

## Пути повышения эксплуатационных характеристик электродных водонагревателей

Нурсултан Тойшиев, Виктор Барков, Венелин Яков

*Ways to improve the performance of the electrode water heaters:*The article presents results of a survey related to design of the electrode and element water heaters and steam generators. An analysis has been made to type of electrodes and electrode system used in the heaters and generators, their performance has been analyzed as well. The criteria of evaluation of effectiveness of the electrode water heaters and steam generators is given. The new design and layout of multi-electrode scheme is suggested.

**Key words:** electrode water heater, electrical, electrode system, the electrode steam generators, multi-element electrode.

### ВВЕДЕНИЕ

В решении задач по повышению эффективности сельскохозяйственного производства значительная роль играет его развитию энергетической базы, эффективному использованию энергии в автоматизации сельскохозяйственного производства. В технологических процессах сельскохозяйственного производства, особенно животноводства, большая роль отводится тепловой энергии. Производство молока в животноводстве связано со значительным потреблением тепловой энергии на цели горячего водоснабжения технологических процессов. Поэтому, наряду с другими, необходимо решить задачу электротеплоснабжения малых молочных ферм. В новых экономических условиях остро стоит проблема их технического переоснащения, в том числе и электродными водонагревателями (ЭВН) с высокими технико-экономическими показателями, которые в полной мере должны соответствовать технологии молочной фермы и особенностям эксплуатации в условиях сельскохозяйственного производства.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### *Обзор конструкций водонагревателей*

Анализ результатов обзора элементных водонагревателей показывает, что для известных автономных систем электротеплоснабжения в России применяются элементные электроводонагреватели типов ВЭТ, САОС вместимостью 400; 800; 1600 литров, мощностью 10; 16; 31 кВт и УАП вместимостью 400; 800; 1600 литров, мощностью 12; 18; 30 кВт [8].

В Европейских странах серийно выпускаются следующие элементные водонагреватели: в Польше фирма KOSPEL EKCO.R - мощностью 4; 6; 12; 15; 18; 21; 24 кВт, в Италии фирма FERROLI LEB производит водонагреватели мощностью 6; 7,5; 9 кВт и в Германии фирма BOSCH TRONIC-5000H создала типоразмерный ряд – 4; 6; 8; 10; 14; 18; 22; 24; 30; 36; 45; 60 кВт[9,10,11,12].

В Казахстане фирма «Келет» выпускает элементные водонагреватели мощностью от 3 до 96 кВт и завод отопительного оборудования «Алатау» - мощностью от 3 до 27 кВт.

Обзор известных разработок электродных водонагревателей показывает, что в России серийно выпускаются водонагреватели типа ЭПЗ мощностью 3; 6; 25; 100; 250 кВт [2]и типа КЭВ мощностью 40; 63; 100; 160; 250; 400 кВт, которые предназначены специально для сельского хозяйства [3]. *г.н.у* ВИИТиНом разработан водонагреватель ЭВНПЭ-100 с цилиндрическими коаксиальными и гидравлическим способом регулирования мощности [4, 5]. Схема электродного водонагревателя показана на рисунке 1.

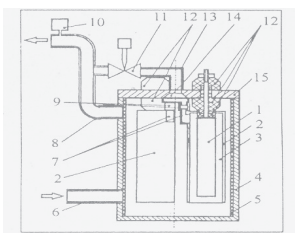


Рисунок 1 – Электродный водонагреватель типа ЭВНПЭ-100:

1 – фазный электрод; 2 – пассивный электрод; 3 – кольцевая камера; 4 – корпус; 5 – изоляционный цилиндр; 6, 8 – подводящий и отводящий патрубки; 7 – патрубок, соединяющий кольцевые камеры; 9 – изолирующая втулка; 10 – компенсационная емкость; 11 – регулирующий клапан; 12 – изоляторы; 13 – трубопровод; 14 – камера; 15 – крышка.

В Казахском научно исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (Казахстан) был разработан типоразмерный ряд водонагревателей типа ЭВН мощностью 4; 9; 16; 25 и 60 кВт. Конструкция водонагревателя ЭВН-25 показана на рисунке 2 [1, 2].

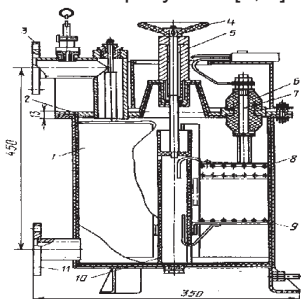


Рисунок 2 – Трехфазный электродный водонагреватель ЭВН-25 с регулированием мощности: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – выходной патрубок; 4 – маховик; 5 – регулятор мощности; 6 – проходной изолятор; 7 – токоввод; 8,9 – электроды; 10 – экран; 11 – входной патрубок.

