

зерна бункера 8 через перфорированные трубы 22, предварительно подогретого в теплообменнике 31 второй частью теплоты дымовых газов теплообменника

Теплый воздух, проходя через массив зерна, предварительно нагревает зерно перед подачей его в шахтную сушилку 7. Затем при непрерывной работе вентиляторов 5 и 41, теплогенератора 1 и теплообменника 31 подают зерно из бункера 8 в шахтную сушилку 7 и вводят в работу вентилятор 6.

Падая по шахте сверху вниз, зерно проходит через сушильные секции 9, 10, где нагревается дополнительно теплым воздухом, подаваемым вентилятором 5 в секции 9, 10.

При нагреве зерна влага, содержащаяся в нем, переходит в пар, который вместе с охлажденным теплым воздухом в секциях 9 и 10 выбрасывается в окружающую среду через коллекторы 13 и 14 секций. Зерно, высушенное в секциях 13 и 14, затем поступает в секцию охлаждения 15, где охлаждается холодным воздухом, протягиваемым через секцию вентилятором 6. После секции охлаждения зерно поступает в разгрузочное устройство.

При непрерывной работе теплообменника 31, в котором осуществляется процесс нагрева холодного воздуха за счет теплоты дымовых газов теплогенератора, температура дымовых газов понижается перед поступлением их в окружающую среду через секцию 3 дымовой трубы.

При движении дымовых газов через теплообменник 31 на внутренних поверхностях теплопередающих труб оседают углерод в виде сажи, пылинки золы, образующиеся при сжигании твердого топлива. Кроме того, при понижении температуры дымовых газов в теплообменнике 31 происходит процесс конденсации водяных паров и паров смолы на внутренней поверхности теплопередающих труб.

Образующийся слой грязи на внутренней поверхности труб, состоящий из сажи, золы и смолы, уменьшает коэффициент теплопередачи теплообменника, а, следовательно, и его тепловую мощность.

Для восстановления тепловой мощности теплообменника 31 необходимо периодически очищать внутренние поверхности теплопередающих труб от слоя грязи, не прерывая работу сушильной установки. Для этого открывают шиберы 27, 28 и 48 и закрывают шиберы 29, 30 и 47.

В этом случае в работу вводится дополнительный теплообменник 32 и прекращает работать теплообменник 31.

Для очистки теплопередающих труб теплообменника 31 от слоя грязи демонтируют коллекторы 34 и 38 и производят очистку труб механическим и химическим способами. Далее процесс работы установки для сушки зерна повторяется.

Зерносушилка имеет повышенную эффективность работы за счет дополнительного использования при помощи дополнительных теплообменников теплоты дымовых газов теплогенератора для предварительного нагрева зерна в бункере перед подачей его в шахтную сушилку, в результате чего уменьшается расход топлива на сушку зерна.

Конструкция зерносушилки защищена патентом ВУ 5451 F 26В/9/06; 17/00 2009

УДК 621.3.013:628.31

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОДНЫЕ ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

Кругов А.В., к.т.н., доцент, Бойко М.А. инженер

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь*

Одним из основных уравнений переменного во времени электромагнитного поля является первое уравнение Максвелла, которое представляет собой дифференциальную форму записи закона полного тока [1]

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \gamma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $\vec{H}$  - вектор напряженности магнитного поля, А/м;

$\vec{E}$  - вектор напряженности электрического поля, В/м;

$\vec{D}$  - вектор электрического смещения, Кл/м<sup>2</sup>;

$\gamma$  - удельная электрическая проводимость, См/м;

Для сред с постоянной диэлектрической проницаемостью

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \gamma \vec{E} + \varepsilon_a \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_a = \varepsilon_r \varepsilon_0 = \text{const}$  - абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;

$\varepsilon_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость,  $\varepsilon_0$  - электрическая постоянная,

$$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м};$$

Для предельных диэлектриков с проводимостью  $\gamma = 0$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \varepsilon_a \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

Магнитное поле в данном случае возбуждается изменяющимся во времени электрическим полем без участия тока проводимости, что характерно для отдельных водных дисперсных систем.

