

чения 20 МПа, а максимальные деформации - допустимых значений, определяемых в соответствии с [7, 8].

Результаты технико-экономического анализа эффективности замены колодочных тормозов ТКГ-160 и ТКГ-200 на тормоз ТКГ-160D с рычажной системой *Duplex* являются предметом следующих публикаций.

Литература

1. Тормозные устройства: Справочник / Под общ. ред. М. П. Александрова. - М.: Машиностроение,

1985. - 312 с.

2. Александров М. П. Тормоза подъемно-транспортных машин. - М.: Машиностроение, 1976. - 383 с.

3. ОСТ 24.290.08-82. Тормоза колодочные. Основные параметры и размеры. - М.: Минтяжмаш, 1977. - 12 с.

4. Носко А.Л., Бойко Г. А., Ленич С. В. Оценка долговечности шарнирных соединений тормозных устройств грузоподъемных машин // Вісник СНУ ім. В. Даля. 2013. №15 (204), частина 2. - С. 167–173.

5. Носко А.Л., Носко А.П., Мишкарёва Е.В. Техничко-экономические

расчеты при выборе колодочных тормозных устройств ПТМ // Тяжелое машиностроение. 2007. №10. - С. 35–39.

6. ГОСТ 13556-91. Краны башенные строительные. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1992. - 50 с.

7. Машины подъемно-транспортные. Тормоза механические. Методы расчета. РТМ 24.090.19–76. - М.: НИИинформтяжмаш, 1978. - 52 с.

8. Расчеты крановых механизмов и их деталей. В 2-х томах. - М.: ВНИИПТМАШ, 1993. Т. 2. - 163 с. ▀

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТОЛКАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ТОРМОЗОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Юрий Всеволодович КАЗУТО, ведущий конструктор, аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Денис Александрович КАРАСЕВ, технический директор, Николай Ильич ИВАШКОВ, канд. техн. наук, генеральный директор

ООО НПП «Подъемтранссервис», Московская область

Анатолий Владимирович ВЕРШИНСКИЙ, д-р техн. наук профессор, заведующий кафедрой

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана



Выполнена экспериментальная проверка разработанной методики расчета электромагнитных толкателей колодочных тормозов на специальном испытательном стенде, подтвердившая возможность с высокой точностью и за короткое время проектировать электромагниты постоянного тока для тормозов подъемно-транспортных и других машин.

Ключевые слова: тормоза колодочные, электромагнитные толкатели, методика расчета, экспериментальная оценка, испытательный стенд.

Для расчёта длинноходовых электромагнитных толкателей постоянного тока, используемых в качестве аппаратов привода тормозов подъемно-транспортных машин [1], в [2] дано обоснование и предложена методика в развитие методик существующих проектных расчётов электромагнитов [3, 4] и расчета конечными элементами на основе свободно распространяемой

программы расчёта электромагнитов FEMM 4.2 [5]. Указанная программа выбрана ввиду относительной простоты применения и отсутствия необходимости изменения её основного ядра. Предложенная методика [2] позволяет с большей точностью проводить проектные расчеты и выбор основных размеров электромагнитных толкателей и электромагнитов, определять их необ-

ходимые электромеханические характеристики, а также при помощи расчётной модели и программы расчёта методом конечных элементов корректировать полученные результаты при проверочном расчёте.

Суть нового подхода [2] к расчету длинноходовых электромагнитных толкателей [1] заключается в четком разделении их проектного и проверочного

расчётов. На этапе проектирования применяют модифицированные методики [3, 4], позволяющие с учётом рекомендаций и накопленного опыта подбирать относительно оптимальные размеры ядра в зависимости от назначения толкателей и электромагнитов. Для силовых длинноходовых аппаратов постоянного тока, в отличие от применяемых в низковольтной аппаратуре, проектирование представляется более сложным ввиду малого опыта конструирования серийных модификаций длинноходовых электромагнитных толкателей. После выбора определенной конструкции проводится построение модели проектируемого электроаппарата и его расчёт с помощью программы [5]. Неудачно выбранные размеры ядра электромагнита отрицательно влияют на электромагнитные характеристики магнитопровода и снижают развиваемое аппаратом усилие. Полученная наглядная картина характеристик магнитопровода позволяет внести соответствующие улучшения в его конструкцию без изготовления и проверки опытного образца.

Известная практика предусматривает изготовление на основе результатов проектного и проверочного расчётов опытных образцов электромагнитов и последующее изменение их конструкции по данным испытаний. Для короткоходовых электромагнитов погрешность при расчете по методикам [3, 4] обычно не превышает 5-10%, для длинноходовых аппаратов эта величина может достигать 30%.

