

- ханики: Учеб. пособие. // Под общей редакцией доктора физ.-мат. наук, профессора В.И.Стражева. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 376 с.
4. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: Учеб. пособие для техн. вузов/ [Яблонский А.А., Норейко С.С., Вольфсон С.А. и др.; Под ред. А.А. Яблонского]. – 3-е изд. – М.: Высш. шк., 1978. – 390 с.
5. Носов В.М. Программирование на персональных ЭВМ задач теоретической механики. — Мн.: УП «Технопринт», 1997. — 386 с.
6. Носов В.М. DERIVE. WORD. Практическая работа на ПК (на примерах теоретической механики и математики): Электронный учебник. // Под общей редакцией доктора физ.-мат. наук, профессора В.И.Стражева. – Мн.: Электронное издание: регистрационное свидетельство в Государственном реестре информационных ресурсов РБ № 1180300282, 2004.

ВРАЩЕНИЕ НЕПРОВОДЯЩИХ ТЕЛ В ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИХ СУСПЕНЗИЯХ В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Носов В.М.

Consideration is given to rotation of nonconducting bodies in electrorheological suspensions (ERS). Experimental data are presented describing the effect of an electric field on the rotation speed as well as on rheological and electrophysical properties of ERS. Two examples of engineering applications are presented.

При изучении ротационных эффектов непроводящих осесимметричных тел в электрических полях, на основании которых осуществляется разработка реоэлектрических двигателей подавляющее большинство работ, обзор которых приведен в [1], посвящено исследованию их скоростных характеристик. Однако реологические характеристики рабочих сред для реоэлектрических двигателей оказывают существенное воздействие на скоростные [2, 3] и моментные характеристики вращения. В то же время исследование реологических характеристик рабочих сред и моментных характеристик вращения не носило систематического характера. Постараемся в некоторой степени восполнить этот пробел.

Реологические характеристики рабочих сред измерялись на специальном ротационном реоэлектровязкозиметре РЭВИ-70 (рис.1) в ИТМО им. А.В.Львова АН РБ. Определение вязкости сводится к регистрации угла между вектором приложенного напряжения и ЭДС, индуцируемой обмотке статора синхронного микродвигателя 7. У синхронного двигателя в режиме холостого хода (роторная насадка 3 вязкозиметра вращается в воздухе) векторы индуцированной ЭДС и приложенного напряжения сдвинуты между собой на 180° . В жидкости ротор, не меняя своей скорости, отстает от вращающегося поля статора на угол, пропорциональный моменту гидродинамического сопротивления. На такой же угол, измеряемый фазочувствительным индикатором 10, по отношению к приложенному напряжению отстает и вектор ЭДС, индуцируемый в статоре двигателя. В качестве имитатора ЭДС, которую в замкнутой цепи невозможно отделить от напряжения, применен синхронный микрогенератор 6, ротор которого жестко насажен на вал двигателя.

