

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 (Δ -

В начальный момент времени, когда температура у всех слоев одинакова и соответственно $\gamma_t = \gamma_{t_u} = const$, можно определить элементарную фазную проводимость по следующему выражению [2]:

$$G_{\phi} = G_{мэл} + G_{к.эф} = \gamma \left\{ \frac{b_2}{\theta} \ln \frac{r}{r_2} - \frac{tg 30^0}{2} \left[\left(-r_2 \right)^{-2} - r_2 \ln \frac{r}{r_2} \right] + \frac{1}{2tg 60^0} \left(-r_2 \right)^{-2} \cos \frac{\theta}{2} \right\} \quad (2)$$

Поскольку вода находится в неподвижном состоянии, а межэлектродное расстояние переменное по высоте, то интенсивность нагрева слоев воды по высоте разная, и поэтому они имеют разные температуры, а следовательно, разные удельные проводимости.

Элементарная мощность $dP_{неp}$, расходуемая на нагрев элементарной массы dm воды на участке с радиусом r за время $d\tau$ на температуру dt , равна:

$$dP_{неp} d\tau = cdmdt, \quad (3)$$

$$dP_{неp} = U^2 dG = U^2 \gamma_{20} \left[+ \alpha_n (t - 20) \right] \left\{ \frac{\left[b_2 - \left(-r_2 \right)^{-2} tg 30^0 \right]}{r\theta} + \frac{1}{2tg 60^0} \cos \frac{\theta}{2} \right\} dr \quad (4)$$

$$dm = \sigma_в \left(b_2 r \theta + \frac{r_2^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}}{tg 60^0} \right) dr, \quad (5)$$

где $\sigma_в$ - плотность воды.

После интегрирования выражения (3) получим:

$$\tau = T \ln \frac{1 + \alpha_n (t - 20)}{1 + \alpha_n (t_n - 20)}, \quad (6)$$

где

$$T = \frac{c \sigma_в \left(b_2 r \theta + \frac{r_2^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}}{tg 60^0} \right)}{U^2 \gamma_{20} \left\{ \frac{\left[b_2 - \left(-r_2 \right)^{-2} tg 30^0 \right]}{r\theta} + \frac{1}{2tg 60^0} \cos \frac{\theta}{2} \right\}} \quad (7)$$

Решив (6) относительно t , находим:

$$t = \frac{1}{\alpha_n} \left\{ \left[+\alpha_n \left(r_n - 20 \right) e^{\frac{r_n}{r}} - 1 \right] + 20 \right\} \quad (8)$$

Полученное выражение (8) описывает закономерность изменения температуры слоя воды на участке с радиусом r во времени.

Мощность в переходном режиме определяется по формуле:

$$P_{пер} = \frac{U^2 \gamma_{20} \left[+\alpha_n (t_n - 20) \right]}{\theta} \left\{ \begin{aligned} & \left[\left(b_2 + r_2 \frac{\theta}{2} \operatorname{tg} 30^\circ \right) \left[\ln \frac{r_1}{r} - \frac{U^2 \gamma_{20} \alpha \tau}{2c\sigma\theta^2} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r^2} \right) - \frac{U^2 \gamma_{20} \alpha \tau^2}{8c^2 \sigma^2 \theta^4} \left(\frac{1}{r_1^4} - \frac{1}{r^4} \right) \right] \right. \\ & \left. - \frac{\theta}{2} \operatorname{tg} 30^\circ \left[\left(r_1 - r_2 \right) \frac{U^2 \gamma_{20} \alpha \tau}{c\sigma\theta^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right) - \frac{U^2 \gamma_{20} \alpha \tau^2}{6c^2 \sigma^2 \theta^4} \left(\frac{1}{r^3} - \frac{1}{r_1^3} \right) \right] \right] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Рассмотрим электротепловые процессы, происходящие во второй зоне в начальном этапе парообразования. В этой зоне, находящейся между верхней граничной линией с радиусом r_2 и нижней граничной линией с радиусом $r_{1,2}$, электрическая мощность P_{n2} расходуется на выработку пара в количестве Π кг/с: $P_{n2} = \Pi v$.