В [2] с использованием предложенной методики произведены расчеты длинноходовых электромагнитных толкателей постоянного тока МПТ-600, предназначенных для применения в виде растормаживающих устройств в нормально замкнутых тормозах ТКПМ-600-2 грузоподъемных кранов и конвейеров. Для убедительного подтверждения достоверности произведенных расчетов по новой методике и оценки их результатов была выполнена экспе-

риментальная проверка обоснованности применения метода конечных элементов в расчетах параметров магнитопроводов и силовых характеристик длинноходовых электромагнитных аппаратов постоянного тока.

Измерение усилия электромагнитного толкателя в зависимости от хода его якоря и тока, протекающего в катушке, производили на специальном стенде, схема которого показана на рис.1. Толкатель МПТ-600 (на рис. 1 обозначен поз. 1) присоединяли к рычажной системе, аналогичной применяемой в тормозе ТКПМ-600-2 [1]. Нагрузку, прикладываемую к штоку толкателя, обеспечивали действием пружин 2 с заданными силовыми характеристиками. Ход якоря испытуемого аппарата регулировали установочным болтом 3. Ток, протекающий через катушку, изменяли с помощью трансформатора подачей напряжения от 0 до 220 В (режим форсировки).

Испытания проводили при настройке электромагнитного толкателя с помощью болта 3 на максимальный ход якоря, равный 90 мм. Пружинами 2 обеспечивали величины начальных нагрузок на шток якоря электроаппарата. Концевым выключателем 4, связанным со штоком якоря, фиксировали момент начала его движения. При этом определяли значения тока, протекающего через катушку электромагнитного толкателя.

Изменяя длину пружин и, таким образом, усилие противодействия якорю, измеряли величины тока в катушке. По величинам усилия якоря и тока строили электромеханическую характеристику электромагнитного толкателя (зависимость усилия F , развиваемого якорем, от ампер-витков его катушки).

Значения усилий, полученных в результате эксперимента, представляют собой разность между усилием, развиваемым толкателем, и весом его якоря. С практической точки зрения важна именно данная разность. Для удобства сопоставления и дальнейшего исполь-

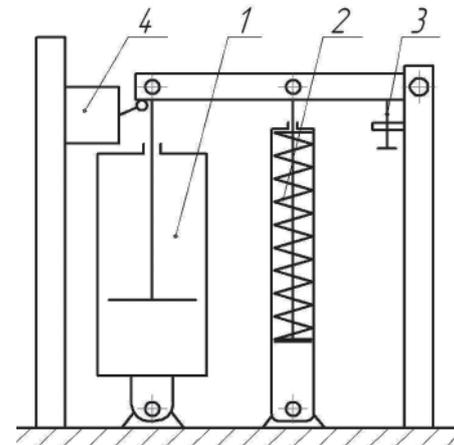


Рис. 1. Схема испытательного стенда

зования результатов расчёта в предложенной методике [2] учитывали уменьшение развиваемого усилия F от действия веса якоря при установке электромагнитного толкателя в рабочем вертикальном положении. При обработке результатов эксперимента благодаря повышенной точности изготовления шарниров рычажной системы стенда и, вследствие этого, незначительному влиянию трения в них не учитывали это влияние на полученные результаты.

Для повышения точности проводимых экспериментов проведены три серии испытаний со ступенчатым изменением усилия, противодействующего штоку якоря. На рис.2 показаны полученные расчетным путем 1 и экспериментальные 2 характеристики электромагнитного толкателя МПТ-600 для максимального хода якоря 90 мм. При этом усилие, действующее на якорь, имеет минимальное значение. Следует подчеркнуть, что максимальный ход при эксплуатации не достигается, его предельная величина на практике не превышает 65 мм.

