

Где в Европе и на Алтае можно использовать технологию Strip-Till и с какой интенсивностью обработки почвы, позволит установить совместная программа научных исследований, в т.ч. международный немецко-российский проект «Кулунда», реализуемый в Алтайском крае.

**Библиографический список**

1. Schilling Dr.- Ing. E.E. Landmaschinen, 2. Band, Maschinen und Geräte für die Bodenbearbeitung, 2. Auflage, Kцln, 1962.

2. Tiessen R. U. An Investigation into the Interactive Effect between a Simple Tillage Tool and the Soil, M. Phil. Thesis, University of Newcastle, 1992.

3. Wessels M. Werkzeugkonzepte für die streifenweise Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft, Diplomarbeit, Universität Bremen, 2011.



УДК 631.171:621.78

**А.А. Багаев,  
Ц.И. Калинин,  
В.Г. Горшенин**

**ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ**

*Ключевые слова:* электродный нагреватель воды, передаточная функция.

**Введение**

В сельском хозяйстве горячую воду широко используют в системах отопления, процессах кормоприготовления, мастерских, для удовлетворения санитарно-гигиенических нужд, для мытья посуды на животноводческих фермах, сепараторов, пастеризаторов, молокопроводов, автоцистерн, молочных танков и т.д. Перечисленные технологические процессы являются весьма энергоемкими.

Вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности электротермических устройств и других электротехнологических аппаратов в последнее время уделяется значительное внимание [1].

Вместе с тем серьезные недостатки теории электродного нагрева, используемой в настоящее время, не обеспечивают максимальной теплопроизводительности и минимальных затрат электроэнергии в процессе функционирования электродных водонагревателей, т.е. не обеспечивают оптимального протекания электротермического процесса [2-4]. Причиной является то, что известные эмпирические формулы справедливы только для определенных условий проведения электротермического процесса и дают недопустимые погрешности при их изменении. Этому же способствует и целый ряд принимаемых при математическом моделировании упрощающих допущений. В частности, принимаются неизменными во времени на-

грева мощность, напряжение, ток и температура. Указанные условия соблюдены в работе, посвященной экспериментальному получению передаточной функции электродного водонагревателя по его кривой разгона [5]. Вместе с тем признано, что к методам идентификации систем, основанным на «подгонке» передаточной функции под экспериментальные данные, следует относиться с большой осторожностью [6]. Предпочтение целесообразно отдавать методам получения передаточных функций на основе математических моделей, построенных с использованием фундаментальных законов физики. Кроме того, принятые допущения соответствуют установившемуся режиму работы установки [5].

Однако если изменяется хотя бы одна из вышеперечисленных величин, что имеет место в действительности, то процесс следует считать переходным, т.е. динамическим. Вместе с тем в настоящее время отсутствует математический аппарат, позволяющий реализовать непрерывные законы регулирования мощности устройства в функции температуры нагреваемой среды.

Оптимизация режимов работы электродной установки и повышение ее энергоэффективности требуют применения регулирования параметров нагрева на основе анализа динамических характеристик нагревателя, описываемых передаточными функциями.

Классификация способов повышения энергоэффективности электродного нагрева жидких сред представлена на рисунке.

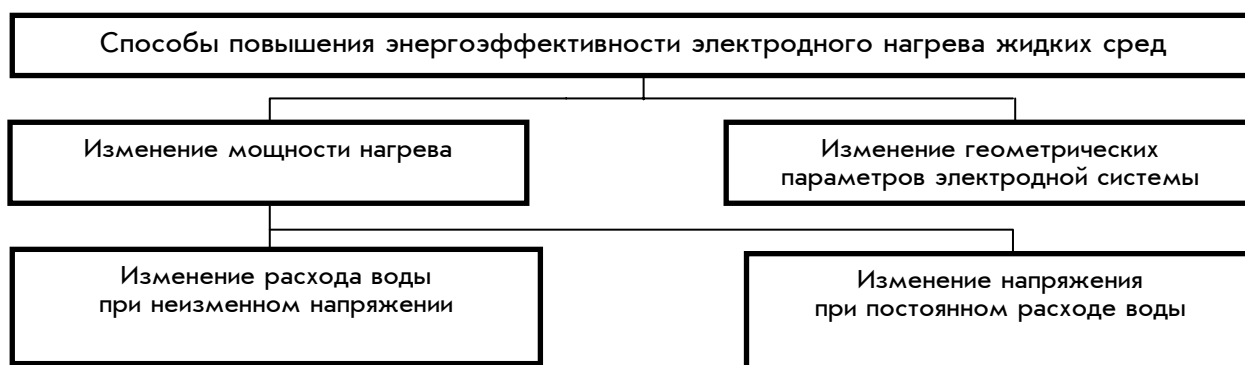


Рис. Классификация способов повышения энергоэффективности электродного нагрева жидких сред

Повышение энергоэффективности путем изменения геометрических параметров электродной системы является сложным и нетехнологичным [7].

