых взаимодействием токов в про-

водниках верхнего и нижнего слоев обмотки с магнитным полем сердечника, т.е.

$$\bar{P}_p = \bar{P}_c + \bar{P}_{cm} + \bar{P}_{nm}.$$

В результате математических преобразований получено уравнение траектории колебаний обмотки в пазу статора в виде

$$\frac{(F_1 + A/4)^2}{1/a} + \frac{F_2^2}{1/b} = 1, \quad (2)$$

где:

$$F_1 = P_c = -\frac{A}{4} + \frac{A}{2} \sin(2\omega t + \frac{5\pi}{6}); \quad A = \frac{m^2 I_m^2}{\alpha_m} \ell \mu_0;$$

$$F_2 = P_{cm} + P_{nm} = D \sin(2\omega t - \frac{\pi}{3});$$

$$D = m I_m B_m,$$

где m - число проводников в пазу; I_m - амплитуда тока по проводнику; ℓ - длина паза; α_m - расстояние между серединами обмоток (слоев); B_m - амплитуда магнитной индукции; μ_0 - магнитная проницаемость воздуха; ω - круговая частота.

Из уравнения (2) следует, что траектория вибрации проводника в пазу обмотки имеет форму эллипса с полуосями $\sqrt{1/a}$ и $\sqrt{1/b}$. Ось колебаний наклонена по отношению к направлению силы $\bar{F}_1 = \bar{P}_c$ под углом

$$\psi = \frac{1}{2} \arctg \frac{a\sqrt{3}AD}{4D^2 - A^2}. \quad (3)$$

Для большинства современных рудничных ЭД ^{оценки} для коэффициентов составляют: $A = 5000$; $B = 430$; $1/a = 2,28 \cdot 10^5$; $1/b = 5,33 \cdot 10^4$. Траектория вибрации проводника, рассчитанная с учетом этих данных, показана на рис.2.

Смещение d проводника обусловлено постоянной составляющей в колебании $\bar{F}_1 = \bar{P}_c$, а его величина равна

$$d = K I_m^2, \quad (4)$$

где

$$K = \frac{m^2 \ell \mu_0}{4 \alpha_m} = \frac{A}{4}.$$

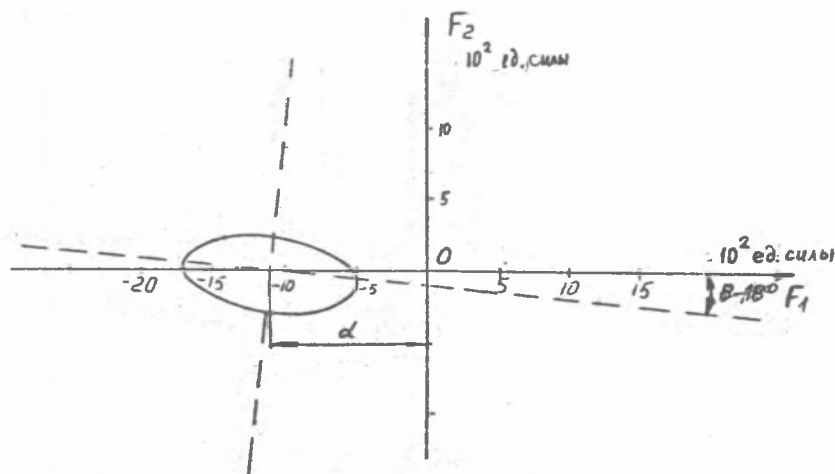


Рис. 2. Траектория вибрации проводников обмотки ЭД в пазу статора

Для проверки этих теоретических результатов был проведен эксперимент по исследованию вибрации проводников ЭД со всыпными обмотками. *)

Для этой цели использовали специальное приспособление, показанное на рис. 3.

Измерение вибраций проводников лобовой части 5 ЭД производили с помощью тензорезисторов 7, наклеенных с двух сторон на балку равного сопротивления, изготовленную из фосфористой бронзы.

Типичная осциллограмма изменения пускового тока ЭД и вибросигнала приведена на рис. 4, откуда видно, что при пуске проводник смещается в сторону и вибрирует с некоторой частотой, отличающейся от частоты тока. Это смещение проводника воспринимается изоляцией, как удар, в результате которого снижается её механическая прочность. Измерения в других плоскостях показали справедливость уравнения (2), описывающего траекторию вибрации проводников асинхронных ЭД.

