

ВЛИЯНИЕ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРАЩЕНИЯ НЕПРОВОДЯЩИХ ТЕЛ В ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИХ СУСПЕНЗИЯХ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

При изучении ротационных эффектов непроводящих осесимметричных тел в электрических полях подавляющее большинство работ, обзор которых приведен в [1], посвящено исследованию их скоростных характеристик. Это объясняется экспериментальными трудностями, связанными с отсутствием вращающего момента у неподвижного ротора в симметричном поле, а также вызванными малой величиной крутящего момента. Немногочисленные исследования, выполненные соответственно в работах [2] и [3], посвящены косвенной оценке вращающего момента:

- по силе, требующейся для останковки ротора, на который насаживался чувствительный элемент в виде тонкой металлической пластинки с тензодатчиками, вращение которой ограничивалось регулируемым стопорами, а сигнал с тензоэлементов, соответствующий моменту полного торможения ротора, записывался на осциллограф;

- по величине добавочного тока проводимости, возникающего от вращения ротора.

Однако подобные методы позволяют лишь косвенно оценить крутящий момент, но совсем не дают возможности исследовать влияние момента сопротивления на скоростные характеристики вращения.

Для достижения этой цели был разработан прямой метод измерения прикладываемого момента сопротивления, вызванного регулируемой силой трения.

На верхнюю часть дизлектрического ротора плотно насаживался тормозной диск, на который передавался регулируемый момент сопротивления через тормозную колодку, закрепленную на конце измерительного воспринимающего элемента в виде граммометра часового типа. Радиусы обоих дисков выбирались из условия, чтобы показания измерительного элемента были выражены сразу в единицах вращающего момента, который оценивался по приложенному максимальному моменту сопротивления. Его значения увеличивались постепенно от нуля ступенями по $2,5 \cdot 10^{-4}$ Н·м, причем для каждого значения момента сопротивления измерялись скорость установившегося вращения ротора и ток проводимости.

Методика проведения опытов позволяла оценивать как сам вращающий момент ротора реоэлектрического двигателя, так и влияние дополнительно прикладываемого момента сопротивления на скорость его вращения.

Проведенные исследования показали, что зависимость $M(E)$ для разных электрофизических свойств среды и конструктивных параметров цилиндрических непроводящих тел близка к линейной для всех варьируемых параметров (рис. 1).

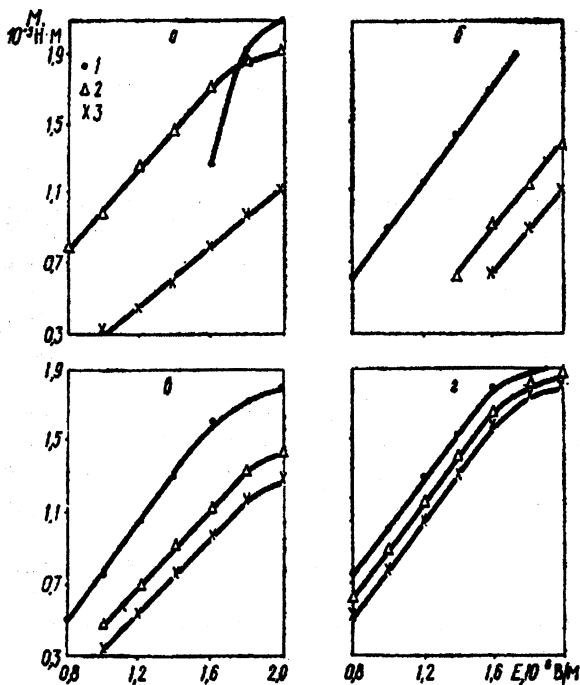


Рис. 1. Зависимость крутящего момента диэлектрического ротора от напряженности E в суспензиях диатомита в трансформаторном масле: а – для ротора из эбонита при влажности диатомита $\varphi=6,5\%$ (1 – $C=5\%$; 2 – $2,5\%$; 3 – $C=1\%$); б – при $C=5\%$ и разном содержании диатомита (1 – $\varphi=8,7\%$; 2 – $3,4\%$; 3 – $\varphi=2,8\%$); в – при $C=2,5\%$ и $\varphi=6,5\%$ для: 1 – ротора $\varnothing 4$ мм из оргстекла на металлическом основании; 2 и 3 – сплошных роторов из оргстекла $\varnothing 4$ и 3 мм соответственно; г – при $C=2,5\%$ и $\varphi=6,5\%$ для материалов: 1 – эбонит; 2 – винилпласт; 3 – оргстекло.

