

JUSTIFICATION OF THE ORIGINAL TERMS OF GRAIN STORAGE MODES

In this scientific article is considered the methods for prediction of harmful influences of water into the natural water sources.

Key words: harmful substances, purification, storing of waste waters, underground water.

УДК 621.314

Тойшие Н.С., Барков В.И.

Казахский национальный аграрный университет

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОДНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Аннотация

Для обеспечения эксплуатационной надежности электродных водонагревателей необходимо соблюдать требование по обеспечению допустимых значений плотности тока.

Получены выражения для определения плотности тока на электродах водонагревателей и распределения температуры в межэлектродном пространстве. Установлено, что плотность тока достигает максимальных значений в верхней части электродов в зоне наиболее высоких температур.

Ключевые слова: Электродный водонагреватель, плотность тока, температура воды, цилиндрический электрод, теплопроводность воды.

Введение

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 особенностям эксплуатации в условиях сельскохозяйственного производства. Поэтому при работе электродных водонагревателей необходимо обеспечить эксплуатационную надежность и высокий срок службы.

Материалы и методы

Обзор исследований (ЭВН) показывает, что плотность тока является основным критерием оценки условий работы электродов, определяющим эксплуатационную надежность.

Многие авторы рекомендуют определять значение допустимой плотности тока по напряженности электрического поля $E_{дон}$:

$$j_{дон} = \frac{E_{дон}}{\rho_{20}}, \quad (1)$$

где ρ_{20} -удельное сопротивление воды, Ом· м.

Максимальную плотность тока определять по току нагрузки электродов:

$$j_{\text{макс}} = \frac{I}{S}, \quad (2)$$

где S - активная поверхность электрода, м² ;

I - ток нагрузки электродов, А.

При этом рекомендуется плотность тока ограничивать допустимыми пределами.

С.П. Корсак рекомендует исходить из условий ограничения интенсивности образования гремучего газа $j_{\text{дон}} = 1,5 \dots 2,0 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$ [1].

Е.П.Наний исходя из условий электрической прочности воды, рекомендует для стальных плоских электродов $j_{\text{дон}} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$, а для стальных цилиндрических электродов

$j_{\text{дон}} = 2 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$, допустимую напряженность электрического поля

$E_{\text{дон}} = 75 \cdot 10^3 \text{ В/м}$ [2].

Во ВНИИЭТО [3] исследования влияния плотности тока на скорость коррозии электродов из стали 10 в растворах различных электролитов показали, что при изменении плотности тока от $0,5 \cdot 10^3$ до $7 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$ скорость коррозии стали 10 не превышает $5 \dots 15 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{сут.}$ в растворах кальцинированной воды и тринатрийфосфата, а в растворах сульфата натрия и хлорида натрия значительно увеличивается до $80 \dots 110 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{сут.}$ Следовательно, в последнем случае плотность тока необходимо ограничивать значением

$$j_{\text{дон}} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2.$$

Как показали исследования Ю.Н. Михайловского влияние плотности тока на скорость коррозии железа тесно связано с коррозионными свойствами электролита и, в частности, с концентрацией водородных ионов. Так, скорость коррозии железа в нейтральной и щелочной среде практически не зависит от плотности тока. Напротив, в сильноокислой среде скорость коррозии железа почти линейно возрастает с увеличением плотности тока: при увеличении плотности тока от 1 до $4 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$ коррозионный ток возрастает от 0,3 до $2,7 \text{ А/м}^2$ в сильноокислом растворе соляной кислоты и от 0,3 до $0,9 \text{ А/м}^2$ в слабоокислом растворе этой кислоты [4].

А.Э. Шкеле рекомендует исходить из условий накипеобразования, что особенно важно при нагреве воды с большой временной жесткостью, и предлагает ограничить плотность тока величиной $2 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$ [5].

По данным П.И. Евсеева водонагревателей сельскохозяйственного назначения по условиям допустимой интенсивности осаждения накипи на электродах из нержавеющей стали и их износа плотность тока лежит в пределах от $1,5 \cdot 10^3$ до $3,5 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$ [6].

