

В работе проведено моделирование системы автоматического регулирования скорости АД в программы MATLAB Simulink. Исследования базировались на теории дифференциальных уравнений, на компьютерных методах моделирования. Созданная модель содержит в своем составе готовый блок электропривода с источником питания, частотным преобразователем и асинхронным двигателем и технологическую часть – модель насосного агрегата и модель водовода. Исследования проводились на насосных станциях с приводом мощностью 11,5 кВт и 22,5 кВт. Для регулирования частоты вращения электропривода насосных установок в зависимости от давления воды в разборном трубопроводе применяли преобразователь частоты типа ПЧРТ-03-22. Исследование проводилось на реальной установке на базе водоподъема «Карловка» Полтавской области. Частотный способ к тому же отличается и еще одним достаточно важным свойством: при регулировании скорости АД не происходит увеличение его скольжения, как это имеет место, например, при реостатном регулировании. Поэтому при этом способе регулирования потери скольжения, оказываются небольшими, в связи, с чем частотный способ наиболее экономический.

После окончания переходного процесса получаем такие установившиеся значения:  $\omega = 104,7$  рад/с;  $I_1 = 7,266$  А;  $M_b = 0,517$  Н·м. При частоте питающей сети  $f = 37,5$  Гц и линейном напряжении  $U_n = 329$  В получаем следующие графики переходных процессов  $\omega = f(t)$  (рад/с) и  $M_b = f(t)$  (Н·м). После окончания переходного процесса получаем такие установившиеся значения:  $\omega = 78,53$  рад/с;  $I_1 = 7,608$  А;  $M_b = 0,3883$  Н·м. При частоте питающей сети  $f = 25$  Гц и линейном напряжении  $U_n = 269$  В получаем следующие графики переходных процессов  $\omega = f(t)$  (рад/с) и  $M_b = f(t)$  (Н·м). После окончания переходного процесса получаем такие установившиеся значения:  $\omega = 52,36$  рад/с;  $I_1 = 10,29$  А;  $M_b = 0,036$  Н·м. При частоте питающей сети  $f = 50$  Гц и линейном напряжении  $U_n = 380$  В смоделируем переход системы из одного установившегося состояния ( $M_b = M_n = 73$  Н·м,  $\omega = \omega_n = 101,7$  рад/с,  $I_1 = I_{1n} = 15,65$  А) в другое после наброса нагрузки на вал двигателя ( $M_{с.доп.} = 0,3M_n = 22$  Н·м).

Регулирование в этой системе, может осуществляться плавно, в широком диапазоне, в обе стороны от природной характеристики, то есть АД, может иметь скорость как больше, так и меньше номинальной. При этом регулировочные характеристики имеют высокую жесткость, а АД сохраняет большую перегрузочную способность.

Исследование свидетельствует о том, что регулировании скорости асинхронного двигателя, с использованием частотного преобразователя, позволяет не только отредактировать технологический процесс, но и уменьшить потери и сэкономить электроэнергию от 20 % до 40 %, а также плавно регулировать скорость вращения электродвигателя от нуля к номинальному значению при сохранении максимального момента на валу, что дало возможность увеличить срок службы и повысить надежность электроприводов и оборудования и повысить качество предоставления услуг в водоснабжении за счет стабильного давления в сети.

По результатам исследования следует отметить, что целесообразно использовать преобразователей частоты не в качестве элементов системы управления конкретного агрегата, а как комплекс системных решений с подключением широкого набора средств автоматизации технологического процесса. Созданная компьютерная модель позволяет моделировать работу системы управления электропривода насосной станции системы водоснабжения. Плавное регулирование скорости в широких пределах с хранением достаточной жесткости характеристик возможно только при частотном управлении, которое дало существенные снижения аварийности сети и насосной установки.

## СПОСОБ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

**С.В. Демидков, к.т.н., В.А. Занкевич, к.ф.-м. н., В.А. Коротинский, к.т.н.**  
*Белорусский государственный аграрный технический университет (г. Минск)*

С целью увеличения сроков хранения молока, а также его очистки от болезнетворных микроорганизмов используются традиционные методы обработки: пастеризация и стерилизация молока. Однако данные методы обладают отрицательным побочным эффектом: разрушают белки, ферменты и витамины, содержащиеся в молоке. Существует ряд дополнительных методов обработки молока:

1. Механический способ обработки. Выполняется с помощью центрифуг и позволяет производить очистку молока от механических включений. При этом молоко очищается от микроорганизмов (удаляется ~98 % бактерий).