Составим уравнения теплового баланса:

$$U^2 \gamma_{нс} \left\{ \frac{b_2}{\theta} \ln \frac{r_{1,2}}{r_2} - \frac{\operatorname{tg} 30^\circ}{2} \left[\left(r_{1,2} - r_2 \right) \frac{r_{1,2}}{r_2} \right] + \frac{1}{2 \operatorname{tg} 60^\circ} \left(r_{1,2} - r_2 \right) \cos \frac{\theta}{2} \right\} = \Pi v \quad (10)$$

Решив (10), находим $r_{1,2}$:

$$r_{1,2} = r_2 e^{\frac{\Pi v}{U^2 \gamma_{нс} \left(\frac{b_2 + r_2 \operatorname{tg} 30^\circ}{\theta} \right)}} = \frac{U \gamma_{нс}}{j_{онм.мин} \theta} e^{\frac{\Pi v}{U^2 \gamma_{нс} \left(\frac{b_2 + \frac{U \gamma_{нс}}{j_{онм.мин}} \operatorname{tg} 30^\circ}{\theta} \right)}} \quad (11)$$

Рассмотрим электротепловые процессы, происходящие в первой зоне в начальном этапе парообразования. В этой зоне, находящейся между верхней граничной линией с радиусом $r_{1,2}$ и нижней граничной линией с радиусом r_1 , электрическая мощность расходуется на нагрев движущейся воды в количестве Π кг/с.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$dP_{н1} = \frac{cdm}{d\tau} = c\Pi dt \quad (12)$$

или

$$U^2 \gamma_{20} \left[+\alpha_n (t - 20) \right] \left\{ \frac{\left[\left(b_2 - \left(r_2 - \frac{\theta}{2} \operatorname{tg} 30^\circ \right) \right) \right]}{r\theta} + \frac{1}{2 \operatorname{tg} 60^\circ} \cos \frac{\theta}{2} \right\} dr = c\Pi dt \quad (13)$$

После разделения переменных в (13) и интегрирования, получим:

$$t = \frac{1}{\alpha_n} \left\{ \left[+ \alpha_n (t_n - 20) \left(\frac{r}{r_{1,2}} \right)^{\frac{U^2 \gamma_{20} \alpha_n}{c\Pi} \left(\frac{b_2 + r_2}{2} \frac{\theta}{\theta} \operatorname{tg} 30^\circ \right)} - 1 \right] + 20 \right\} \quad (14)$$

Если $t = t_\kappa$ принять, то из (14) можно найти r_1 :

$$r_1 = r_{1,2} \left(\frac{1 + \alpha_n (t_\kappa - 20)}{1 + \alpha_n (t_n - 20)} \right)^{\frac{c\Pi}{U^2 \gamma_{20} \alpha_n \left(\frac{b_2 + r_2}{2} \frac{\theta}{\theta} \operatorname{tg} 30^\circ \right)}} \quad (15)$$

Мощность, расходуемая на нагрев воды в первой зоне до температуры t_κ кипения, определяем по выражению:

$$P_{n1} = c\Pi (t_\kappa - t_n) = c\Pi \left(\frac{1}{\alpha_n} \left\{ \left[+ \alpha_n (t_n - 20) \left(\frac{r_1}{r_{1,2}} \right)^{\frac{U^2 \gamma_{20} \alpha_n}{c\Pi} \left(\frac{b_2 + r_2}{2} \frac{\theta}{\theta} \operatorname{tg} 30^\circ \right)} - 1 \right] + 20 - t_n \right\} \right) \quad (16)$$

Стабилизация мощности парогенератора с углообразными электродами при изменении солесодержания котловой воды осуществляется соответствующим понижением уровня нагреваемой среды. При этом границы зон нагрева смещаются в сторону нижних участков с более длинным межэлектродным расстоянием.

Оптимальное значение угла θ , при котором плотность тока находится в пределах оптимального диапазона, определяется по формуле:

$$\theta = \theta_{opt} = \frac{U^2 \left(b_2 + \frac{U \gamma_{не}}{j_{opt.мин}} \frac{\operatorname{tg} 30^\circ}{2} \right) \ln \frac{j_{opt.мин} \gamma'_{не}}{j_{opt.макс} \gamma_{не}}}{\Pi \left[\frac{\nu}{\gamma_{не}} \left(1 - \frac{\gamma_{не}}{\gamma'_{не}} \right) + \frac{c}{\alpha \gamma_{20}} \left(1 - \frac{\gamma_{20}}{\gamma'_{20}} \right) \ln \frac{1 + \alpha_n (t - 20)}{1 + \alpha_n (t_n - 20)} \right]}. \quad (17)$$

На основании результатов проведенных теоретических исследований разработана методика расчета Λ -образной трехфазной электродной системы парогенератора с углообразными электродами.

