

В умовах, що не відповідають санітарно-гігієнічним нормам, працюють 78,7% від усього персоналу, який обслуговує машини та устаткування. Забезпеченість санітарно-побутовими приміщеннями та обладнанням у 2011р. достатня.

Результати проведеного аналізу свідчать, що, незважаючи на постійне зменшення середньоспискової чисельності працівників підприємств ГМК України, викликане спадом виробництва, частотні показники та показники важкості травматизму змінюються дуже повільно. Це дозволяє зробити висновок, що ефективність працезохоронних заходів, які розробляються та впроваджуються на промислових підприємствах, недостатня для значного зниження ризику травмування працівників. Значна вага організаційних причин, що привели до травмування, зокрема невиконання посадових обов'язків та невиконання вимог інструкцій з охорони праці свідчить про те, що працівники необережно відносяться до власного здоров'я та безпеки, що свідчить про необхідність подальшого вдосконалення системи навчання працівників підприємств з питань охорони праці. Невиконання посадових обов'язків в частині недостатнього контролю за технічним станом виробничих об'єктів та території також значно підвищує ризик травмування працівників, особливо у зимовий період.

Для зниження рівня виробничого травматизму та підвищення безпеки праці необхідно:

виконати технічне переозброєння галузі, удосконалити технологічні процеси з метою виведення робітників з небезпечних зон;

при проведенні атестації робочих місць особливу увагу звертати на технічний стан споруд, будівель, обладнання, засобів захисту;

систематично аналізувати стан охорони праці з доведенням результату до безпосередніх виконавців;

постійно контролювати розробку та здійснення профілактичних заходів щодо найбільш травмонезбезпечних операцій та обладнання;

забезпечити на підприємствах жорсткий контроль за дотриманням графіків огляду і ремонту будівель, споруд, обладнання, засобів захисту;

підвищити ефективність системи всіх видів внутрішнього контролю за достатністю заходів з безпеки праці на стадіях підготовки виробництва та його здійснення;

підвищити рівень знань працівників з охорони праці, застосовуючи сучасні методики навчання та інструктажу з використанням наглядних посібників, тестів, тощо; розробити нові методи ведення пропаганди безпеки праці, направлені на виховання у працівника почуття самозбереження, відповідальності за своє здоров'я та безпеку інших;

розробити профілактичні заходи по зміцненню трудової та виробничої дисципліни, активізувати роботу щодо попередження нещасних випадків у стані сп'яніння.

Рукопис подано до редакції 21.01.12

УДК 622:621.3

Ю.Г. ОСАДЧУК, А.Б. СЁМОЧКИН, кандидати техн. наук, доценти,  
В.А. ФЕДОТОВ, ст.препод., И.В. КАСАТКИНА, канд. техн. наук, доц.  
ДВНЗ «Криворожский национальный университет»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРЯМОМ ВКЛЮЧЕНИИ В СЕТЬ**

Анализируется степень влияния величины эксцентриситета на ударное значение электромагнитного момента при пуске АД способом его прямого включения в сеть. На основе проведенного анализа разрабатываются рекомендации по уменьшению пускового момента.

Ключевые слова: **Эксцентриситет, максимальное значение электромагнитного момента, асинхронный двигатель, прямое включение в сеть.**

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В последнее время все большее внимание уделяется диагностированию электромеханического оборудования, в частности асинхронных двигателей, с целью предупреждения внезапных отказов, а также улучше-

ния технико-экономических показателей их использования. Известно, что в результате длительной работы изнашиваются подшипники ротора, из-за чего изменяется зазор АД.

**Анализ исследований и публикаций.** В результате обзора литературных источников можно сделать вывод, что теоретические исследования влияния эксцентриситета ротора АД на режим работы осуществлялись: 1) в Оренбургском университете (Россия) под руководством Н.Г. Никияна, 2) в ДонНТУ (Украина) под руководством Г.Г. Рогозина, 3) в Амиркабирском технологическом университете (Иран) под руководством Н. Meshgin-Kelk. Исследования в основном сосредотачивались на выявление факта и степени эксцентриситета с помощью косвенных методов без разборки машины, а также расчета индуктивностей взаимоиндукции и рассеяния АД в функции эксцентриситета.

В частности, установлено [1], что в результате значительного эксцентриситета ротора коэффициент полезного действия АД снижается на 2,8 %, максимальный и пусковой моменты уменьшаются в пределах 20 и 8 % соответственно, скольжение увеличивается на 10 %. В [2] показано, что с появлением эксцентриситета возрастает коэффициент мощности  $\cos\varphi$ .