2. Воздействие током низкой частоты. При этом воздействие аналогично традиционному методу обработки, но расходы электроэнергии являются повышенными.

3. СВЧ-нагрев молока. Недостатком является высокая себестоимость оборудования.

4. ИК-обработка молока, реализующий его нагрев электромагнитными волнами миллиметрового диапазона. К его недостаткам следует отнести разрушение витаминов, содержащихся в молоке.

Особый интерес представляет собой технология обработки продуктов питания с помощью воздействия квазистационарным электромагнитным полем с целью уничтожения микроорганизмов, содержащихся в пищевых продуктах, и таким образом и увеличения сроков хранения продуктов. Спецификой данного метода является обработка производится практически при температуре окружающей среды, что позволяет избежать негативное влияние термического фактора на продукт. Работа устройства производится следующим образом. С помощью источника питания производится зарядка конденсатора. С помощью разрядника производится разряд конденсатора на расположенный в камере обработки продукт. В объеме продукта генерируется электромагнитное поле, которое, как показывает эксперимент, приводит к уничтожению микроорганизмов в продукте.

В настоящее время отсутствует теоретическая модель, позволяющая адекватное качественное и количественное описание эксперимента. Однако существует физическая рабочая гипотеза, в соответствии с которой к уничтожению микроорганизмов при воздействии на продукт осуществляет электрическая составляющая электромагнитного поля. В результате чего происходит электрический пробой мембраны микроорганизма, которой приводит к его гибели. Как показывает эксперимент, указанный эффект наблюдается в переменных электромагнитных полях с частотами колебаний порядка 1000 Гц, электрическая составляющая которых имеет амплитуду 10–100 кВ/см.

Как известно, в неоднородной среде, помещенной в во внешнее электрическое поле, на границах неоднородностей электрическое поле меняется скачкообразно, что приводит к возникновению механических напряжений в объеме среды. С целью уничтожения микроорганизмов путем их механического разрушения предлагается воздействовать на молоко постоянным электрическим полем. С целью определения усилий, действующих на микроорганизм со стороны электрического поля, воспользуемся уравнением равновесия элемента среды в электрическом поле:

$$\frac{\partial y_{ij}}{\partial x_j} + e e_0 \left( E \cdot \nabla E - \frac{1}{2} E^2 \right) = 0 \quad (1)$$

где  $y_{ij}$  — тензор механических напряжений внутри «молока»,  $e$  — диэлектрическая проницаемость вещества,  $e_0$  — диэлектрическая постоянная,  $E$  — напряженность электрического поля.

Применяя теорему Остроградского–Гаусса к обеим частям уравнения (1), получаем выражение напряжения в объеме микроорганизма:

$$y_{ij} = e e_0 \left( E_i \cdot E_j - \frac{1}{2} E^2 \cdot \delta_{ij} \right) \quad (2)$$

На границе молоко–бактерия выполняется условие равенства полных нормальных напряжений на границе с внутренней поверхности (обозначаются индексом (i)) и со стороны внешней поверхности (обозначаются индексом (e)):

$$y_{ij}^{(e)} + e^{(e)} e_0 \left( E_{nj}^{(e)} \cdot E_j^{(e)} - \frac{1}{2} E^{(e)2} \cdot \mathbf{n} \right) = y_{ij}^{(i)} + e^{(i)} e_0 \left( E_{nj}^{(i)} \cdot E_j^{(i)} - \frac{1}{2} E^{(i)2} \cdot \mathbf{n} \right) \quad (3)$$

где  $\mathbf{n}$  — направление положительной (внешней) нормали к поверхности мембраны микроорганизма,  $y_{ij}^{(e)}$  — проекция компонент тензора  $\sigma_{ij}^{(e)}$  на нормаль к поверхности мембраны,  $\sigma_{ij}^{(i)}$  — проекция компонент тензора  $y_{ij}^{(i)}$  на нормаль к поверхности мембраны,  $e^{(i)}$  — диэлектрическая проницаемость вещества микроорганизма,  $e^{(e)}$  — диэлектрическая проницаемость вещества, окружающего микроорганизм (молока),  $E_j^{(i)}$  — напряженность электриче-

ского поля внутри микроорганизма,  $E_j^{(e)}$  — напряженность электрического поля вне мембраны микроорганизма.