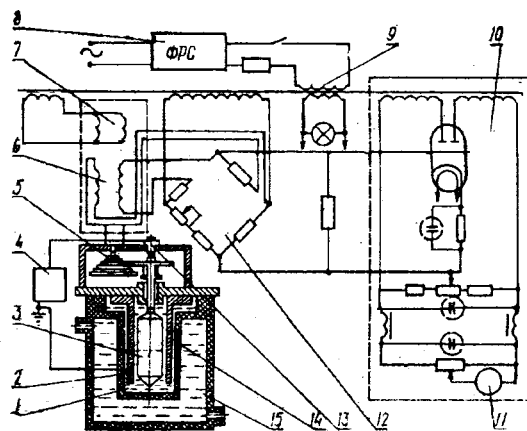


Рис.1. Схема реоэлектровязкозиметра РЭВИ-70

Прибор подключается к сети переменного тока 220В через феррорезонансный стабилизатор 8 и входной трансформатор 9, пять вторичных обмоток которого питают все элементы схемы. Синхронный двигатель 7 с микро-генератором 6, на валу которого крепится набор шестерен 5, вращает роторную насадку 3, помещенную в сменяемый наружный цилиндр 2. Электрореологическая суспензия 1 находится в корпусе 14 из оргстекла. Зазор между роторной насадкой 3 и наружным цилиндром мог изменяться в пределах 0,25—2 мм. Постоянное напряжение подводилось к насадке 3 от источника высокого напряжения 4 через контакт 13. Наружный цилиндр 2 заземлялся. Изотермические условия поддерживались прокачкой через кожух 15 теплоносителя от термостата. Индуцируемое в обмотке синхронного микрогенератора 6 напряжение пропорционально моменту на валу синхронной микромашины 7, соединенной с роторной насадкой 3. Он подается через мостовую схему 12 и фазочувствительный индикатор 10 на стрелочный

измерительный прибор или автопотенциометр ЭПП-09 11.

В комплект установки входили также: источник высоковольтного напряжения типа ВС-23 и УПУ-1М (универсальная пробойная установка), киловольтметр С-96 и миллиамперметр типа М-1109 для измерения тока, протекающего в суспензии между электродами.

Диапазоны измерения и регулирования параметров: вязкости $0,2 \cdot 10^{-2}$ — $1,35 \cdot 10^{-2}$ Н с/м²; средней скорости сдвига 35—2090² с; напряженности электрического поля $3 \cdot 10^6$ В/м.

Началу измерений на реоэлектровизкозиметре РЕВИ-70 предшествовали контрольные опыты по снятию кривых жидкостей с известными реологическими свойствами (масла костровые и индустриальное 50). Измеренные для них динамические вязкости хорошо согласовались с табличными значениями. Измерения на реоэлектровизкозиметре (см, рис.1), После установки выбранной синхронной микромашины 6, 7, роторной насадки 3 и наружного цилиндра 2 исследуемая электрореологическая суспензия 1 заливается в термостатируемый полый корпус 14, который крепится к основанию приборной стойки. Запускается синхронная микромашина, устанавливается сменная шестерня 5 и подается высокое напряжение. После выдерживания под напряжением в течение 30 с снимается показание прибора 11. Одновременно фиксируется и ток при данной напряженности для расчета удельной объемной проводимости суспензий. Выключается напряжение. Заменяется шестерня. Измерение повторяется снова. Кривая течения строится по 12 или 24 точкам (в зависимости от того, используется одна или две микромашины). Опыты повторяются три раза.

Зависимости напряжений сдвига от напряженности электрического поля можно построить, имея набор кривых течения для разных напряженностей электрического поля. Они были получены для различных концентраций твердой фазы, содержания активатора. Для этого при фиксированной скорости сдвига на электроды подавалось все возрастающее электрическое напряжение и измерялись соответствующие крутящие моменты. Кривые строились по семи точкам напряженности электрического поля $E, 10^6$ В/м: 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3. При реологическом исследовании суспензий определялись зависимости $M(\eta)$. Поскольку отношение величины зазора к диаметру ротора достаточно мало (0,024), консистентные величины касательного напряжения сдвига τ и градиента скорости сдвига $\dot{\gamma}$ подсчитывалось с учетом среднего диаметра $D_{cp} = 1/2(D_1 + D_2)$ по формулам:

$$\tau = 2M / (\pi D_{cp}^2 L) \quad (1)$$

$$\dot{\gamma} = \pi n D_{cp} / [30(D_2 - D_1)] \quad (2)$$

Здесь L — высота рабочего зазора электровизкозиметра. Таким образом получались графики

зависимости $\tau = \tau(\dot{\gamma})$. По ним вычислялась эффективная вязкость $\eta_{eff} = \tau/\dot{\gamma}$ и строились кривые течения.

Наиболее сильное влияние на реологические характеристики оказывают напряженность электрического поля, концентрация твердой фазы и содержание активатора в системе, скорость сдвига, температура. Рассмотрим последовательно действие каждого фактора в отдельности.