В результате обзора доступных литературных источников можно констатировать, что в основном исследования неравномерности зазора связаны с показателями статических режимов АД (КПД,  $\cos\varphi$ , характерные точки механической характеристики). Результаты исследований связи динамических параметров АД с неравномерностью зазора вообще не представлены. В [2,3] показано, что взаимоиндуктивность между статором и ротором и индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора в функции эксцентриситета ротора значительно меняются. Отсюда очевидно следует, что картина магнитного потока должна заметно измениться в активной стали и воздушном зазоре АД.

**Постановка задачи.** Поэтому особый интерес представляет собой поведение АД при изменившейся картине магнитного потока, особенно в первые мгновения прямого пуска. Известно, что ударные электромагнитные моменты включения АД при его прямом пуске в общем случае неблагоприятно влияют как на приводимый механизм, так и на двигатель. Поэтому авторами статьи была поставлена задача определить, не возрастает ли указанный ударный момент АД от наличия эксцентриситета ротора, чтобы потом в дальнейшем оценить возможный ущерб от его воздействия, и, по необходимости, разработать технические рекомендации по уменьшению негативных последствий от этого момента.

**Изложение материала и результаты.** Исследования выполнялись методом математического моделирования прямого пуска АД. Для моделирования использовалась математическая модель АД, записанная в трехфазной системе координат [4], только (в отличие от симметричной модели) в исследуемой модели коэффициенты взаимоиндукции между обмотками статора и ротора записывались (например, для фаз  $A$  и  $a$ )

$$L_m = (L_o + \Delta L \cdot \sin(\omega_o \cdot t + \delta)) \cdot \cos(\omega_p \cdot t + \alpha),$$

где  $\omega_o$  - скорость вращения основного магнитного потока;  $\omega_p$  - скорость вращения ротора;  $\alpha$  - угол между осями симметрии обмоток  $A$  (статора) и  $a$  (ротора),  $\delta$  - угол между осью симметрии обмотки  $A$  и направлением вектора магнитного потока,  $L_o$  - среднее значение коэффициента взаимоиндукции (то есть номинальное при симметричном зазоре АД);  $\Delta L$  - максимальное отклонение коэффициента взаимоиндукции.

Указанное представление коэффициента взаимоиндукции предполагает, что рассматривается динамический тип эксцентриситета (в отличие от статического), когда ротор АД имеет некоторый люфт, и величина зазора непрерывно (со скоростью магнитного поля статора) меняется по расточке статора.

Объектом исследования в данной работе являлся асинхронный двигатель типа АО2-52-4 с параметрами:  $U_n = 220$  В;  $P_n = 10$  кВт;  $M_n = 65.4$  Н·м;  $I_n = 19$  А;  $n_n = 1460$  об/мин;  $J_{об} = 0.09$  кг·м<sup>2</sup>;  $2p = 4$ ;  $f_n = 50$  Гц;  $r_s = 0,45$  Ом;  $r_r = 0,7$  Ом; индуктивность рассеяния статора  $l\sigma_s = 0,0043$  Гн; индуктивность рассеяния ротора  $l\sigma_r = 0,0043$  Гн; взаимоиндуктивность  $L_m = 0,1045$  Гн;  $\eta_n = 88,5\%$ ;  $\cos\varphi = 0,87$ ;  $M_{max}/M_{ном} = 2$ ;  $I_n/I_n = 7$ .

В результате исследования на этой модели указанного АД с эксцентриситетом ротора 80 % были получены следующие графики переходных процессов:

