

Энергетика. Автоматика

П.П. Проценко, А.Н. Козлов

СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ РЕГУЛИРОВКИ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

For heating water is proposed to change the connection scheme of the electrodes depending on the actual resistivity.

В решении задач по всемерному повышению эффективности сельскохозяйственного производства значительная роль отводится развитию его энергетической базы, эффективному использованию энергии в технологических процессах, автоматизации сельскохозяйственного производства.

Увеличение производства сельскохозяйственной продукции при сокращении численности рабочей силы может быть обеспечено в первую очередь за счет роста производительности труда, что в свою очередь требует повышения его энерго- и электровооруженности.

Одним из целесообразных направлений развития электрификации сельского хозяйства и на этой базе повышения производительности труда на современном этапе является электрификация тепловых технологических процессов.

Существующие электродные водогрейные установки не отвечают в полной мере современным требованиям по эксплуатационной надежности и материалоемкости. Они не приспособлены к работе в широком диапазоне изменения значений удельного сопротивления воды из местных природных источников (удельное сопротивление воды в них колеблется от 2 до 200 Ом·м), которое к тому же зависит от сезона. Необходимость регулирования удельного сопротивления воды при его отклонении от номинального значения путем опреснения или подсаливания нагреваемой воды неудобно при эксплуатации электродных водонагревателей. Поэтому эксплуатация электродных водонагревателей требует значительных затрат на водоподготовку и создание запасов дистиллированной воды или химических реагентов.

В связи с этим создание надежных электродных водонагревателей с низкой металлоемкостью, работоспособных в условиях изменения удельного сопротивления воды в широком диапазоне, является актуальной задачей.

Недостатки существующих модификаций электродных водонагревателей:

зависимость параметров водонагревателя от удельного сопротивления воды;

изменение мощности в процессе нагрева в связи с зависимостью удельного сопротивления от температуры воды;

техническая сложность регулировки мощности;

электроопасность при обслуживании (вынос электрического потенциала на корпус водонагревателя и вынос электрического потенциала в водопроводную сеть).

Достоинства:

высокий общий КПД установки (близок к единице);

использование дешевых материалов в конструкции.

Предлагаемый электродный водонагреватель выполняется не с одной, как во всех промышленных образцах, группой электродов, а многоэлектродным (рис. 1).

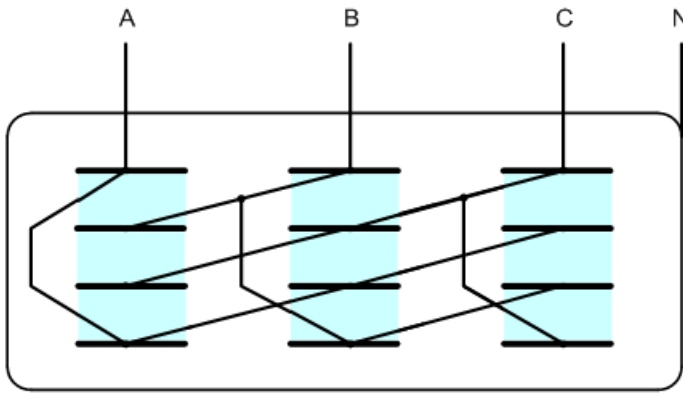


Рис. 1. Электродная система с плоскими электродами. Схема включения всех групп электродов. Рекомендована для удельного сопротивления воды $\rho_{20} = 150 \dots 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Это позволяет изменять в широком диапазоне схемы включения электродов, что дает возможность использовать воду с любым удельным сопротивлением в диапазоне от 10 до 200 Ом·м, т.е. возникает возможность использовать природную неподготовленную воду с соблюдением номинальных паспортных параметров установки.

Используемая плоская электродная система включается на линейное напряжение; компактна, хорошо вписывается в прямоугольную форму корпуса, удобную для размещения; допустимая плотность тока в 4 раза ниже,

чем для стержневых и коаксиальных систем; к сожалению, она обладает малой жесткостью, а подвод питания осложнен.

В электродных водонагревателях в связи с изменением сопротивления воды в процессе нагрева изменяется и мощность установки. Так, при нагреве воды от 0 до 100°C мощность установки возрастает в шесть раз, тогда как эффективность ее оценивается по средней за период нагрева мощности, которая оказывается в 1,5÷2 раза ниже максимальной, что ведет к недоиспользованию мощности.