Механическое поведение текучих систем при сдвиговом течении принято характеризовать зависимостью касательное напряжение — скорость сдвига (поперечный градиент скорости одноосного течения). Графики этих зависимостей получили название реологических диаграмм (реограмм), или кривых течения. Реологические характеристики рабочих сред определяющим образом влияют на скоростные [2, 3] и моментные [4] характеристики вращения реоэлектрических двигателей, поэтому анализ указанных зависимостей необходим для выявления основных закономерностей изучаемого процесса.

Отметим сначала, что кривые течения электро-реологических суспензий в отсутствие поля имеют вид прямых линий, с повышением концентрации отсекающих на оси напряжений небольшой начальной отрезок, равный τ_0 — предельному напряжению сдвига. Следовательно, высококонцентрированные электрореологические суспензии в отсутствие электрического поля могут быть отнесены к вязкопластичным жидкостям типа Шведова—Бингама.

На серии графиков рис. 2, а—в представлены результаты опытов в виде кривых стационарного одноосного течения при различных напряженностях электрического поля для некоторых видов твердой фазы и содержания активатора. С ростом напряженности электрического поля кривые течения смещаются вверх по оси напряжений. Наклон кривой к оси $\dot{\gamma}$ при этом изменяется сравнительно слабо, особенно при небольших содержаниях активатора. Таким образом, наложение поперечного электрического поля

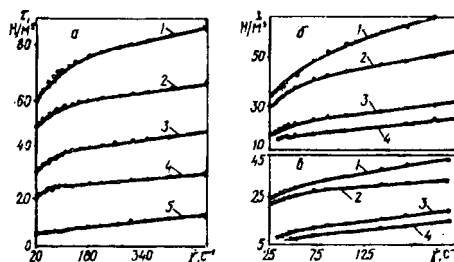


Рис. 2. Кривые течения суспензий диатомита 7,5 мас.% влажностью 6,5% (а) и 5 мас.% (б, в) в трансформаторном масле: а — 1— $E = 2,5 \cdot 10^6$ В/м; 2—2,0; 3—1,5; 4—1,0; 5— $E = 0$; б, в — при напряженности электрического поля $E, 10^6$ В/м, равной 3,0 и 2,0 соответственно (содержание активатора диэтиламина составляет $\phi, \%$ к массе диатомита: 1—6,6; 2—5,0; 3—2,3; 4—1,2)

на сдвиговое течение электрореологических суспензий довольно сильно изменяет пластический,

т.е. структурный фактор, что находит свое отражение в резком увеличении статического предела текучести. Эту закономерность можно представить в виде $\tau_0 = K E^2$, где K — коэффициент пропорциональности предела текучести, зависящий от состава и свойств суспензии. По грубым оценкам для слабоконцентрированных суспензий его величина порядка 10^{10} – 10^{12} Н/В². Крутизна характеристики за пределами нелинейного участка изменяется слабо, т.е. электрическое поле в гораздо меньшей степени влияет на пластическую вязкость. Только для композиций порошка аэросила при росте напряженности электрического поля темп нарастания с увеличением скорости сдвига заметно выше. Кривая течения имеет нелинейный участок в области малых и умеренных скоростей сдвига, крутизна и ширина которого увеличиваются с повышением напряженности электрического поля (рис. 2, а—в). С дальнейшим ростом приложенного касательного напряжения (или скорости сдвига) все кривые течения становятся прямолинейными.

Из изложенного можно сделать вывод, что при воздействии электрического поля на электрореологические суспензии их механическое поведение при сдвиговом течении приобретает нелинейно-вязкопластичный характер.

Все использованные дисперсионные среды без добавок твердой фазы, как показали измерения, индифферентны по отношению к воздействию внешнего электрического поля. С ростом концентрации C появляется и усиливается зависимость реологических характеристик, в частности эффективной вязкости (рис. 3, а), от содержания дисперсной фазы при постоянной напряженности электрического поля. При небольших концентрациях зависимость эффективной вязкости от напряженности E близка к линейной, с ростом C она искривляется и увеличивается.