В работах В.С. Олейника и И.Т. Алдибекова показано, что проточные и непроточные водонагреватели с плоскими и цилиндрическими электродами можно рассчитывать по одним и тем же формулам [7-8]. Обобщение основано на том, что температура нагрева элементарного слоя нагреваемой жидкости в зависимости от времени подчиняется экспоненциальному закону:

$$t = \left[(t_{\text{вх}} + 20) \exp \frac{U^2 H}{40 \rho_{20} C_{\text{в}} \lambda_{\text{в}} G \cdot K_{\text{г}}} \right] - 20, \quad (3)$$

где $t_{\text{вх}}$ - температура воды на входе в водонагреватель, °С;

G - производительность водонагревателя, м³/с;

$\lambda_{\text{в}}$ - удельная плотность воды, кг/м³;

$K_{\text{г}}$ - геометрический коэффициент электродной группы;

C_6 - удельная теплоемкость воды, кДж/кг °С ;
 H -высота электродов,м.

Закон распределения плотности тока по высоте электродов описывается выражением:

$$j = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{dl}{dh} = \frac{U(t_n + 20)}{40 \rho_{20} d} \cdot \exp \frac{U^2 \epsilon h}{40 \rho_{20} C_6 \lambda_6 G d}, \quad (4)$$

где d - межэлектродное расстояние, м;

ϵ - ширина электрода, м;

h -текущее значение высоты электрода, которое изменяется от 0 до H , м.

Анализ этих уравнений показывает, что при движении воды межэлектродном пространстве вверх, ее температура повышается, в результате между электродами создается неравномерное температурное поле. Это явление имеет место для случаев, когда электроды располагаются параллельно направлению движения потока воды в корпусе водонагревателя. На рисунке 1 представлены графики зависимости, характеризующие распределение плотности тока по высоте электродов.[8-9] Как видим, степень неравномерности увеличивается с 1,9 до 3,8 раз с ростом степени нагрева от 25 до 85°C при постоянном расходе воды в зоне нагрева 0,54 м³ /ч, что соответствует мощности ЭВН 16 кВт при степени нагрева 25°C. Неравномерное распределение плотности тока обуславливает неравномерный износ поверхности электродов, что сокращает срок службы и снижает эксплуатационную надежность электродной группы. Это обстоятельство предполагает необходимость увеличения рабочей поверхности электродов, поскольку около 60% их активной площади недогружается по плотности тока до значения j_{cp} . Поэтому выбор размеров электродов по условию 1 приводит к завышению размеров электродной группы и, как следствие массогабаритных показателей водонагревателя в целом.

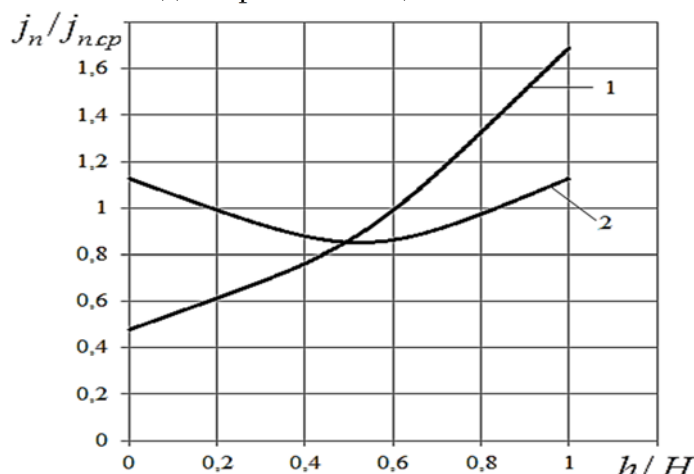


Рисунок 1- Распределение плотности тока по высоте электродов
 1-пластинчатые электроды с параллельным расположением;
 2-многочастотные электроды с поперечным расположением.

П.И. Евсеев предложил следующие выражения для определения средней и минимальной плотности тока.

Средняя плотность тока:

$$j_{cp} = \frac{2kU}{\sqrt{3} \cdot K_e \rho \cdot r_e}, \quad (5)$$

где k -коэффициент, учитывающий, что поле токов трехмерное;

r_e - радиус цилиндрического или стержневого электрода.

Максимальная плотность тока:

$$j_{max} = \frac{2k_n kU}{\sqrt{3} \cdot K_e \rho \cdot r_e}, \quad (6)$$

где k_n коэффициент, учитывающий неравномерность распределения тока по поверхности электрода, $k_n = 1, 1,5 \dots 1,4$.

В большинстве работ плотность тока принимается одинаковой во всех точках активной поверхности электродов в связи с тем, что в качестве исходной величины для расчетов принимается сопротивление фазы ЭВН, т.е. слоя воды в межэлектродном пространстве[6].