На графики рис. 2 красными метками нанесены значения, полученные расчетом по методике [2] на основе метода конечных элементов (кривая 1). Синим цветом отмечены значения, полученные экспериментальным путем (кривая 2). Средняя точность построения кривой 2 (по всем результатам трех серий испытаний) – 1,51%. Пиковые

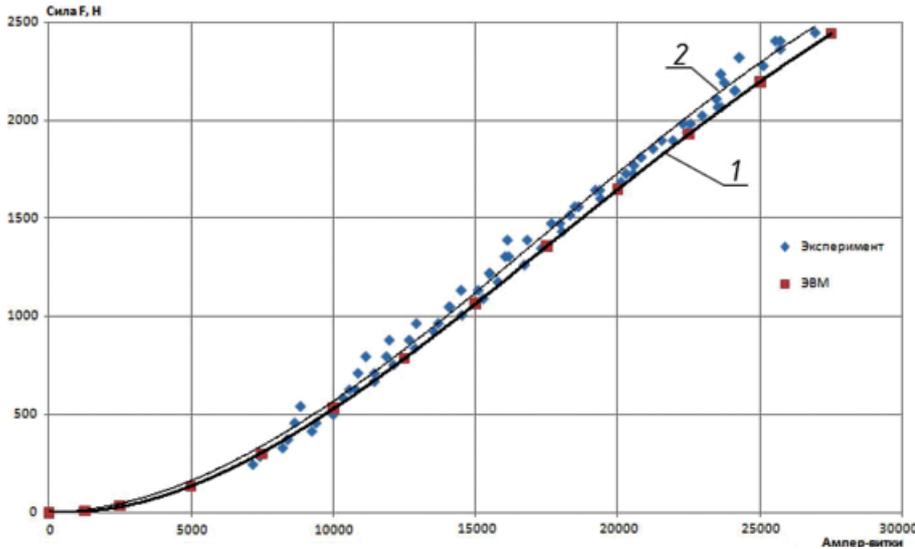


Рис. 2. Характеристики электромагнитного толкателя МПТ-600

отклонения, имеющие точность 8,9% (например, значение усилия, соответствующего 24230 ампер-витков), являются несистематической погрешностью измерений и могут не приниматься во внимание.

Согласно полученным данным точность расчёта электромагнитных толкателей методом конечных элементов существенно выше, чем достигаемая другими известными методами расчёта электромагнитов [3, 4]. Точность расчёта в данном случае, как и для любой подобной методики, основанной на методе конечных элементов, напрямую зависит от соответствия расчётной модели конструкции реального электроаппарата.

В НПП «Подъёмтранссервис» так-

же разработан автоматизированный стенд для снятия характеристик электромагнитных толкателей. Его конструкция предусматривает фиксацию усилия, развиваемого штоком якоря, с помощью тензометрической пластины. Ток катушки, как и в стенде по рис. 1, определяется напряжением, подаваемом трансформатором. Фиксируемые значения характеристик толкателей оцифровываются и записываются при помощи специальной платы на карту памяти. Упомянутый стенд может использоваться для испытания электрогидравлических толкателей и тарировки пружин.

Предложенная методика [2] позволяет с высокой точностью и малыми временными затратами проектировать

электромагниты постоянного тока для тормозов подъёмно-транспортных и других машин, в том числе длинноходовые электромагнитные толкатели. Методика обеспечивает получение их электромагнитных и электромеханических характеристик, а также при необходимости возможность проектировать однотипные аппараты, используя программу [5], без проведения громоздких вычислений с учетом изменения кратности определяющих размеров.

Литература

1. Ивашков Н.И., Костромин А.Д., Карасев Д.А., Казуто Ю.В., Ивашков И.В., Горобец Г.А. Тормоза с электромагнитными толкателями для приводов подъёмно-транспортных машин // Подъёмно-транспортное дело. – 2011, № 2. – С. 2-4.
2. Казуто Ю.В. Особенности расчёта электромагнитов методом конечных элементов // Подъёмно-транспортное дело. – 2013, № 5-6. – С. 2-5.
3. Любчик М.А. Силовые электромагниты аппаратов и устройство автоматики постоянного тока: Расчет и элементы проектирования. – М., Энергия. – 1968. 152 с.
4. Гордон А.В., Сливинская А.Г. Электромагниты постоянного тока. – М., Госэнергоиздат. – 1960. – 447 с.
5. Интернет: <http://www.femm.info/wiki/HomePage>



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Э. БАУМАНА

Кафедра РК-4 „Подъёмно-транспортные системы”

тел.: 499-263-68-40

E-mail: rk4@mx.bmstu.ru

ПОДПИСКА на журнал проводится ПОСТОЯННО



Через федеральные агентства на следующее полугодие (подписные индексы в каталогах "Роспечать" 18003, "Пресса России" 20966)

В редакции на любой срок с любого момента, включая уже вышедшие ранее номера за текущий и прошлые годы.

Тел./факс: (495) 967-69-83. 993-10-26.

Электронный адрес: ptd@npp-pts.ru, ptd3@yandex.ru.

ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ДЕЛО