Измерение на РЭД разных типоразмеров (всего было получено около 500 осциллограмм) позволили установить амплитудные спек-

* Эксперимент выполнен инж. Б.А. Федосеевым.

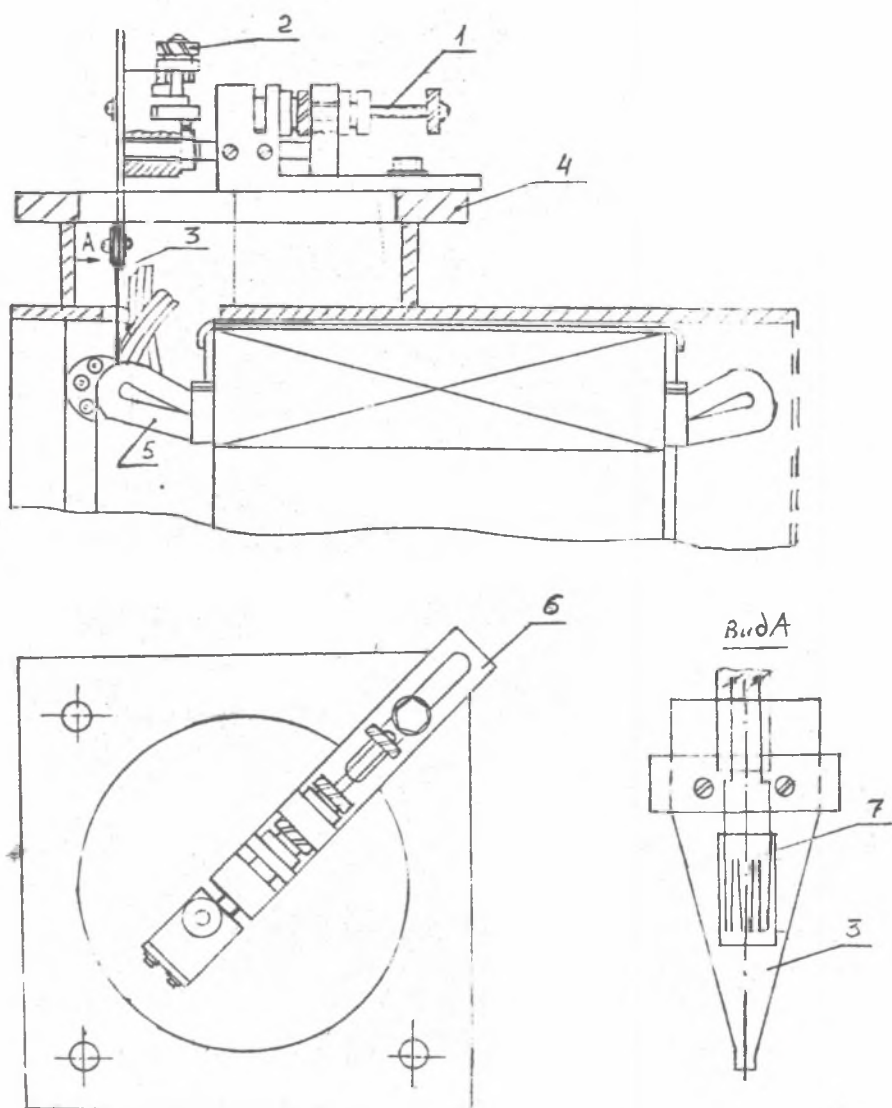


Рис. 3. Установка тензорезистора на горловине вводного устройства ЭД
 1,2 - установочные винты, 3 - тензобалка с тензорезисторами, 4 - горловина ввода, 5 - лобовая часть обмотки, 6 - кронштейн, 7 - тензорезистор