Повышение содержания дисперсной фазы до $C=2,5\%$ сначала снижает критическую напряженность $E_{кр}$, соответствующую возникновению крутящего момента устойчивого стационарного вращения. С дальнейшим ростом твердой фазы $E_{кр}$ увеличивается. Отметим не только качественное, но и количественное совпадение

этого результата с данными работы [3]: минимальная пороговая напряженность, соответствующая началу вращения ротора, для суспензии диатомита наступает при концентрации 2,5% и составляет $E_{кр} = 0,8 \cdot 10^6$ В/м для различных материалов тела вращения. Этот экспериментальный факт позволяет утверждать, что на величину электрического числа Гартмана (критерий неустойчивости)

$$H_E = \frac{(1 + R)}{\sqrt{1 - R \cdot S}}, \quad (1)$$

соответствующую возникновению устойчивого стационарного вращения (в которой $R = \sigma^b / \sigma^a$ определяет отношение проводимостей ротора b и дисперсионной среды a , $S = \epsilon^a / \epsilon^b$ – отношение диэлектрических проницаемостей дисперсионной среды a и ротора b), определяющим образом влияют электрофизические свойства среды: удельная объемная проводимость σ^a и диэлектрическая проницаемость ϵ^a .

Крутящий момент с ростом концентрации увеличивается до определенного значения (рис. 1, а). Далее темп возрастания M понижается, и кривая сдвигается в область более высоких напряженностей. Начиная с некоторой концентрации, существует такая напряженность поля, выше которой проявляется тенденция к насыщению зависимости $M(E)$. Это хорошо согласуется с данными исследования влияния концентрации твердой фазы на скорость вращения ротора, приведенными в работе [2].

Содержание активатора, не изменяя линейного характера зависимостей $M(E)$, сдвигает их в область меньших напряженностей. Соответствующая началу стационарного вращения критическая величина E снижается (рис. 1, б). Увеличение концентрации активатора диэтиламина в довольно широких пределах почти не сказывается на крутизне рассматриваемых зависимостей. Однако в отличие от активатора воды (рис. 1, а, в, г) на них не обнаруживается тенденции к насыщению при соответствующих концентрациях твердой фазы и напряженностях электрического поля (рис. 1, б). Вероятно, сказывается влияние менее сильного повышения эффективной вязкости для системы с активатором диэтиламином в электрическом поле [1].

Были проведены опыты со сплошными роторами из оргстекла и полыми с металлическим стержнем внутри (эквипотенциальная поверхность). В последнем случае наблюдаются увеличение вращающего момента, крутизны его зависимости от напряженности поля и снижение пороговой величины $E_{кр}$. Это естественно, поскольку эквипотенциальная поверхность увеличивает напряженность электрического поля в суспензии при том же самом напряжении на электродах. Вращающий момент возрастает также с увеличением диаметра ротора (рис. 1, в).

Изменение материала тела вращения не изменяет вида зависимости $M(E)$. Величина вращающего момента при всех прочих равных условиях максимальна для винипласта и эбонита, для остальных материалов она ниже (рис. 1, г). Приведенная в работе [4] таблица электрофизических характеристик использованных в наших опытах материалов свидетельствует о существенном их влиянии на вращаю-

щий момент. С ростом удельного сопротивления и уменьшением диэлектрической проницаемости вращающий момент увеличивается.

Влияние же момента сопротивления на скорость вращения ротора представляет собой падающие кривые с двумя нелинейными участками (начальным и конечным), на которых влияние сопротивления на скорость вращения велико и незначительное увеличение $M_{\text{СОПР}}$ существенно изменяет скорость вращения. За исключением этих двух относительно небольших нелинейных участков скорость вращения в основном уменьшается пропорционально приложенному моменту сопротивления при различных подаваемых электрических напряжениях. Коэффициент пропорциональности уменьшается в области средних подаваемых напряжений.

Результаты исследования могут быть использованы при создании реоэлектрических микродвигателей, а также для разработки надежных и простых генераторов механических незатухающих колебаний для приборостроения и измерительной техники. Их достоинством является с раздельное и независимое регулирование амплитуды и частоты колебаний, что обычно труднодостижимо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульман З.П., Носов В.М. Вращение непроводящих тел в электрореологических суспензиях.—Мн.: Наука и техника, 1985.—112 с. 2. Z.P.Shulman and V.M. Nosov. Rotation of the Axisymmetric Bodies in Electrorheological Suspensions, in Proceedings of the 5TH International Conference Electro-Rheological Fluids, Magneto-Rheological Suspensions and Associated Technology (Sheffield, 1995), pp. 72–84. 3. Z.P.Shulman and V.M.Nosov. Rotation of the Axisymmetric Bodies in Electrorheological Suspensions (ERS), in International Journal of Modern Physics B, Vol. 10, Nos. 23 & 24 (1996) 2903–2915. 4. Электротехнический справочник. Т.1.-М.: Энергия, 1980.—519 с.

УДК 681.3 (082):539.1

О. В. Громыко

КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Первым и наиболее сложным шагом в численном решении уравнений теории оболочек методом конечных разностей при исследовании напряженно-деформированного состояния тонкостенных элементов конструкций [1–3] является процесс дискретизации.