Наиболее перспективным способом достижения поставленной цели представляется регулирование посредством изменения мощности электродного устройства. Указанный способ в соответствии с рисунком может быть реализован либо изменением расхода нагреваемой воды при постоянстве напряжения, либо изменением напряжения при неизменном расходе. При этом следует учитывать, что регулирование напряжения и расхода должно осуществляться в функциональной зависимости от температуры нагреваемой воды. Передаточная функция нагревателя по расходу нагреваемой воды получена в работе [8].

**Целью** является получение передаточной функции электродного водонагревателя по мощности.

**Объект и методы исследования**

Объектом исследования является электродный проточный нагреватель жидких сред. Получение передаточной функции нагревателя основано на использовании аналитического метода решения систем линеаризованных дифференциальных уравнений, составленных на основе баланса тепловой энергии.

**Результаты и их обсуждение**

Представим исследуемую электротермическую систему в виде двух физических тел: нагреваемой воды и корпуса нагревателя. В этом случае теплообмен между водой, находящейся в межэлектродном пространстве, и окружающей средой запишется следующей системой уравнений в отклонениях:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= c_g m_g \frac{d\Delta T_g}{dt} + \Delta Q_1 \\ \Delta Q_1 &= c_{oz} m_{oz} \frac{d\Delta T_{oz}}{dt} + \Delta Q_2 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $c_{в}, c_{ог}$  – удельные теплоемкости воды и корпуса нагревателя;

$m_{в}, m_{ог}$  – массы воды в межэлектродном пространстве и корпуса;

$\Delta T_{в}, \Delta T_{ог}$  – отклонения температуры воды и корпуса от расчетных соответственно;

$\Delta P_1, \Delta Q_1, \Delta Q_2$  – отклонения от расчетных значений мощности и тепловых потоков от воды к корпусу и от корпуса наружному воздуху соответственно.

Введем следующие допущения:

нагреватель рассматривается как линейный объект с сосредоточенными параметрами;

жидкость считается однородным изотропным телом, обладающим бесконечной теплопроводностью;

теплоотдача в окружающую среду происходит мгновенно;

парообразование исключено;

тепловой поток в окружающую среду пропорционален разности температур установки и окружающей среды;

теплоемкость воды, теплоотдача от температуры не зависят;

температура окружающей среды в процессе нагрева не изменяется.

Вместо тепловых потоков в уравнения системы (1) подставим их значения, выраженные через удельные теплоемкости воды и корпуса устройства, их массы, отклонения температур, площадь поверхности теплопередачи и коэффициенты теплообмена:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= c_g m_g \frac{d\Delta T_g}{dt} + F_{ог} \alpha_{вн} (\Delta T_g - \Delta T_{ог}) \\ F_{ог} \alpha_{вн} (\Delta T_g - \Delta T_{ог}) &= \\ &= c_{oz} m_{oz} \frac{d\Delta T_{oz}}{dt} + F_{ог} \alpha_{нар} (\Delta T_{ог} - T_{нар}) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $F_{ог}$  – площадь ограждения;

$T_{в}, T_{ог}$  – температура воды и ограждения соответственно;

$\alpha_{вн}, \alpha_{нар}$  – коэффициенты теплообмена на внутренней и внешней поверхностях корпуса;

$T_{нар}$  – температура окружающей среды.