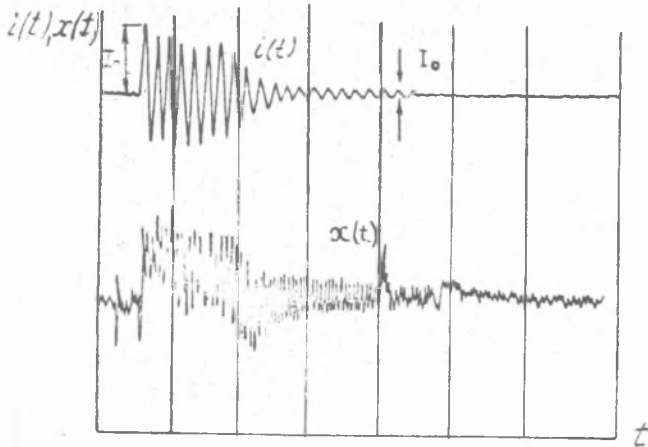


Рис. 4. Осциллограмма пускового тока $i(t)$ и вибросигнала от смещения проводников обмотки ($x(t)$)

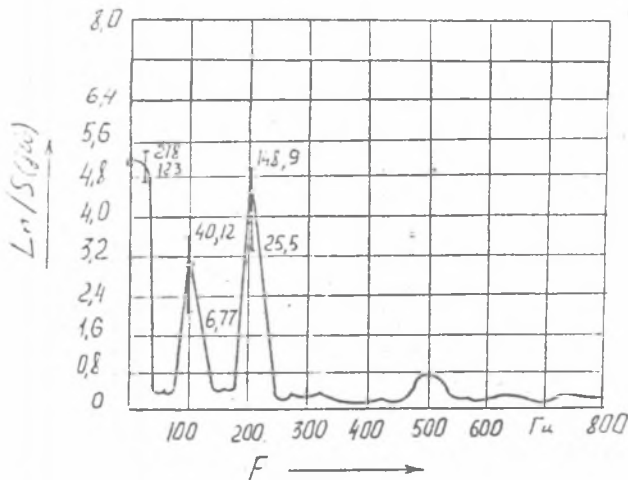


Рис. 5. Амплитудный спектр вибрации проводников лобовой части

ры $[S(j\omega)]$ вибраций, один из которых приведен на рис. 5, откуда видно, что наибольшие по амплитуде вибрации РЭД возникает на частоте основного электромагнитного взаимодействия проводников (100 Гц) и на собственной частоте секции обмотки (200 Гц).

Пик в районе частоты $0 + 3,1$ Гц соответствует смещению проводников при пуске ЭД или при набросе нагрузки.

Результаты исследований свидетельствуют о преобладающем вкладе в вибросигнал колебаний лобовой части на собственной частоте.

При сопоставлении спектральных функций вибраций в группе однотипных ЭД предложено использовать амплитудно-частотный коэффициент вибрации (АЧКВ)

$$S_{af} = \left[\int_0^{\tau_n} g(\omega) |S(j\omega)| d\omega \right]_N, \quad (5)$$

где $g(\omega)$ - весовые функции вибрации при пусковом режиме; τ_n - длительность периода пуска ЭД; $|S(j\omega)|$ - модуль спектральной функции; N - число реализаций процесса усреднения (число измерений).

Размерность АЧКВ - мкм·Гц, а порядок величины для ЭД со верхними обмотками составляет $(2 - 8) \cdot 10^3$ (большие значения относятся к крупным ЭД).

На рис. 6 приведено распределение АЧКВ по длине лобовой части обмотки для ЭД разных типоразмеров. Видно, что наибольшее

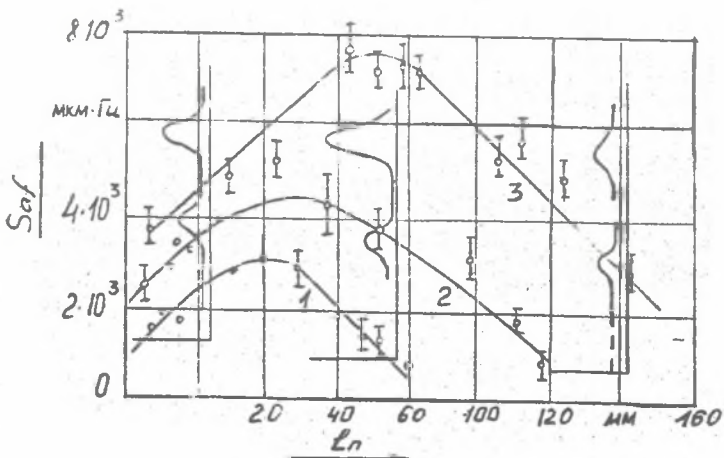


Рис. 6. Распределение АЧКВ по длине лобовой части обмотки ЭД

значение АЧКВ, т.е. минимальная вибрация имеет место примерно в середине лобовой части. Такой характер распределения вибраций объясняется тем, что в месте выхода обмотки из паза проводники скреплены лучше, чем в лобовой части. В то же время в месте выхода проводника из паза возникают наибольшие напряжения, разрушающие изоляцию. Именно здесь и происходит большинство пробоев изоляции.