а) Задаются исходными данными: паропроизводительностью (Π), приходящуюся на одну фазу, фазным напряжением (U), начальной (номинальной) γ_{20} и максимально допустимой γ'_{20} удельными проводимостями котловой воды, начальной температурой (t_n) и температурой (t_κ) кипения котловой воды при заданном давлении, шириной b_2 верхнего торца крыла электрода по конструктивным соображениям, минимальным и максимальным значениями ($j_{opt.мин}$ и $j_{opt.макс}$ соответственно) оптимальной плотности тока. По справочной литературе определяют удельную теплоемкость (c) воды, удельную теплоту парообразования (ν) и температурный коэффициент (α_n) котловой воды при заданном давлении. Вычисляют удельные проводимости ($\gamma_{не}$, $\gamma'_{не}$) пароводяной смеси через γ_{20} и γ'_{20} по следующим формулам:

$$\gamma_{нс} = \frac{\gamma_{20} [1 + a_n (t_k - 20)]}{\xi e^{k j_{опт.мин}}}, \quad (18)$$

$$\gamma'_{нс} = \frac{\gamma'_{20} [1 + a_n (t_k - 20)]}{\xi e^{k j_{опт.макс}}}, \quad (19)$$

где t_k – температура кипения воды при данном давлении; ξ - постоянная, равная для воды 0,925; e - основание натуральных логарифмов; k - коэффициент, зависящий от давления пара в котле; $j_{опт.мин}$, $j_{опт.макс}$ – минимальное и максимальное значения плотности тока на электродах, А/см²;

б) Определяют оптимальное значение ($\theta_{опт}$) угла θ по формуле (17);

в) Находят r_2 по формуле:

$$r_2 = \frac{U \gamma_{нс}}{j_{опт.мин} \theta_{опт}} \quad (20)$$

г) $r_{1,2}$ и r_1 определяем по формулам (11) и (15) соответственно, приняв $\theta = \theta_{опт}$;

д) Вычисляют мощность $P_{пер}$ установки в переходном режиме по формуле (9) и продолжительность τ переходного режима по выражению (6);

е) Определяют мощность $P_{нач.эт}$ установки в начальном этапе парообразования как сумма мощностей P_{n2} и P_{n1} , которых вычисляют по формулам (10) и (16);

ж) Находят значения $r'_2, r'_{1,2}$ по формулам:

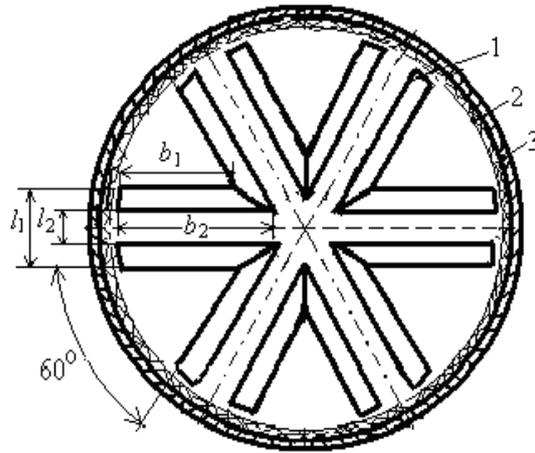
$$r'_{1,2} = \frac{U \gamma_{нс}}{j_{опт.мин} \theta} e^{\frac{\Pi v}{U^2 \gamma_{нс}} \left(\frac{b_2 + \frac{U \gamma_{нс}}{j_{опт.мин} \theta} \operatorname{tg} 30^\circ}{2} \right)} \left[\frac{1 + \alpha_n (t - 20)}{1 + \alpha_n (t_n - 20)} \right]^{\frac{c \Pi}{U^2 \gamma_{20} \alpha_n} \left(\frac{b_2 + \frac{U \gamma_{нс}}{j_{опт.мин} \theta} \operatorname{tg} 30^\circ}{2} \right)} \left(\frac{\gamma'_{20} - \gamma_{20}}{\gamma'_{20}} \right) \quad (21)$$

$$r'_2 = r'_{1,2} \left(\frac{r_2}{r_{1,2}} \right)^{\frac{\gamma_{нс}}{\gamma'_{нс}}} \quad (22)$$

з) Определяют плотность тока j на участке с радиусом r'_2 , которая не должна превышать $j_{опт.макс}$.