Относительно высокие значения напряжений сдвига, получаемые для соответствующих концентраций аэросила, дисперсность которого очень высока, потребовали изучения зависимости электрореологического эффекта от размеров частиц. С помощью седиментометрического анализа диатомит был фракционирован по размерам частиц, т.е. по их среднему радиусу. Для суспензий узких фракций диатомита в трансформаторном масле определялась эффективная вязкость. Как оказалось, размер частиц не изменяет характер ее зависимости от напряженности поля и скорости сдвига. Однако уменьшение размера частиц увеличивает эффективную вязкость (рис. 3, б). По-видимому, из более мелких частиц в электрическом поле образуются более однородные и плотные структуры. Возрастание концентрации твердой фазы повышает удельную объемную проводимость суспензии примерно пропорционально увеличению ее эффективной вязкости (рис. 3, б).

При постоянной напряженности поля повышение концентрации C смещает кривые течения вверх

по оси напряжений, малое изменение наклона которых к оси скорости сдвига указывает на сильное изменение структурного фактора (см. рис.3). Исследования под микроскопом таких суспензий обнаружили интенсивные перемещения (осцилляции) частиц от электрода к электроду. При малых концентрациях твердой фазы на электродах появляются отложения в виде зубцов и бугорков. С повышением концентрации они удлиняются и образуют между электродами мостики из частиц дисперсной фазы, непрерывное разрушение и перестройка которых приводит к образованию мощных структур.

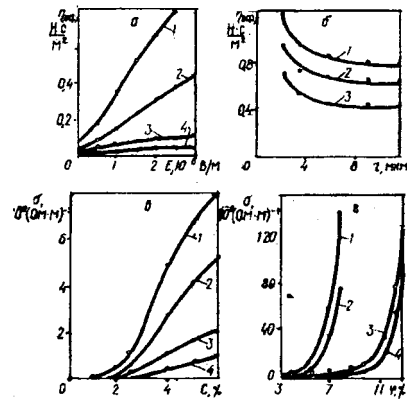


Рис. 3. Зависимость эффективной вязкости суспензии диатомита влажностью 5,5% в трансформаторном масле от напряженности электрического поля E (а) при скорости сдвига $\gamma = 85,9 \text{ с}^{-1}$ ($1-C=10\%$; $2-5,0$; $3-2,5$; $4-C=1\%$) и от дисперсности частиц (б) при $C=5\%$, $E=3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ ($1-\gamma=53,7 \text{ с}^{-1}$; $2-71,6$; $3-g=107,4 \text{ с}^{-1}$); зависимость удельной объемной проводимости суспензий от концентрации C , % (в) ($1-E=3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$; $2-2,0$; $3-1,0$; $4-E=0,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$), а также от влажности частиц ϕ , % (г) ($1,2-C=5\%$; $3,4-2,5\%$; $1,3-E=2,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$; $2,4-1,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$)

Увеличение содержания дисперсной фазы в электрическом поле преобразует кривую течения электрореологических суспензий и делает ее нелинейной. Аналогичное влияние обнаруживают феррокомпозиции в магнитном поле.

Обращает на себя внимание сильная неньютоновость электрореологических суспензий, даже малоконцентрированных ($C=1\%$). С ростом концентрации зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига (псевдопластичность) прогрессивно увеличивается. Следовательно, такие суспензии в электрических полях ведут себя как псевдопластичные текучие системы, эффективная вязкость которых снижается с ростом скорости сдвига.

Одной из важных особенностей электрореологических суспензий является чувствительность их реологических характеристик к содержанию активатора на поверхности частиц. Порошок диатомита, высушенный до постоянной массы или до влажности менее 2%, придает суспензии нечувствительность к воздействию внешнего электрического поля. Дальнейшее повышение содержания актива-

тора очень сильно сказывается на сдвиговом течении электрореологических суспензий. Графики, изображенные на рис. 2, б—в, показывают основные характерные особенности влияния активаторов на характер зависимости $t(\dot{\gamma})$. Различие реологического поведения исследуемых суспензий во внешнем электрическом поле при использовании разных активаторов одинаково и носит в основном количественный характер.