Известно, что электромагнитное поле, как вид материи, характеризуется четырьмя векторными величинами  $\vec{E}, \vec{D}, \vec{B}, \vec{H}$ ,

где  $\vec{B}$  - вектор магнитной индукции, Тл.

Для сред с постоянной диэлектрической и магнитной проницаемостью эти векторы связаны соотношениями [1-2]

$$\vec{D} = \varepsilon_a \vec{E}; \quad \vec{B} = \mu_a \vec{H},$$

где  $\mu_a = \mu_r \mu_0$  - абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м;  $\mu_r$  - относительная магнитная проницаемость,  $\mu_0$  - магнитная постоянная,  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$  Гн/м.

Для любого изотропного вещества переменное электромагнитное поле определяется следующей системой уравнений [3]

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \gamma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho, \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0, \quad (4)$$

$$\vec{D} = \varepsilon_a \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu_a \vec{H}, \quad (5)$$

где  $\rho$  - объемная плотность заряда, Кл/м<sup>3</sup>.

Электрические и магнитные поля связаны непрерывными взаимными превращениями и представляют собой различные проявления единого электромагнитного поля, которое находится в движении и несет с собой запас энергии.

Дисперсные водные системы в дальнейшем исследовании будем рассматривать как неидеальные диэлектрики. В сельскохозяйственном производстве в качестве примера таких дисперсных водных систем являются сточные воды различных технологических процессов, дренажные воды тепличных комбинатов и другие среды. Неидеальный диэлектрик - это среда, в которой преобладает явление поляризации и существуют свободные заряды, способные перемещаться под действием поля. В переменном электромагнитном поле ток смещения больше тока проводимости ( $\frac{\gamma}{\omega \varepsilon_a} < 1$ ). Следовательно, в подобных случаях

необходимо учитывать как диэлектрические свойства среды ( $\varepsilon$ ), так и проводящие ( $\gamma$ ) ее свойства. В гармоническом поле диэлектрическую среду характеризуют комплексной

$$\text{диэлектрической проницаемостью } \underline{\epsilon}_e = \epsilon_a - j \frac{\gamma}{\omega \epsilon_0} \quad (6)$$

Для описания процессов электромагнитной обработки жидких, слабопроводящих сред используем уравнения электрогидродинамики [4]. С учетом отсутствия магнитных полей и слабой проводимости уравнения Максвелла будут

$$\text{rot } \vec{E} = 0, \quad (7)$$

$$\text{div } \vec{E} = -\frac{\rho_e}{\epsilon} \quad (8)$$

Закон сохранения заряда

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} + \text{div } \vec{J} = 0. \quad (9)$$

$$\text{Закон Ома } \vec{J} = \rho_e (\vec{V} + k\vec{E}) - D \text{div } \rho_e, \quad (10)$$

где  $\rho_e$  - объемная плотность заряда ионов, частиц, Кл/м<sup>3</sup>;

$k$  - коэффициент подвижности ионов,  $\frac{\text{м}^2}{\text{Вс}}$ ;

$D$  - коэффициент диффузии,  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ .

Уравнения гидродинамики:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + [\vec{V} \nabla] \vec{V} = \frac{1}{\rho_{oc}} \vec{F}_0 - \frac{1}{\rho_{oc}} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{V} + \frac{\rho_e}{\rho_{oc}} \vec{E} + \frac{\epsilon - \epsilon_0}{2\rho_{oc}} \nabla E^2; \quad (11)$$

$$\text{div } \vec{V} = 0, \quad (12)$$

где  $\vec{V}$  - вектор скорости течения жидкой среды,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

$\rho_{oc}$  - плотность движущейся жидкой среды,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\nabla$  - оператор Гамильтона;

$\nu$  - кинематический коэффициент вязкости,  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ ;

$p$  - нормальное давление в жидкости, Па ( $1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ );

$\vec{F}_0$  - объемная сила неэлектромагнитного происхождения,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  ( $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ ).