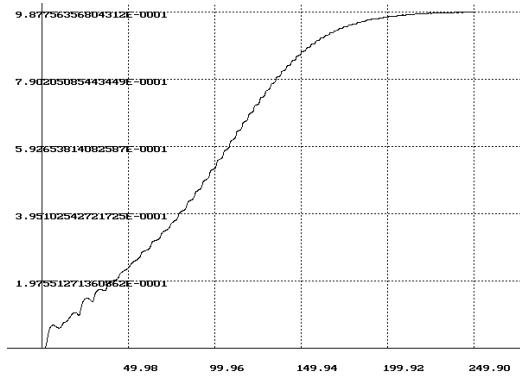


Рис. 1. Швидкість при пуску двигателя з ексцентриситетом 80%

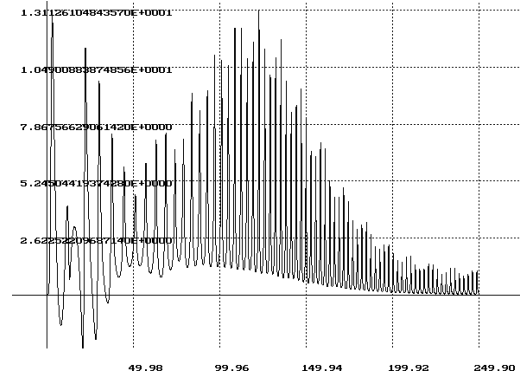


Рис. 2. ЕМ момент при пуску двигателя з ексцентриситетом 80%

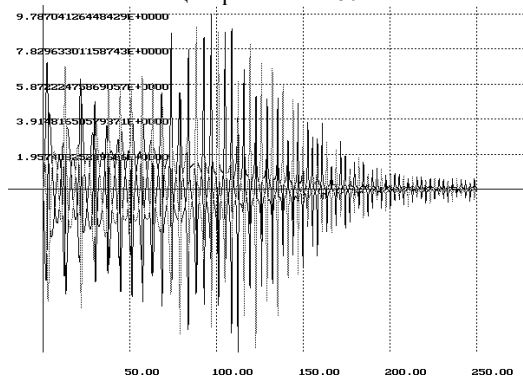


Рис. 3. Струм статора при пуску двигателя з ексцентриситетом 80%

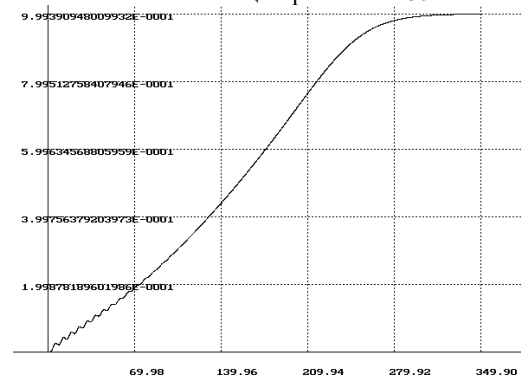


Рис. 4. Швидкість при пуску правильного двигателя

Нижче для порівняння представлені ті ж самі графіки для той же машини при тих же умовах, тільки без ексцентриситета ротора.

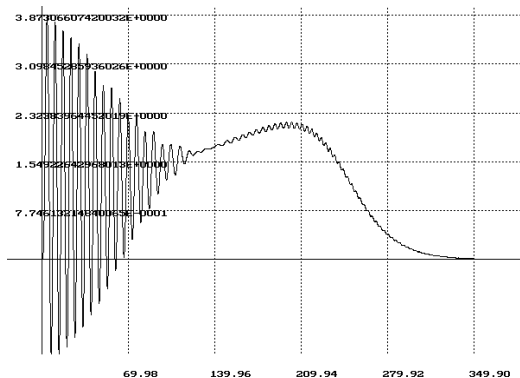


Рис. 5. ЕМ момент при пуску правильного двигателя

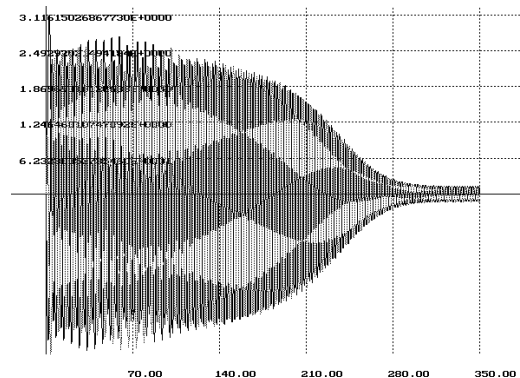


Рис. 6. Струм статора при пуску правильного двигателя

Проведемо порівняльний аналіз вищепроведених графіків. Із сопоставлення графіків швидкості (рис. 1,4) видно, що номінальна швидкість двигателя досягається за час, менше на третю (за 250 о.е. проти 350 о.е.). На перший погляд це являється позитивним моментом. Однак при порівнянні графіків електромагнітних моментів (рис. 2,5) можна побачити, що пікове значення цього моменту при наявності ексцентриситета 80 % досягає величини 13,11 о.е., що більше ніж в три рази перевищує пікове значення в ході нормального режиму (3,87 о.е.). Почти все час пуску піковий електромагнітний момент при ексцентриситеті перевищує аналогічний при нормальному режимі. Цим і пояснюється, чому пуск несправного АД скорочується по часу, порівняно з правильним.

Розглянемо тепер в більш крупному масштабі графіки струму статора і електромагнітного моменту в установившійся режимі.