Анализ исследований эксплуатационных характеристик электродных ЭВН показывает, что в процессе длительной эксплуатации в результате высоких значений плотности тока на поверхности электродов, происходит их неравномерный износ, зависящий от температуры на поверхности электрода, удельного сопротивления воды и в конечном итоге от плотности тока на границе раздела фаз (ГРФ)[3,9]. Повышение плотности тока на ГРФ и температуры приводит к интенсивному отложению солей жесткости на поверхности электродов и образованию переходного сопротивления между электродом и водой. О высоких значениях плотности тока на поверхности электрода по сравнению с плотностью тока в объеме нагреваемой воды говорит так же и интенсивное выделение водорода на ГРФ [2-3].

Следовательно, в межэлектродном пространстве удельное сопротивление не остается постоянным, оно изменяется как по высоте электрода, так и по длине межэлектродного пространства.

Величины плотности тока на электродах и в межэлектродном пространстве будут различны:

где E_s и E_v - напряженность электрического поля на поверхности электрода и в объеме нагреваемой воды;

ρ_s и ρ_v - удельное сопротивление воды на поверхности электрода в объеме воды.

$$j_s = \frac{E_s}{\rho_s}, \quad (7)$$

$$j_v = \frac{E_v}{\rho_v}, \quad (8)$$

В ЭВН рабочим органом является электрод, а величина плотности тока и ее распределение по поверхности электрода определяют совершенство конструкции и эксплуатационные характеристики водонагревателя.

Картина распределения плотности тока между электродами по аналогии с тепловыми потоками описывается уравнением Пуассона:

$$C_T \cdot \frac{dt}{d\tau} - \frac{\lambda_t}{x} \cdot \frac{d^2 x \cdot t}{dx^2} = \rho j_s^2, \quad (9)$$

где τ - время нагрева, с ;

t - температура нагреваемой воды ;

λ_t - теплопроводность воды ;

x - расстояние от поверхности электрода до рассматриваемой точки в объеме воды.

Уравнение (9) имеет два частных решения, соответствующих двум тепловым состояниям воды: установившийся режим и кратковременный нагрев .

В установившемся режиме производная изменения температуры по времени равна нулю, тогда для цилиндрических электродов уравнение (9) примет вид:

$$\lambda_t = \frac{d^2 xt}{dx^2} + \frac{\rho}{x^2} \left(\frac{j_s}{2\pi \cdot r_3} \right)^2 = 0, \quad (10)$$

После интегрирования имеем:

$$\frac{d}{dx}(tx) = \frac{a}{x} + c_1, \quad (11)$$

где a - постоянная, соответствующая полному току нагрузки :

$$a = \frac{\rho}{\lambda_t} \left(\frac{I}{2\pi \cdot r_3} \right), \quad (12)$$

Дифференцирование уравнения (10) дает выражение зависимости температуры от расстояния от поверхности электрода:

$$t = \frac{a}{x} \left(\ln \frac{x}{r_3} - 1 \right), \quad (13)$$

Анализ полученного уравнения (13) распределения температуры воды в межэлектродном пространстве показывает, что максимальное значение температуры имеет место у поверхности электрода и, согласно уравнению (12), зависит от удельного сопротивления и теплопроводности воды, а главным образом от плотности тока.

Подставляя в (13) значение, а из уравнения (12), и, задаваясь значением $x=r_3$, получим выражение для определения максимального значения температуры у поверхности электрода:

$$t_{\max} = \frac{\rho}{r_3 \lambda_t} \left(\frac{I}{2\pi \cdot r_3} \right) \left(\ln \frac{x}{r_3} - 1 \right) = -\frac{\rho}{r_3 \lambda_t} \left(\frac{I}{2\pi \cdot r_3} \right)^2, \quad (14)$$

Следовательно, максимальная величина плотности тока согласно уравнению (14) также будет иметь место у поверхности электрода:

$$j_{\max} = 2\pi \cdot r_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda_t \cdot t_{\max}}{\rho}}, \quad (15)$$

Из уравнения (14) можно получить уравнение зависимости плотности тока на электроде от температуры и удельного сопротивления на воды:

$$j_3 = 2\pi \cdot r_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda_t \cdot t}{\rho}}, \quad (16)$$

Экспериментальная установка.

Конструкция электродного водонагревателя показана на рисунке 2.

Электродный водонагреватель состоит из корпуса 1 с крышкой 2, в котором установлены фазные электроды 3, нулевые цилиндрические электроды 4, проходные изоляторы 5 и токовводы 6.