Уравнения (7) - (12) составляют систему уравнений электрогидродинамики. Пондеромоторные силы (силы электромагнитного происхождения) в уравнении (11)

представлены электрической составляющей  $\vec{F}_e = \rho_e \vec{E} + \frac{\epsilon - \epsilon_0}{2} \nabla E^2$ .

Граничные условия на поверхности раздела двух неидеальных диэлектриков:

$$D_{1норм} = D_{2норм}; \quad (13)$$

$$D_{1т} - D_{2т} = \sigma \text{ или } \epsilon_{a1} E_{1н} - \epsilon_{a2} E_{2н} = \sigma; \quad (14)$$

$$E_{1т} = E_{2т}. \quad (15)$$

То есть, нормальные составляющие вектора полного электрического смещения непрерывны (13), нормальные составляющие вектора электрического смещения претерпевают скачок (14), а тангенциальные составляющие вектора напряженности электрического поля, как и у неидеального проводника, непрерывны (15).

Граничные условия на поверхности раздела неидеального проводника и неидеального диэлектрика:

$$(\gamma_1 + \varepsilon_{a1} \frac{\partial}{\partial t}) E_{1n} = (\gamma_2 + \varepsilon_{a2} \frac{\partial}{\partial t}) E_{2n}. \quad (16)$$

Выводы

1. Конвективный перенос зарядов и диффузия, несущественные в магнитной гидродинамике, в электрогидродинамических задачах играют определяющую роль и пренебрегать ими нельзя.

2. Если в непроводящую жидкость поместить диэлектрик с отличными от жидкости диэлектрической  $\varepsilon$  и магнитной  $\mu$  проницаемостью, то при воздействии на дисперсную среду электрического поля на тела в жидкости будут действовать пондеромоторные силы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Л. А. Бессонов. – Москва : Гардарики, 2003. – 320 с.

2 Теоретические основы электротехники : в 3 т. / К. С. Демирчян [и др.]. – Спб. : Питер, 2003. Т.3. – 377 с. – Содерж. : Теория электромагнитного поля.

3 Татур, Т.А. Основы теории электромагнитного поля: Справочное пособие. – М.: Высш. шк., 1989. – 271 с.

4 Повх, И.Л. Техническая гидромеханика. 2-е изд., доп. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1976. – 504 с.

### ЛИНЕЙНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ПРИВОД НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ В АПК

Малайчук Л.М., канд. техн. наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный аграрный университет*

*Санкт-Петербург, РФ*

Повышение продовольственной безопасности России возможно при эффективной работе агропромышленного комплекса (АПК), например, тепличных хозяйств, животноводческих и молочных комплексов. В связи с этим к технологическим процессам (ТП) в АПК, их машинам и механизмам повышаются требования: по энергетическим показателям, по управлению технологическими процессами; по безопасности; по удобству обслуживания; по повышению производительности труда.

В сфере животноводства и тепличного хозяйства используют много машин и механизмов с поступательным или возвратно-поступательным движением рабочего органа, поэтому возможно рассмотреть применение линейных асинхронных двигателей для этих агрегатов.

Линейные электродвигатели позволяют непосредственно осуществить поступательное движение без механического контакта между первичной (обычно статором) и вторичной (ротором) структурами, следовательно, исключить передаточный механизм. При этом значительно упрощается кинематическая схема, повышается надежность, точность управления, а сами линейные электродвигатели хорошо приспособляются к исполнительному механизму, обладают технологичностью в производстве и меньшим расходом стали благодаря малоотходному раскрою [1].

На практике применяются линейные двигатели постоянного тока (в основном — шаговые), асинхронные (ЛАД), синхронные (ЛСД) и электромагнитные (ЛЭМД). Наибольшее распространение получили линейные асинхронные двигатели в силу их конструктивной простоты, дешевизны, технологичности изготовления, надежности, разнообразия конструктивных решений.

Известно о широком и успешном использовании ЛАД в приводах конвейеров, робототехнических комплексов, задвижек для трубопроводов, плунжерных насосов, ткацких станков, в рудничном транспорте, металлургии и многом другом.

В агропромышленном комплексе используются линейные электроприводы