Представленная на рисунке 2 электродная система выполнена из шести электродов, изогнутых под углом 60°. Она имеет ряд преимуществ перед электродной системой с тремя электродами, изогнутыми под углом 120°, которые заключаются в следующем:

- она имеет большую рабочую поверхность нагрева;
- возможность ступенчатого регулирования мощности установки;



1 – электрод; 2 – электроизоляционный слой; 3- корпус.

Рисунок 2 – Трехфазная электродная система с шестью углообразными электродами

-возможность работы в широком диапазоне удельной проводимости котловой воды;

- значительное снижение напряженности электрического поля в центральной зоне.

Закономерность изменения b в случае электродов, изогнутых под углом 60° , можно выразить следующим образом:

$$b = b_2 - \left(\frac{l}{2} - \frac{l_2}{2} \right) \operatorname{tg} 60^\circ = b_2 - \left(r_2 \sin \frac{\theta}{2} \right) \operatorname{tg} 60^\circ \quad (23)$$

Поскольку в случае рассматриваемой нами электродной системы b и l величины переменные, зависящие от r и θ , то G_ϕ определяется по формуле:

$$G_\phi = G_{\text{мэл}} + G_{\text{к.эф}} = \gamma \left\{ \frac{b_2}{\theta} \ln \frac{r}{r_2} - \frac{\operatorname{tg} 60^\circ}{2} \left[r_2 \ln \frac{r}{r_2} \right] + \frac{1}{2 \operatorname{tg} 30^\circ} \left(r_2 \cos \frac{\theta}{2} \right) \right\} \quad (24)$$

Следует отметить, что в случае электродной системы с шестью углообразными электродами для определения их конструктивных размеров и мощности можно использовать те же формулы, что и для расчета электродной системы с тремя углообразными электродами, но при этом в этих формулах вместо $\operatorname{tg} 60^\circ$ берется $\operatorname{tg} 30^\circ$, а вместо $\operatorname{tg} 30^\circ$ необходимо записать $\operatorname{tg} 60^\circ$.

Выводы

Для улучшения эффективности работы электрических парогенераторов предложены трехфазные электродные системы с переменным межэлектродным расстоянием в качестве нагревательных устройств. Предложенная методика расчета позволяет определить оптимальные параметры рассмотренных трехфазных электродных систем, обеспечивающие нормальное функционирование парогенераторов в широком диапазоне изменения солесодержания (удельной проводимости) котловой воды.

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

2 Кешуов С.А., Алдибеков И.Т. Электродная система с переменным межэлектродным расстоянием для парогенераторов // Проблемы инновационного и конкурентоспособного развития агроинженерной науки на современном этапе: Международная научно-практическая конференция (Алматы, 17-18 апреля 2008г.). В 2-х книгах. Кн.2. – Алматы, 2008. – С. 202-206.

Мақалада электрлік бу генераторларының жұмыс істеу тиімділігін жоғарылатуды қамтамасыз ететін электродаралық қашықтығы өзгермелі үш фазалы электродтық жүйелер қарастырылған. Ұсынылған электродтық жүйелердің оңтайластырылған конструкциялық параметрлерін есептеу формулалары мен әдістемесі келтірілген.

В статье рассматривается трехфазные электродные системы с переменным межэлектродным расстоянием, предложенные для использования в электрических парогенераторах с целью повышения эффективности их работы. Приведены расчетные формулы и методика определения оптимальных конструктивных параметров предложенных электродных систем.

The article deals with three-phase electrode system with a variable distance between electrodes, proposed for use in electric steam generators in order to improve their performance. The formulas and methods of determining the optimal design parameters of the proposed electrode systems.

УДК 621.852.13

КИНЕМАТИКА ЗУБЧАТОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА С ДВУМЯ ВЫХОДНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ

KINEMATICS OF GEAR DIFFERENTIAL WITH TWO TARGET LINKS

**Жунисбеков П. Ж., Ундирбаев М. С., Сафаргалиев А. Е.
P. Zh. Zhunisbekov, M. S. Undirbaev, A. E. Safargaliev**

Казахский национальный аграрный университет

Аннотация Основным вопросом при анализе любой передачи является оценка ее кинематических и динамических показателей. К кинематическим показателям передач относятся числа оборотов, угловые и окружные скорости отдельных звеньев, передаточные числа передач.

В рассматриваемой передаче вторая степень свободы заключается в возможном независимом вращении эпициклической шестерни. Рассмотрены закономерности взаимодействия угловых скоростей и моментов звеньев дифференциала, приводящие к его силовой адаптации.