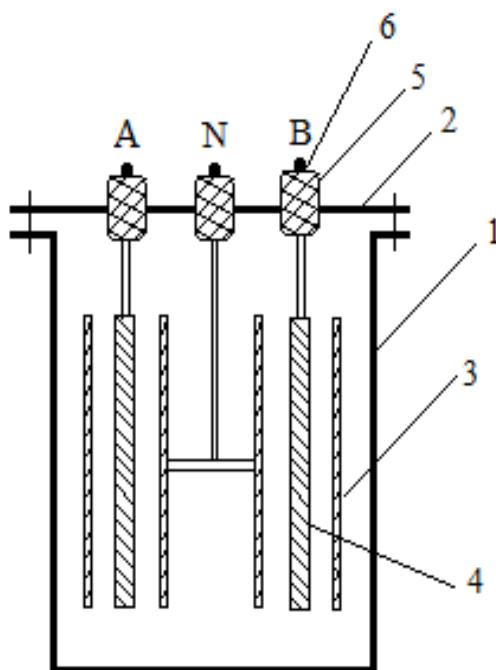


Рисунок 2 - Электродный водонагреватель с цилиндрическими электродами

1 – корпус ЭВН; 2- крышка; 3 – фазный электрод; 4- нулевой электрод;
5– проходной изолятор; 6- токоввод.

Результаты исследований

В таблице 1 приведены результаты расчета плотности тока в зависимости от температуры воды в диапазоне от 10 до 100°C и от удельного сопротивления воды в диапазоне изменения ρ_{20} от 50 до 100 Ом м, на примере ЭВН с цилиндрическими электродами ($r_3 = 10\text{мм}$; $\rho_0 = 20\text{мм}$; $P = 16\text{кВт}$; $H = 200\text{мм}$).

Таблица.1 Зависимость плотности тока на поверхности цилиндрического электрода от температуры и удельного сопротивления воды.

Удельное сопротивление воды $\rho_{20}, \text{Ом}\cdot\text{м}$	Параметры		
	температура воды $t, ^\circ\text{C}$	удельное сопротивление горячей воды $\rho_t, \text{Ом}\cdot\text{м}$	плотность тока $j_{ГРФ}, \text{А/см}^2$
1	2	3	4
$\rho_{20} = 5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	10	666,6	0,54
	30	400	1,2
	50	285,7	1,8
	70	222,2	2,45
	80	200	2,83
	90	181,18	3,14
	100	166,6	3,77
$\rho_{20} = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	10	1333,3	0,37
	30	800	0,86
	50	571,4	1,32
	70	444,4	1,75
	80	400	1,98
	90	363,6	2,2
	100	333,3	2,43
$\rho_{20} = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	10	2675	0,26
	30	1600	0,56
	50	1142	0,93
	70	889	1,246
	80	800	1,4
	90	727	1,56
	100	667	1,72
$\rho_{20} = 30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	10	4000	0,22
	30	2400	0,5
	50	1714	0,75
	70	1333,3	1,02
	80	1200	1,15
	90	1091	1,27
	100	1000	1,4
$\rho_{20} = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	10	6666,6	0,17
	30	4000	0,37
	50	2857	0,56
	70	2222	0,78
	80	2000	0,88
	90	1818	0,98
	100	1666,6	1,09
$\rho_{20} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	10	1333,3	0,12
	30	8000	0,27
	50	5714	0,41
	70	4444	0,55
	80	4000	0,63
	90	3636	0,69
	100	3333,3	0,77

Анализ данных таблицы 1 показывает, что при изменении температуры воды в межэлектродном пространстве в диапазоне от 10 до 100°C и удельного сопротивления воды ρ_{20} на входе в водонагреватель в диапазоне от 5 до 100 Ом м, плотность тока на электродах возрастает, соответственно, от 0,54 до 3,77 А/м², т.е. в 7 раз при $\rho_{20}=5$ Ом м; от 0,37 до 2,43 А/м², т.е. в 6,5 раз при $\rho_{20}=10$ Ом м; от 0,26 до 1,72 А/м², т.е. в 6,5 раз при $\rho_{20}=20$ Ом м; от 0,22 до 1,4 А/м², т.е. в 6 раз при $\rho_{20}=30$ Ом м; от 0,17 до 1,09 А/м², т.е. в 6,5 раз при $\rho_{20}=50$ Ом м; от 0,12 до 0,77 А/м², т.е. в 6,5 раз при $\rho_{20}=100$ Ом м. Таким образом, при работе электродного водонагревателя в широком диапазоне удельного сопротивления и температуры воды плотность тока на электродах изменяется в 6...7 раз.

