

МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.3:621.3.036.5

РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМ С УГЛООБРАЗНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ И ПЕРЕМЕННЫМ МЕЖЭЛЕКТРОДНЫМ РАССТОЯНИЕМ

CALCULATION OF THREE-PHASE SYSTEMS WITH ANGLED ELECTRODES AND VARIABLE INTERELECTRODE DISTANCE

Алдибеков И.Т., Талдыбаева А.С., Абдиева Ш.А.
I. T. Aldibekov, A. S. Taldybaeva, Sh. A. Abdieva

Казахский национальный аграрный университет

Предложена трехфазная система с углообразными электродами и переменным межэлектродным расстоянием для использования в водонагревателях сельскохозяйственного назначения. Выведена формула для определения оптимального значения угла установки взаимодействующих электродов относительно друг друга, при котором достигается равномерное распределение плотности тока, способствующее повышению надежности работы и срока службы водонагревателя. Разработана методика расчета параметров предложенной электродной системы.

Как известно, в электродных системах с постоянным межэлектродным расстоянием, используемых в проточных водонагревателях, имеет место неравномерное распределение плотности тока по их высоте [1]. Это обуславливает неравномерный износ электродов и появление зон с повышенной электрической напряженностью.

В связи с этим определенный научный и практический интерес представляют предлагаемые нами трехфазные электродные системы с переменным межэлектродным расстоянием.

Предлагаемая трехфазная система состоит из трех углообразных электродов, изогнутых под углом 120° (рисунок 1). Каждый электрод имеет два крыла с общим ребром. Причем, каждое крыло выполнено в форме прямоугольной трапеции с широким b_2 и узким b_1 основаниями. Электроды в корпусе располагаются широкими основаниями вниз, симметрично относительно соответствующих радиальных вертикальных плоскостей, смещенных относительно друг друга на 120° . При этом плоскости взаимодействующих между собой крыла электродов разных фаз располагаются под углом θ .

По мере увеличения межэлектродного расстояния l происходит плавное уменьшение ширины b крыла электрода от b_2 до b_1 .

Закономерность изменения b можно выразить следующим образом:

$$b = b_2 - \left(\frac{l}{2} - \frac{l_2}{2} \right) \operatorname{tg} 30^\circ = b_2 - r_2 \sin \frac{\theta}{2} \operatorname{tg} 30^\circ \quad (1)$$

Поскольку при небольших углах θ $\sin \frac{\theta}{2} \approx \frac{\theta}{2}$, то