Возрастание содержания активатора на частицах твердой фазы действует сначала столь же сильно, как и повышение концентрации последней и напряженности E . Кривые течения смещаются вверх по оси напряжений с незначительным изменением наклона к оси $\dot{\gamma}$. Увеличение роли структурного фактора здесь можно объяснить интенсификацией межчастичного взаимодействия мостиковых образований. Это подтверждают измерения усилия отрыва двух крупных шариков из силикагеля. Силы их сцепления с ростом содержания активатора заметно увеличивались до некоторого предела. Дальнейший рост содержания активатора снижает темп смещения кривых течения по оси напряжений. Одновременно повышается удельная объемная проводимость. После достижения определенного для каждой концентрации активатора значения это увеличение становится лавинообразным (рис. 3, з). Такое поведение затрудняет изучение электрореологических суспензий в электрическом поле при критических влажностях из-за потери системой диэлектрических свойств и электрического пробоя,

При малых концентрациях дисперсной фазы величина удельной объемной проводимости с ростом содержания активатора повышается не так сильно; напряжения сдвига с дальнейшим нарастанием концентрации активатора сверх указанного предельного значения снижаются.

Кривая течения также нелинейна в области малых и умеренных скоростей сдвига. Кривизна и ширина участка нелинейности увеличивается с повышением содержания активатора.

Весьма сложную и интересную теплофизическую ситуацию создает совместное действие трех полей — электрического, сдвигового и температурного. В простейшем случае гомогенной ньютоновской жидкости нагрев воздействует на вынужденное течение в основном через снижение вязкости и соответственное повышение текучести в тех областях потока, в которых температура выше. Это приводит к определенной перестройке поля скорости и, следовательно, к воздействию на вынужденную конвекцию тепла. Кроме того, возникновение естественной гравитационной тепловой конвекции может также существенно влиять на этот процесс в зависимости от ориентации тепловых потоков обоих видов конвекции. Если они сонаправлены, то неизотермичность будет интенсифицировать течение.

Играет роль и температурная зависимость коэффициента теплопроводности. Существенное значение этот фактор имеет в основном только в самом тонком пристенном слое вблизи обтекаемой поверхности, где процессы теплопроводности преобладают. Для электрореологических жидкостей влияние температурного фактора изучено слабо. По этой причине общепринято оценивать роль и вклад температурного поля в процессах течения исходя из конкретного опыта для выбранной текучей системы.

Рассмотрение кривых течения, изображенных на рис. 4, обнаруживает следующие наиболее важные особенности.

В отсутствие электрического поля кривые течения линейны и с нагревом становятся положе, т. е. напряжение трения при фиксированной скорости сдвига уменьшается.

В электрическом поле нагрев суспензии до некоторого значения увеличивает напряжение сдвига при постоянной скорости деформации. При дальнейшем росте температуры эффективная вязкость системы и соответствующие ей напряжения сдвига начинают уменьшаться, кривые течения становятся значительно положе, т. е. происходит «деградация» реологического фактора. Такой характер зависимости обычно связывается с увеличением поляризации дисперсной фазы, снижением вязкости дисперсионной среды и поведением активатора на поверхности твердой фазы, а также с проявлением первого и второго электровязких эффектов, обычно имеющих место в дисперсионных системах с двойными электрическими слоями.

Ослабляется фактор нелинейности при нагреве суспензии в электрическом поле. Так, уже при 363К кривая течения с самого начала линейна во всем рассмотренном диапазоне скоростей сдвига при разных напряженностях электрического поля. Таким образом, устанавливается еще одна аналогия с родственным магнитореологическим эффектом, в котором нагрев ферросуспензии в магнитном поле также ослабляет нелинейный фактор.

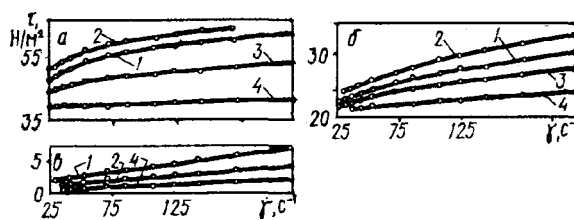


Рис. 4. Кривые течения суспензии диатомита в трансформаторном масле концентрацией 5% и влажностью 6,5%
 $a - E = 2,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$; б-1,5; в- $E=0$; 1- $T=293 \text{ К}$; 2-313;
 3-333; 4- $T=363 \text{ К}$

Для исследования влияния момента сопротивления на скоростные характеристики вращения был разработан прямой метод измерения прикладываемого момента сопротивления, вызванного регулируемой силой трения.