Рассмотренные электродные и элементные водонагреватели имеют следующие недостатки.

Элементные водонагреватели:

- низкий срок службы – не более 2000 часов, что увеличивает затраты на замену и техническое обслуживание;
- допустимая удельная нагрузка – не более  $10 \text{ Вт/см}^2$ ;
- значительное снижение основных характеристик при образовании слоя накипи на поверхности: к.п.д. снижается с 88 до 82% при работе на мягкой воде и с 88 до 68% - жесткой воде, коэффициент теплоотдачи снижается в течение 5-6 месяцев с 1 до  $0,3 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ ;
- появление опасных потенциалов на корпусе в случае пробоя изоляции;
- неполное соответствие требованиям сельскохозяйственного производства.

Электродные водонагреватели:

- зависимость параметров водонагревателя от удельного сопротивления воды;
- техническая сложность регулирования мощности;

- вынос электрического потенциала на корпус водонагревателя при несимметрии нагрузки по фазам и в аварийных режимах;
- интенсивный коррозионный износ и образование накипи при высокой плотности тока;
- неполное соответствие требованиям сельскохозяйственного производства, сложность конструкции и технического обслуживания, а также высокая стоимость;
- неравномерность распределения плотности тока на электродах;
- неравномерность температурного поля в межэлектродном пространстве;

При поиске оптимальной конструкции электродной системы необходимо разработать систему критериев для оценки технического уровня ЭВН.

Критерии оценки технического уровня ЭВН можно разделить на три группы.

I критерий – обеспечение допустимых значений напряженности электрического поля  $E_{доп}$  и плотности тока  $j_{доп}$ , за счет выбора способа регулирования мощности, схемы установки и компоновки электродной группы и типа электродов.

II критерий – обеспечение эксплуатационной надежности путем ограничения до допустимых пределов скорости коррозии элементов электродной системы, интенсивности накипеобразования и обеспечения работоспособности в диапазоне значений удельного сопротивления воды от 6 до 300 Ом.м и увеличения степени равномерности распределения плотности тока на электродах.

III критерий – обеспечение требований электробезопасности – снижение потенциала на технологическом оборудовании и потенциала на корпусе водонагревателя в аварийных режимах, обеспечение оптимальной величины коэффициента звездности.

*Схема установки и компоновка электродной группы.* В известных ЭВН электроды устанавливаются в корпусе вертикально вдоль потока нагреваемой воды, т.е. в плоскости, параллельной движению воды. Такая параллельная схема установки имеет следующие недостатки: неравномерное распределение по высоте температуры и плотности тока, повышенный коррозионный износ верхних частей электродов.

*Типы электродов.* Стержневые, дугообразные и другие известные электродные системы также характеризуются неравномерным распределением напряженности электрического поля, плотности тока и температуры по высоте межэлектродного пространства [14]. Стержневые, дугообразные и другие известные электродные системы также характеризуются неравномерным распределением напряженности электрического поля, плотности тока и температуры по высоте межэлектродного пространства.

Все рассмотренные типы электродов выполняются в виде сплошной поверхности, загруженной по току с одной стороны, что повышает удельную металлоемкость ЭВН и приводит к интенсивному коррозионному износу, обусловленному различной плотностью тока в верхней и нижней частях, вследствие различной удельной проводимости воды в этих зонах.

*Потенциал на корпусе в аварийных режимах.* Потенциал на корпусе ЭВН при аварийных режимах (обрыв одной или двух фаз) составляет 19 и 21 В, при несимметрии нагрузки фаз потенциал возрастает с 10 до 44 В[6,7].

*Средства решения проблемы*

На основе анализа конструкций ЭВН, их недостатков, а так же с учетом критериев оценки технического уровня ЭВН, для повышения эффективности электродных водонагревателей нами предложена новая конструкция многоэлементных электродов. Принципиальная схема многоэлементных электродов показана на рисунке 3. Из нее видим, что наибольшего эффекта выравнивания плотности тока можно добиться, изменяя следующие параметры: расстояние между

элементами одного электрода ( $l_{11}; l_{12}...l_{1n}$ ); межэлектродное расстояние между элементами ( $l_{31}; l_{13}...l_{3n}$ ) и угол наклона элементов ( $\alpha_1; \alpha_2... \alpha_n$ ).