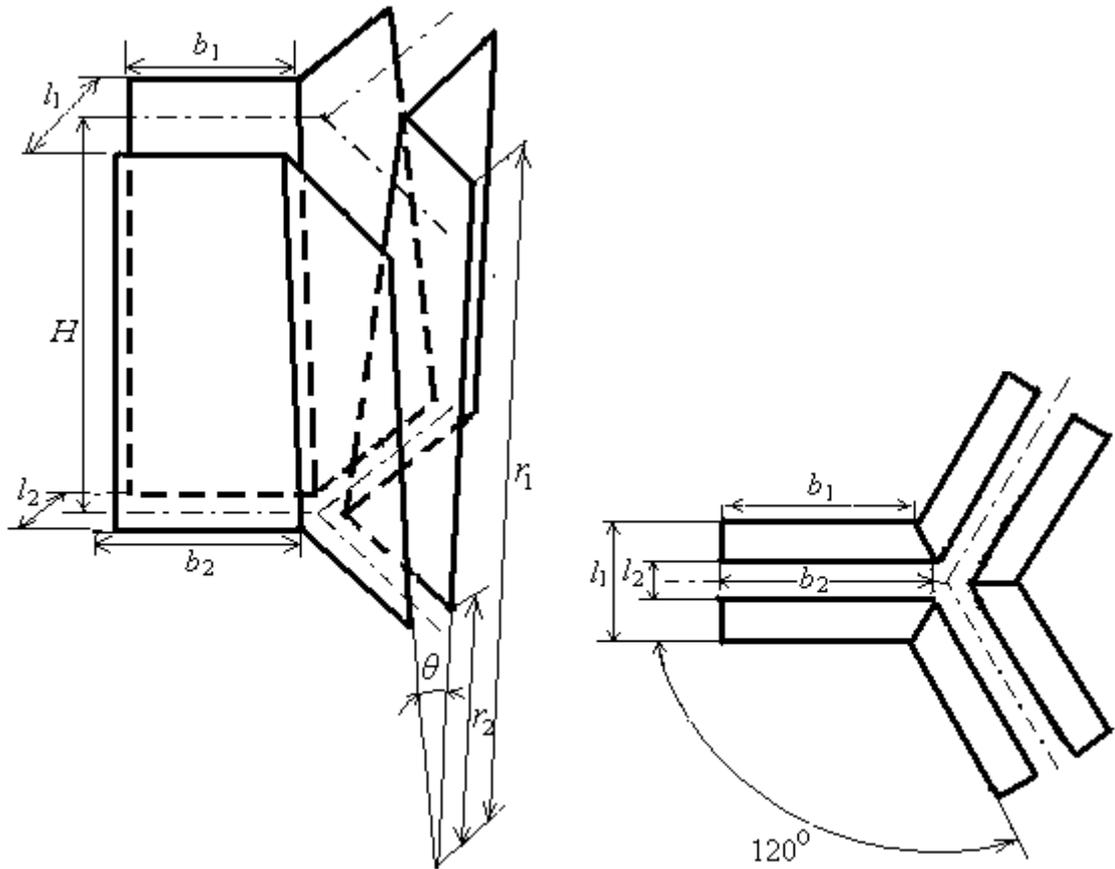


Рисунок 1 – Расчетная схема трехфазной системы с углообразными электродами и переменным межэлектродным расстоянием

$$b = b_2 - \left(-r_2 \right) \sin \frac{\theta}{2} \operatorname{tg} 30^\circ \approx b_2 - \left(-r_2 \right) \frac{\theta}{2} \operatorname{tg} 30^\circ \quad (2)$$

Известно [1], что при трехфазной электродной системе с постоянным межэлектродным расстоянием и тремя углообразными электродами, имеющими крылья с постоянной шириной b , фазная проводимость G_ϕ в межэлектродной зоне с учетом краевого эффекта определяется по формуле:

$$G_\phi = \gamma H \left(\frac{b}{l} + \frac{1}{2 \operatorname{tg} 60} \right) = \gamma H \left(\frac{b}{l} + 0,288 \right) = G_{\text{мэл}} + G_{\text{к.эф}} \quad (3)$$

где H — высота электродной системы, в данном случае она равна длине L электрода, т.е. $H=L$; b - ширина электрода; l – межэлектродное расстояние; $G_{\text{мэл}}$ - фазная проводимость между взаимодействующими электродами без учета краевого эффекта; $G_{\text{к.эф}}$ – дополнительная проводимость, обусловленная краевым эффектом.

В [2] рекомендуется определить G_ϕ по следующей формуле:

$$G_{\phi} = \gamma H \left(\frac{b}{l} + 0,2 \right) = G_{\text{мэл}} + G_{\text{к.эф}} \quad (4)$$

Из сопоставления формул (3) и (4) следует, что значение $G_{\text{к.эф}}$ следует искать в диапазоне $0,2\gamma H \leq G_{\text{к.эф}} \leq 0,288\gamma H$.

Фазная мощность P_{ϕ} определяется как сумма мощностей:

$$P_{\phi} = P_{\text{мэл}} + P_{\text{к.эф}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{мэл}}$ - мощность, обусловленная проводимостью $G_{\text{мэл}}$ и выделяемая непосредственно между электродами; $P_{\text{к.эф}}$ - мощность, обусловленная проводимостью $G_{\text{к.эф}}$ и выделяемая в центральной зоне, ее значение может составить 20...30 % от P_{ϕ} , т.е. $P_{\text{к.эф}} = 0,2 \dots 0,3 P_{\phi}$.