На верхнюю часть диэлектрического 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. 5).

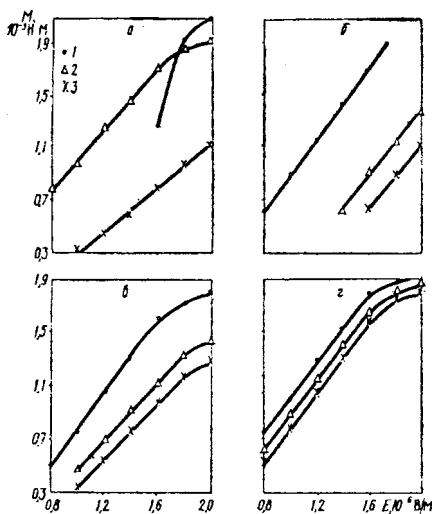


Рис. 5. Зависимость крутящего момента диэлектрического ротора от напряженности E в суспензиях диатомита в трансформаторном масле: а — для ротора из эбонита при влажности диатомита $\varphi=6,5\%$ (1 — $C=5\%$; 2 — 2,5; 3 — $C=1\%$); б — при $C=5\%$ и разном содержании диэтиламина (1 — $C=8,7\%$; 2 — 3,4; 3 — $C=2,8\%$); 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)

$$H_E = \frac{(1 + R)}{\sqrt{1 - R \cdot S}} \quad (3)$$

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. 5, 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. 5 б). Увеличение концентрации активатора диэтиламина в довольно широких пределах почти не сказывается на крутизне рассматриваемых зависимостей. Однако в отличие от активатора воды (рис. 5, а, в, г) на них не обнаруживается тенденции к насыщению при соответствующих концентрациях твердой фазы и напряженностях электрического поля (рис. 5, 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. 5, в).

Изменение материала тела вращения не изменяет вида зависимости $M(E)$. Величина вращающего момента при всех прочих равных условиях максимальна для винниптаста и эбонита, для остальных материалов она ниже (рис. 5, з). Приведенная в работе [4] таблица электрофизических характеристик использованных в наших опытах материалов свидетельствует о существенном их влиянии на вращающий 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 вращения непроводящих тел в электрореологических суспензиях в постоянном электрическом поле могут быть использованы в следующих прикладных направлениях:

- определение влажности диэлектрических материалов и суспензий;
- определение концентрации твердой фазы в диэлектрической суспензии и степени очистки жидких диэлектриков;
- в системах автоматического регулирования химико-технологических процессов (при регулировании состава смеси двух продуктов, в электрогазоочистке);

- при разработке надежных и простых генераторов механических незагужающих колебаний для приборостроения и измерительной техники. Их достоинством является с раздельное и независимое регулирование амплитуды и частоты колебаний, что обычно является труднодостижимым;

- при создании ротационных электрических вискозиметров (электрореометров) для определения реологических характеристик маловязких жидкостей;

- при разработке реоэлектрических микродвигателей и создании рабочих сред для них.

На различные вещества, устройства, способы и их применение по этим прикладным направлениям получено 30 авторских свидетельств и 2 патента РФ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. З.П.Шульман, В.М.Носов. 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.—М.: Энергия, 1980, т.1. — 519с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИХ АНАЛОГОВ ДЛЯ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Носов В.М.

Velocity and acceleration analogue applications in theoretical mechanics are discussed.

В разделе «Кинематика» курса теоретической механики все кинематические характеристики (линейные и угловые скорости и ускорения) представляются обычно функциями от времени t .

Это является естественным, так как вытекает непосредственно из их определений как первой или второй производной от радиуса-вектора \vec{r}_m или угла поворота φ_k по времени t :