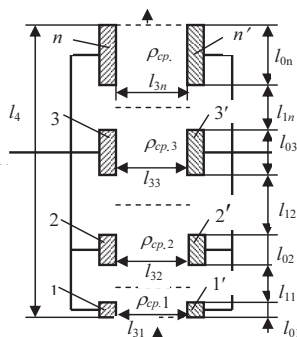


Рисунок 3 – Принципиальная схема многоэлементных электродов

#### Результаты и обсуждение

Из теории подобия можно сделать вывод, что пластинчатые электроды можно заменить многоэлементными при условии, что эти электродные системы подобны, если их линейные размеры  $l_{0n}; l_{1n}; l_{2n}; l_{3n}$  (рисунок 3) пропорциональны удельным сопротивлениям воды  $\rho_{cp1}; \rho_{cp2}... \rho_{cpn}$  в зонах между парами элементов 1-1'; 2-2'; ... n-n', где они установлены, а отношения потенциалов в этих зонах постоянны и равны константе подобия  $K_v$ .

В этом случае для электрических полей, которые находятся в геометрически подобных областях, условие подобия имеет вид:

$$V' = K_j \cdot K_p \cdot K_l \cdot V'' + const,$$

где  $V'; V''$  – потенциалы электрического поля в сходственных точках подподобных областей;

$K_j; K_p; K_l$  – константы подобия плотности тока, удельного сопротивления воды и электрического потенциала.

Для парных элементов многоэлементных электродов работающих при одинаковой плотности тока в воде с одинаковым удельным сопротивлением, т.е. при одинаковых поляризационных характеристиках, условия подобия имеют вид  $\rho' l'_0 = \rho'' l''_0$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор исследований электродных водонагревателей (ЭВН) показывает, что плотность тока является основным критерием оценки условий работы электродов, определяющим эксплуатационную надежность. При проведении анализа существующих конструкций ЭВН выявлено, что все они требуют дополнительных устройств.

Неравномерное распределение плотности тока на электродах ЭВН обуславливает неравномерный износ их поверхности, что сокращает срок службы и снижает эксплуатационную надежность электродной группы.

Предложен метод исследования электродных систем ЭВН методами теории подобия, позволяющий на основе моделирования подобных электрических полей в различных зонах межэлектродного пространства, обосновать способы выравнивания плотности тока на электродах и разработать ряд новых конструкций многоэлементных электродов с переменными геометрическими характеристиками для различных условий работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Баранов Л.А., Барков В.И., Алдибеков И.Г. Совершенствование электродного водонагревателя //Техника в сельском хозяйстве, 1989, № 4, С. 40-41.

[2] Баранов Л.А., Барков В.И., Алдибеков И.Г. Обоснование конструкции водонагревателя сельскохозяйственного назначения мощностью 25 кВт //Вопросы механизации и электрификации с.х. производства. Сб. науч. тр. КазНИИМЭСХ. – Алма-Ата, 1989, С. 100-109.

[3] Блажин А.Г. Применение электроводонагревателей в сельском хозяйстве, Техника в сельском хозяйстве, 1975, № 3, С. 45-50.

[4] Калинин В.Ф., Шувалов А.М., Гудухин В.Ф., Терентьев О.В. Электродный водонагреватель //Техника в сельском хозяйстве, 2002, № 2, С. 43-44.

[5] Калинин В.Ф., Шувалов А.М., Гудухин В.Ф., Терентьев О.В. Электродный саморегулируемый водонагреватель //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2000, № 11, С. 15-16.

[6] Кешуов С.А., Алдибеков И.Т., Барков В.И. Ресурсосберегающие системы и установки электротеплообеспечения в малом молочном животноводстве.- Алматы: ТОО Нур-ДиАс, 2012.-320 с.

[7] Кознев А.А., Прудников Н.И., Липантьева И.Н. Обеспечение электробезопасности электродных котлов //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1986, № 2, С. 54-57.

[8] Расстригин В.Н. Основы электрификации тепловых процессов в сельскохозяйственном производстве. – М.: Агропомиздат, 1988. – 255 с.

[9] [www.kpsk.ru](http://www.kpsk.ru).

[10]<http://www.papmash.ru/index.php/oborudovanie/industrial-boilers-and-steam-generators>.

[11] <http://parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrode-boiler/>.

[12] <http://zeta.se/boilers/en/products/zeta-steam-boilers/>.

#### Для контактов:

Тойшиев Нурсултан Сапарбаевич, магистр, докторант второго курса кафедры “Энергосбережения и автоматика”, КазНАУ, г. Алматы, Казахстан, тел.: +77078114408, 87779641510, e-mail: [toishiyev.nursultan@gmail.com](mailto:toishiyev.nursultan@gmail.com)

Барков Виктор Иванович доктор технических наук, профессор кафедры “Энергосбережения и автоматика”, КазНАУ, г. Алматы, Казахстан, тел.: +7 777 1913247

Яков Венелин Илиев, доцент, д-р, кат. АиМ при РУ „А.Кънчев“, Русе, тел.:0889867401; e-mail: [jacov@uni-ruse.bg](mailto:jacov@uni-ruse.bg).

**Докладът е рецензиран.**