Поскольку в рассматриваемой системе электроды расположены относительно друг друга под углом θ , а их ширина b и межэлектродное расстояние l изменяются по высоте H электродной системы, то элементарную $G_{\text{мэл}}$ определяем по следующему выражению:

$$dG_{\text{мэл}} = \gamma \left[b_2 - \left(r_2 - \frac{\theta}{2} \text{tg} 30^{\circ} \right) \right] \frac{dr}{r\theta} \quad (6)$$

Интегрируя уравнение (6) в пределах изменения переменных, получим:

$$G_{\text{мэл}} = \frac{\gamma}{\theta} \left\{ b_2 \ln \frac{r}{r_2} - \frac{\theta \cdot \text{tg} 30^{\circ}}{2} \left[\left(r_2 - \frac{\theta}{2} \text{tg} 30^{\circ} \right) \ln \frac{r}{r_2} \right] \right\} \quad (7)$$

Закономерность распределения плотности тока при $\gamma = \text{const}$:

$$j = \frac{dI}{ds} = \frac{\gamma U \left[b_2 - \left(r_2 - \frac{\theta}{2} \text{tg} 30^{\circ} \right) \right] \frac{dr}{r\theta}}{\left[b_2 - \left(r_2 - \frac{\theta}{2} \text{tg} 30^{\circ} \right) \right] dr} = \frac{\gamma U}{r\theta} \quad (8)$$

Чтобы обеспечить равномерное распределение j при изменении γ из-за повышения температуры воды при прохождении через межэлектродное пространство, необходимо обеспечить выполнение условия:

$$j = \gamma E = \gamma_n E_n, \quad (9)$$

где γ_n и E_n – начальная удельная проводимость воды и напряженность электрического поля при начальной температуре t_n .

Для этого определяем оптимальную величину угла θ , при которой достигается равномерное распределение j .

Если принять равномерное распределение j , то можно перейти от трапецидальной формы крыла углообразных электродов к условной прямоугольной форме с постоянной шириной b_{ycp} при соблюдении равенства проводимостей (7) и (8):

$$\frac{\gamma}{\theta} \left\{ b_2 \ln \frac{r}{r_2} - \frac{\theta \cdot tg30^0}{2} \left[\left(r - r_2 \right) - r_2 \ln \frac{r}{r_2} \right] \right\} = \frac{\gamma b_{ycp}}{\theta} \ln \frac{r}{r_2} \quad (10)$$

Значение b_{ycp} принимаем по конструктивным соображениям. Тогда решая уравнение (10) относительно b_2 , находим:

$$b_2 = \frac{b_{ycp} \ln \frac{r}{r_2} + \frac{\theta \cdot tg30^0}{2} \left[\left(r - r_2 \right) - r_2 \ln \frac{r}{r_2} \right]}{\ln \frac{r}{r_2}} \quad (11)$$

Поскольку мы перешли к эквивалентной прямоугольной форме крыла электрода, то для определения оптимальной величины угла θ можно воспользоваться формулой, приведенной [3]:

$$\theta_{opt} = \frac{b_{ycp} U^2 \alpha \gamma_{20} \left(t_k - t_n \right)}{P_{мэл}} \quad (12)$$

На основании вышеизложенного предлагается следующая методика определения оптимальных параметров трехфазной системы с углообразными электродами и переменным межэлектродным расстоянием.

а) По заданным значениям удельной проводимости γ_{20} , начальной t_n и конечной t_k температур воды и производительности Π (кг/с) водонагревателя определяем мощности P_ϕ и $P_{мэл}$:

$$P_\phi = \frac{1}{3} c \Pi \left(t_k - t_n \right) \quad (13)$$

$$P_{мэл} = P_\phi - P_{к.эф} = P_\phi - 0,25 P_\phi = 0,75 P_\phi \quad (14)$$

б) Принимаем значение α воды по справочным данным.

в) Выбираем условную среднюю ширину b_{ycp} крыла углообразного электрода по конструктивным соображениям.

г) Определяем величину угла θ_{opt} по формуле (12).

д) Выбираем расстояние l_2 между электродами, исходя из следующих соображений:

$$\left. \begin{aligned} j &= \gamma_n \frac{U}{l_2} = j_{onm} \leq j_{don} \\ E &= \frac{U}{l_2} \leq E_{don} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

е) Определяем радиусы r_2 , r_1 и наибольшее расстояние l_1 :

$$r_2 = \frac{l_2}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad (16)$$

$$r_1 = \frac{P_{мэл} r_2 \theta + b_{ycp} U^2 \gamma_n r_2}{b_{ycp} U^2 \gamma_n} \quad (17)$$

$$l_1 = 2r_1 \sin \frac{\theta}{2} \quad (18)$$

и) Определяем b_2 по формуле (11)