Результатом решения первого уравнения системы (2) относительно  $\Delta T_{ор}$ , подстановки  $\Delta T_{ор}$  во второе выражение указанной системы и последующего разделения переменных является:

$$\frac{C_{о2} m_{о2} C_6 m_6}{F_{о2} \cdot \alpha_{вн}} \frac{d^2 \Delta T_6}{dt^2} + \left( C_{о2} m_{о2} + C_6 m_6 \left( \frac{\alpha_{нар}}{\alpha_{вн}} + 1 \right) \right) \frac{d \Delta T_6}{dt} + F_{о2} \cdot \alpha_{нар} \cdot \Delta T_6 = \frac{C_{о2} m_{о2}}{F_{о2} \cdot \alpha_{вн}} \frac{d \Delta P}{dt} + \left( \frac{\alpha_{нар}}{\alpha_{вн}} + 1 \right) \Delta P + F_{о2} \cdot \alpha_{нар} \cdot T_{нар} \quad (3)$$

или  $(T_1 p^2 + T_2 p + 1) \Delta T_6 = k(T_3 p + 1) \Delta P + C, \quad (4)$

где  $T_1 = \frac{C_{о2} \cdot m_{о2} \cdot C_6 \cdot m_6}{F_{о2}^2 \cdot \alpha_{вн} \cdot \alpha_{нар}};$   
 $T_2 = \left( C_{о2} \cdot m_{о2} + C_6 \cdot m_6 \left( \frac{\alpha_{нар}}{\alpha_{вн}} + 1 \right) \right) \frac{1}{\alpha_{нар} \cdot F_{о2}};$

$$k = \frac{\frac{\alpha_{нар}}{\alpha_{вн}} + 1}{F_{о2} \cdot \alpha_{нар}};$$

$$T_3 = \frac{C_{о2} \cdot m_{о2}}{F_{о2} \cdot \alpha_{вн}} \cdot \frac{1}{\left( \frac{\alpha_{нар}}{\alpha_{вн}} + 1 \right)}; \quad C = T_{нар}.$$

В уравнении (4) выходной регулируемой величиной является изменение температуры воды  $\Delta T_6$ , возмущением – изменение мощности водонагревателя  $\Delta P$ .

Тогда в соответствии с определением передаточная функция проточного электродного водонагревателя имеет следующий вид:

$$W(p) = \frac{\Delta T_6}{\Delta P} = \frac{k(T_3 p + 1)}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}. \quad (5)$$

### Выводы

Анализ полученной передаточной функции (5) показывает, что между температурой нагреваемой среды и мощностью проточного электродного нагревателя существует однозначная связь.

Передаточная функция нагревателя по мощности представляет собой произведение дифференцирующего звена первого порядка и колебательного звена второго порядка, что соответствует их последовательному включению.

Для любой температуры  $T$  при постоянном расходе воды мощность проточного электродного водонагревателя  $W_t$  описывается выражением [4]:

$$P = \frac{3U^2 d(T-253)}{40 \rho_{20} k_{ЭГ}},$$

где  $U$  – фазное напряжение, В;  
 $T$  – температура воды, °С;  
 $d$  – высота электродов, м;  
 $k_{ЭГ}$  – геометрический коэффициент электродной системы;

$\rho_{20}$  – удельное электрическое сопротивление воды при температуре 20°С, Ом м.

При постоянном расходе воды и геометрическом коэффициенте регулирование мощности проточного электродного водонагревателя в функциональной зависимости от температуры воды может быть осуществлено с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) питающего напряжения и канала обратной связи по температуре.

Полученная передаточная функция проточного электродного водонагревателя позволяет получить частотные характеристики объекта и синтезировать широтно-импульсный регулятор напряжения.

### Библиографический список

1. Ракутько С.А. Теоретические основы энергосбережения в оптических электротехнологиях АПК // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 5. – С. 68-70.
2. Каган Н.Б., Кауфман В.Г., Пронько М.Г., Яневский Г.Д. Электротермическое оборудование для сельскохозяйственного производства. – М.: Энергия, 1980. – 192 с.
3. Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнологии. – М.: Колос, 1975. – 384 с.
4. Басов А.М., Быков В.Г., Лаптев А.В., Файн В.Б. Электротехнология. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
5. Багаев А.А., Калинин Ц.И., Горшенев В.Г., Булавцев В.И. Экспериментальное определение передаточной функции электродного водонагревателя по его кривой разгона // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 5. – С. 114-118.
6. Филипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.
7. Шишина Н.Г. Снижение энергозатрат на нагрев воды при дойке коров за счет плавного регулирования мощности электродных водонагревателей объемным экраном: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2012. – 14 с.
8. Багаев А.А., Калинин Ц.И., Горшенев В.Г. Передаточная функция электродного водонагревателя по возмущающему воздействию // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 8 (94). – С. 122-125.