Наилучшим решением является укрепление обмотки с помощью высокопрочных компаундов.

Опыт показал, что применение теплопроводных компаундов позволяет не только закрепить обмотки и избежать разрушительных действий вибрации при пусках и других переходных процессах, но и предохранить её от воздействия окружающей среды и повысить надежность ЭД в 2,0 – 2,5 раза против существующего уровня.

ВЫВОДЫ:

1. При пусках ЭД в проводниках обмоток возникают вибрации, вызванные действием электромагнитных сил. Проводники вибрируют по сложной траектории, которая в первом приближении описывается уравнением эллипса; ось которого наклонена по отношению к одной из действующих сил;
2. Наибольшая амплитуда колебаний имеет место за счет смещения проводника, при двойной частоте сети и на собственной частоте обмотки;
3. Для локализации вредного действия на изоляцию ЭД вибраций проводников обмотки и повышения надежности РЭД предложено применять теплопроводные компаунды, которые позволяют укрепить обмотку и предохранить ее от воздействия окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Разгильдеев Г.И., Федосенков Б.А., Гринберг Ю.М.: Исследование вибрационных процессов во всенных обмотках электрических машин и их влияние на надежность, - "Электротехн. пром-сть. Сер. Электрические машины", 1981, вып. 2 (120), с. 8.

WPLYW DYNAMIKI MASZYN GÓRNICZYCH NA NIEZAWODNOŚĆ ISKROBEZPIECZNYCH SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH

S t r e s z c z e n i e

W pracy przedstawione zostały wyniki badań wpływu dynamiki maszyn górniczych, wyrażonej przez ilość rozruchów górniczych silników elektrycznych w ciągu jednostki czasowej, na ich niezawodność oraz otrzymane równania regresji.

Pokazano, że przy włączeniu silników w uzwojeniach powstają wibracje wywołane drganiami przewodników pod działaniem sił elektromagnetycznych według złożonej trajektorii.

Ustalono, że widmo częstotliwości drgań odpowiada częstotliwości przesunięcia przewodnika uzwojenia podczas przejścia przez niego prądu rozruchowego, podwójnej częstotliwości sieci oraz częstotliwości własnej części czołowej.

Jako miara siły oddziaływania drgań na izolację uzwojenia przyjęty został współczynnik amplitudowo-częstotliwościowy wibracji.

Badania charakteru rozkładu tego współczynnika na długości części czołowej uzwojenia wykazały, że podwyższenie odporności izolacji możliwe jest przy zastosowaniu komponentów przewodzących ciepło, które wzmacniają uzwojenie i chronią je przed działaniem otoczenia.

Doświadczenia wykazały, że w ten sposób można podwyższyć niezawodność górniczych silników elektrycznych 2-2,5-krotnie.

THE INFLUENCE OF DYNAMICS OF MINING MACHINES ON THE RELIABILITY OF ELECTRIC MOTORS

S u m m a r y

The paper presents result of investigations of the influence of dynamics of mining machines (dynamics being expressed by the number of start-ups of mining electric motors in a time unit) on the reliability and on the obtained regression equations.

It is shown that while turning on the motor vibrations caused by oscillations of conductors come into being in windings according to a complicated trajectory.

It is stated that the spectrum of frequency of vibrations corresponds to the frequency of movements of winding's conductor during the flow of start-up current, to double frequency of front part.

As a measure of the influence of vibrations on the insulation of a winding the amplitude - frequency coefficient is assumed.

Investigations of the character of the distribution of that coefficient on the along the front part of a winding proved that the improvement of resistance of insulation is possible to achieve by the use of components

which conduct heat and reinforce the winding and protect it against the surroundings.

The experiments proved that in this way the reliability of mining electric motors can be improved 2 to 2,5 times.