Выводы

Анализ полученных данных говорит о том, что плотность тока в межэлектродном пространстве для электродов любой формы и, в частности, цилиндрических, имеет наибольшее значение на поверхности электрода и экспоненциально понижается по поперечному сечению межэлектродного пространства.

Максимального значения плотность тока достигает согласно уравнениям (4) и (15) в верхней части электродов в зоне максимальной температуры воды в межэлектродном пространстве. Следовательно, при расчёте ЭВН необходимо принимать за допустимые значения плотности тока в зоне наиболее высоких температур.

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

Литература

1. *Корсак С.П.* Электрические водонагреватели и электродкотлы.-М.: Госэнергоиздат, 1954.-241с.
2. *Наний Е.П.* Исследование электрической прочности воды в применении к расчету электродных водонагревателей //Известия ВУЗ. Энергетика.-М,1959.-с.31-33.
3. *Каган Н.Б., Кауфман В.Г., Пронько М.Г., Яневский Г.Д.* Электротермическое оборудование для сельскохозяйственного производства.-Москва: Энергия,1980.-192 с.
4. *Михайловский Ю.Н.* Электрохимический механизм коррозии металлов под действием переменного тока. - В кн.: Коррозия металлов и сплавов. М.: Металлургиздат, 1963, с.222-242
5. *Шкеле А.Э.* Влияние накипи на электродах водонагревателей //Труды Латвийской с.х. академии, вып. 23.-Рига,1968.-с.64-66.
6. *Евсеев П.Н.* Расчет электродных котлов.//Механизация и электрификация сельского хозяйства.-1979.- №3.С.31-33
7. *Олейник В.С.* Обобщенный метод расчета электродных водонагревателей // Труды УАСХИ,1962.-с.63-67.
8. *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.
9. *Алдибеков И.Т.* Расчет электрической проводимости между пластинчатыми электродами //Исследования, результаты, КазНАУ, 2007, №2.-С.125-128.

OF CURRENT DENSITY INFLUENCE ON THE OPERATIONAL RELIABILITY ELECTRODE WATER HEATER

To ensure operational reliability of the electrode water heaters must comply with the requirement to ensure the permissible value of the current density. The expressions for the current density at the electrodes heaters and temperature distribution in the interelectrode space. It was established that the current density reaches a maximum at the top of the electrodes in the area of the highest temperature.

Keywords: Electrode water heater, current density, water temperature, cylindrical electrodes, thermal conductivity of water.

Тойшиев Н.С., Барков В.И.

ЭЛЕКТРОДТЫ СУ ЖЫЛЫТҚЫШТАРДЫ ҚОЛДАНУ КЕЗІНДЕГІ СЕНІМДІЛІККЕ ТОҚ ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ӘСЕРІ

Электродты су жылытқыштарды қолдану кезіндегі сенімділікті қамтамасыз етуі үшін, тоқ тығыздығын қамтамасыз ететін мәндер мен талаптар сақталуы керек. Электрод аралық кеңістікте температураның үлестірімі және су жылытқыштардың электрод-тарындағы тоқ тығыздығының анықтау ұйғарымы алынды. Тоқ тығыздығы максималды мәнге электродтардың ең биік орналасқан бөлігінде, яғни температура жоғары аймақта жететіндігі анықталды.

Кілт сөздер: Электродты су қыздырғыш, тоқ тығыздығы, су температурасы, цилиндрлік электродтар, су жылуөткізгіштігі.

ӘОЖ 631.358: 635.25

Үсейін Ұ., Жүнісбаев Б.Ж., Сапарбаев Е.Т., Жұмағұлов Ж.Б.

Қазақ ұлттық аграрлық университеті

ПИЯЗ ҚАЗАТЫН ҚҰРЫЛҒЫНЫҢ КОНСТРУКТИВТІК-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СҰЛБАСЫН НЕГІЗДЕУ

Аңдатпа

Мақалада пиязды жинаудың тәсілдері және механикаландырылған құралдарына толыққанды талдау жүргізіліп, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері айқындалған. Осының негізінде пияз қазып алудың тәсілдері және механикаландыру құралдарының жіктелімі берілген. Пияз қазатын құрылғының конструктивтік-технологиялық сұлбасы негізделген. Ұсынылған пияз қазатын құрылғының технологиялық процесі баяндалған. Аталған құрылғының пияз қазатын өзге құрылғылардан айырмашылықтары келтірілген.

Кілт сөздер: пияз, фаза, тәсіл, механикаландырылған құрал, пияз қазатын құрылғы, активті жұмыстық орган, пассивті жұмыстық орган, төртжақты білік, битер, эластикалық қалақша.