к) Находим b_1 по выражению (2);

л) Определяем высоту электродной системы по формуле:

$$H = \zeta_1 - r_2 \zeta \cos \frac{\theta}{2} \quad (19)$$

м) С целью проверки правильности расчета определяем расчетные мощности по найденным конструктивным параметрам электродной системы:

$$P_{мэл}^p = U_l^2 G_{мэл} = U_l^2 \frac{\gamma_{cp}}{\theta} \left\{ b_2 \ln \frac{r_1}{r_2} - \frac{\theta \cdot \text{tg} 30^\circ}{2} \left[\zeta_1 - r_2 \zeta - r_2 \ln \frac{r_1}{r_2} \right] \right\} \quad (20)$$

$$P_{к.эф}^p = 0,288 \gamma_{cp} H \quad (21)$$

$$P_{\phi}^p = P_{мэл}^p + P_{к.эф}^p \quad (22)$$

При этом отклонение полученного расчетного значения фазной мощности P_{ϕ}^p от заданного значения P_{ϕ} не должно превышать допустимой погрешности.

Выводы

При использовании в проточных водонагревателях трехфазной электродной системы с переменным межэлектродным расстоянием обеспечивается выравнивание распределения плотности тока при определенном значении угла θ установки взаимодействующих углообразных электродов. Предложенная формула для определения оптимального значения угла θ и разработанная методика позволяют рассчитать конструктивные параметры электродной системы, при которых достигается желаемый эффект.

1 Каган Н.Б., Кауфман В.Г., Пронько М.Г., Яневский Г.Д. Электротермическое оборудование для сельскохозяйственного производства. – М.: Энергия, 1980. – 192 с.

2 Гутман М.Г., Мальтер В.Л., Михайлов Л.А. Электрическое сопротивление электродных групп водонагревателей // Труды ВНИИЭТО. – М., 1967. Вып.2. - С.147-161.

3 Кешуов С.А., Алдибеков И.Т., Байсенова Г.С. Электродные системы с переменным межэлектродным расстоянием для водонагревателей // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы, 2009. - №11. - С.68-70.

Мақалада ағынды электродты су жылытқыштардың жұмыс істеу сенімділігін жоғарылатуды қамтамасыз ететін электродаралық қашықтығы өзгермелі үш фазалы электродтық жүйе қарастырылған және оның конструкциялық параметрлерін есептеу әдістемесі келтірілген.

В статье рассматривается трехфазная электродная система с переменным межэлектродным расстоянием, обеспечивающая повышение надежности работы проточных электродных водонагревателей, приведена методика расчета ее конструктивных параметров.

In article the three-phase electrode system with the variable interelectrode distance, providing increase of reliability of work of flowing electrode water heaters is considered, the design procedure of their design data is resulted.

УДК 631.3:621.3.036.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS ELECTRODE SYSTEMS STEAM GENERATOR

**Алдибеков И. Т., Талдыбаева А. С., Сыдыкбаев А. Т.
I. T. Aldibekov, A. S. Taldybaeva, A. T. Sydykbaev**

Казахский национальный аграрный университет

Предлагается трехфазная система с углообразными электродами и переменным межэлектродным расстоянием для использования в электрических парогенераторах. Разработана методика расчета оптимальных параметров предложенной электродной системы, при которых обеспечиваются нормальное функционирование парогенераторов в широком диапазоне изменения солесодержания (удельной проводимости) котловой воды и улучшение их технико-экономических показателей.

В серийно выпускаемых электродных парогенераторах в качестве нагревательных устройств применены электродные системы с постоянным межэлектродным расстоянием, которые нормально функционируют только в узком диапазоне изменения солесодержания (удельной проводимости) котловой воды. Поэтому в этих парогенераторах предусматривают проведение относительно частых солевых продувок, что, в конечном итоге, снижает среднюю паропроизводительность установки и ее к.п.д. [1,2].

На рисунке 1 представлена предложенная нами трехфазная электродная система с переменным межэлектродным расстоянием [2]. Она состоит из трех электродов, изогнутых под углом 120°, и отличается от известных тем, что межэлектродное расстояние плавно увеличивается в направлении нижних торцов электродов (Λ-