Считая, что  $y_{nj}^{(e)} = 0$  (механические напряжения внутри молока отсутствуют и таким образом силовое воздействие на микроорганизм со стороны электрического поля максимально) из (3) получим выражение для определения механических напряжений внутри микроорганизма:

$$y_{nj}^{(i)} = e^{(e)} e_0 \left( E_{nj}^{(e)} \cdot E_j^{(e)} - \frac{1}{2} E^{(e)2} \cdot \mathbf{n} \right) - e^{(i)} e_0 \left( E_{nj}^{(i)} \cdot E_j^{(i)} - \frac{1}{2} E^{(i)2} \cdot \mathbf{n} \right) \quad (4)$$

Записывая (4) для выбранной схемы распределения электрического поля, получаем:

$$y_{nj}^{(i)} = e^{(e)} e_0 \left( E^{(e)2} \cdot \mathbf{n} - \frac{1}{2} E^{(e)2} \cdot \mathbf{n} \right) - e^{(i)} e_0 \left( E^{(i)2} \cdot \mathbf{n} - \frac{1}{2} E^{(i)2} \cdot \mathbf{n} \right) \quad (5)$$

Из (5) следует:

$$y_{xx}^{(i)} = \frac{e^{(i)} e_0}{2} E_x^{(i)2} - \frac{e^{(e)} e_0}{2} E_x^{(e)2} \quad (6)$$

Проанализируем возможные напряженные состояния микроорганизма, помещенного в электрическое поле.

1. Если  $E_x^{(i)2} < E_x^{(e)2}$  (т.е.  $e^{(i)} > e^{(e)}$ ), то  $y_{xx}^{(i)} < 0$ . В этом случае на микроорганизм действуют растягивающие напряжения со стороны источника электрического поля. В частности, если  $E_x^{(i)} = 0$  (вещество микроорганизма имеет высокую проводимость ( $e^{(i)} = \infty$ ), напряжения

растяжения максимально:  $\|y_{xx}^{(i)}\| = \frac{e^{(e)} e_0}{2} E_x^{(e)2}$ .

2. Если  $E_x^{(i)2} > E_x^{(e)2}$  (т.е.  $e^{(i)} < e^{(e)}$ ), то  $y_{xx}^{(i)} > 0$ . В этом случае на микроорганизм действуют сжимающие напряжения.

Т.е. в любом случае электрическое поле внешнего источника приводит к механической деформации микроорганизма и при определенной амплитуде к его разрушению и гибели.

Считаем, что  $e^{(i)} = 1$ , либо  $e^{(i)} = \infty$ . Тогда  $y_{xx}^{(i)} = \frac{e_0}{2} (e^{(e)} - 1) E_x^{(e)2}$ . Поскольку  $e^{(e)} = 3$ , а требуемое для разрыва микроорганизма  $1-10$  кВ/мм, то  $y_{xx}^{(i)} \in [10, 10^3]$  н/м<sup>2</sup>.

Одна из возможных конструкций электростатического фильтра для пастеризации молока представляет собой набор спеченных металлических шариков, подключенных к одному из электродов источника постоянного напряжения. Внешняя поверхность шариков покрыта оксидной пленкой, обеспечивающую электрическую изоляцию шариков и молока. Молоко пропускают через заданный объем фильтра. При этом сама молочная среда соединена электрически с другим электродом источника напряжения. Вследствие наличия проводимости у молока и изолированности его от металлических шариков электрический потенциал в любой точке объема молока одинаков. Следовательно, прохождение молока через фильтр будет осуществляться в условиях воздействия на него статического электрического поля  $E^{(e)} \sim U/\Delta$ , где  $U$  — напряжение источника, а  $\Delta$  — толщина оксидной пленки. Следовательно на частицы молока, находящиеся вблизи поверхности шариков будет действовать механическое напряжение, определяемое соотношением (2), в результате чего будет осуществляться очистка молока от микроорганизмов.

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.В. Ефременко, к.э.н., доцент, Е.Ю. Быкова

Белорусский государственный аграрный технический университет (г. Минск)

Производство продукции птицеводства в Беларуси находится на уровне развитых стран. В стране производится 340 шт. яиц на одного человека в год (самый высокий данный показатель в Китае — 340-350 шт.). Каждый житель Республики Беларусь потребляет 267