Проаналізуємо графіки рис. 7,8. Видно, що в установившійся режимі миттєві значення електромагнітного моменту все час змінюються (пульсують). Форма графіка струму (см. рис. 7) настільки специфічна, що після експериментальної перевірки теоретических ре-

зультатов ее можно будет рекомендовать как диагностический параметр для выявления неравномерности воздушного зазора. В качестве диагностического параметра можно также использовать вибрации. Колебания электромагнитного момента (см. рис. 7) идут с частотой 125 Гц, и при отсутствии иных процессов, идущих в АД с этой частотой, эту вибрационную частоту можно использовать как полезный для диагностики сигнал

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Появление эксцентриситета ротора в АД приводит к значительному возрастанию величин ударного электромагнитного момента при прямом пуске АД в сеть. Это неблагоприятно влияет на двигатель и механизм, снижая срок их службы. Для идентификации факта наличия эксцентриситета ротора можно использовать форму тока статора и частоту вибрации машины. Эти сигналы можно использовать как указатели на возможное наличие изменяющегося зазора АД.

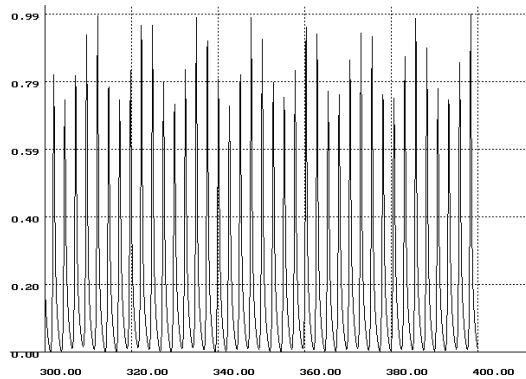


Рис. 7. График электромагнитного момента в установившемся режиме при эксцентриситете ротора 80%

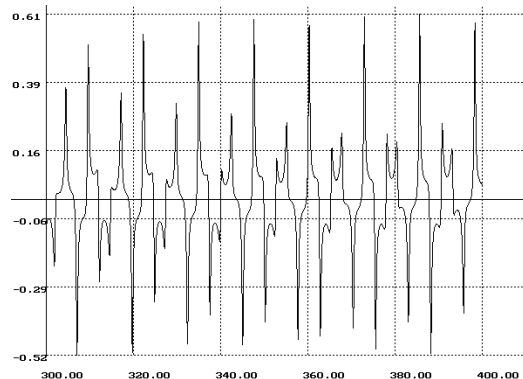


Рис. 8. График тока статора в установившемся режиме при эксцентриситете ротора 80%

#### Список литературы

1. Рогозин Г.Г., Мироненко И.А. Влияние неравномерности воздушного зазора на электромагнитные параметры и переходные процессы ротора при отключении асинхронных двигателей // Сборник статей кафедры "Общая электротехника". Донецкий государственный технический университет
2. Н. Meshgin-Kelk, J. Milimonfared Electric Machines and Drive Laboratory Department of Electrical Engineering Amirkabir University of Technology Tehran 15914, Iran Зависимость эксцентриситета воздушного зазора АД с КЗ ротором от коэффициента мощности / Перевод на русский: Маруневич А.И.
3. Синельников А.М., Боннет В.В. Математическая модель диагностики асинхронного двигателя в процессе пуска // Научно-практический журнал "Вестник ИрГСХА", 2009, выпуск 36, сентябрь. - С. 109 – 115
4. Соколов М. М., Петров Л. П. Масандилов Л. Б., Ладензон В. А Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе // М. : Энергия, 1967. - 200 с.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.11

УДК 681.542.35

В.О. КОНДРАТЕЦЬ, канд. техн. наук, проф., А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук  
Кіровоградський національний технічний університет

#### ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЗРІДЖЕННЯМ ПУЛЬПИ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ПІСКІВ ДВОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Обґрунтовано принцип автоматичного керування розрідженням пульпи при подрібненні піскового продукту з використанням впливу за витратою пісків та змінного задаючого діяння по співвідношенню руда/вода.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Подрібнення міцних залізних руд в Україні здійснюють з використанням технологічної схеми, де кульовий млин подрібнює піски двоспірального класифікатора, працюючи у замкнутому циклі по продукту з другої спіралі. У таких складних технологічних умовах кульовий млин, що несе основне навантаження, працює без підтримання необхідного значення розрідження пульпи. При цьому не забезпечується найбільш ефективно використання молоткових тіл, футерівки, електричної енергії, транспортування рідкого матеріалу, що приводить до значних економічних збитків. Це не узгоджується з вимогами законодавства України про ресурсозберігаючі технології в