Мощность электродного водонагревателя при любой температуре воды P_t , кВт

$$P_t = P_{20} \cdot \frac{20+t}{40}, \quad (1)$$

где P_{20} – мощность при температуре 20°C.

$$P_{20} = \frac{3 \cdot U_{\text{л}}^2}{R_{20}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети, В; R_{20} – сопротивление системы при температуре 20°C.

$$R_{20} = \frac{K_{\Gamma}}{h} \cdot \rho_{20}, \quad (3)$$

где K_{Γ} – геометрический коэффициент электродной системы, зависящий от соотношения геометрических размеров, будет зависеть от числа подключаемых электродов и электродных групп.

Средняя мощность, по которой оценивается эффективность электродного водонагревателя, P_{cp} , кВт:

$$P_{\text{cp}} = P_{20} \cdot \frac{t_2 - t_1}{40} \cdot \frac{1}{\ln \frac{20+t_2}{20+t_1}}, \quad (4)$$

где t_1 и t_2 – начальная и конечная температуры нагрева воды, °C.

Рассматривается вариант с использованием трех групп плоских электродов.

Как показывают расчеты (табл. 1), требуемая мощность нагрева в плоской электродной системе при подключении всех групп электродов обеспечивается только при удельном

сопротивлении воды 200 Ом·м. При меньших значениях мощность превышает заданную, при удельном сопротивлении воды 10 Ом·м превышает ее в 20 раз.

Для регулирования мощности в заданных пределах (2÷25 кВт) необходимо изменять схемы включения электродов в соответствии с реальным удельным сопротивлением воды (рис. 2-4).

Рабочие характеристики водонагревателя (зависимости мощности от температуры нагрева воды $P = f(t)$) для расчетных схем – на рис. 5.

Эти зависимости приведены для условия работы всей поверхности электродов, т.е. когда камера нагрева полностью заполнена водой.

Таблица 1

Регулировка мощности в водонагревателе с плоскими электродами

№ рисунка	Удельное сопротивление воды, Ом·м	Мощность при конечной температуре нагрева P_{95} , кВт	Средняя за период нагрева мощность ЭТУ P_{cp} , кВт	Превышение средней мощности относительно номинальной, $\frac{P_{cp}}{P_n}$	Активная высота электрода $h_{акт}$, м
1	$\rho_{20} = 200$	49,8	25,55	≈ 1	0,489
	$\rho_{20} = 150$	66,4	34,06	1,36	0,367
2	$\rho_{20} = 150$	44,28	22,7	0,908	0,367
	$\rho_{20} = 100$	66,424	34,06	1,36	0,367
	$\rho_{20} = 60$	110,7	56,76	2,27	0,22
3	$\rho_{20} = 60$	55,35	28,38	1,135	0,44
	$\rho_{20} = 30$	110,7	56,8	2,27	0,22
4	$\rho_{20} = 30$	55,66	28,5	1,14	0,438
	$\rho_{20} = 15$	111,32	57,1	2,28	0,219

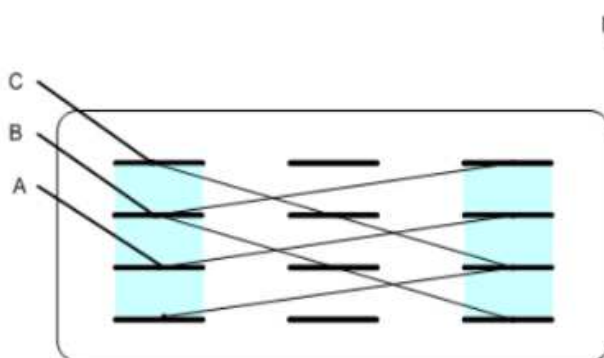


Рис. 2. Электродная система с плоскими электродами. Схема включения двух групп электродов (средняя группа отключена). Рекомендована для удельного сопротивления воды $\rho_{20} = 60 \div 150$ Ом·м.

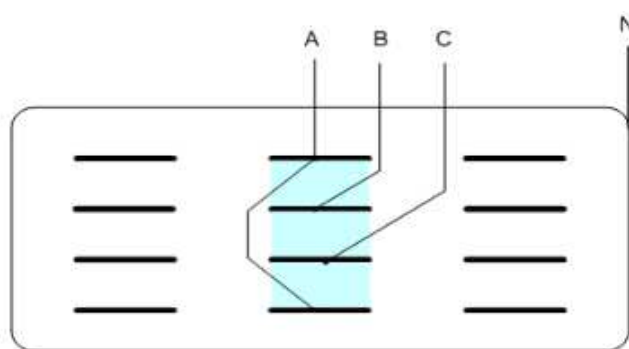


Рис. 3. Электродная система с плоскими электродами. Схема включения одной трехфазной группы электродов (две крайние группы отключены). Рекомендована для удельного сопротивления воды $\rho_{20} = 30 \div 60$ Ом·м.

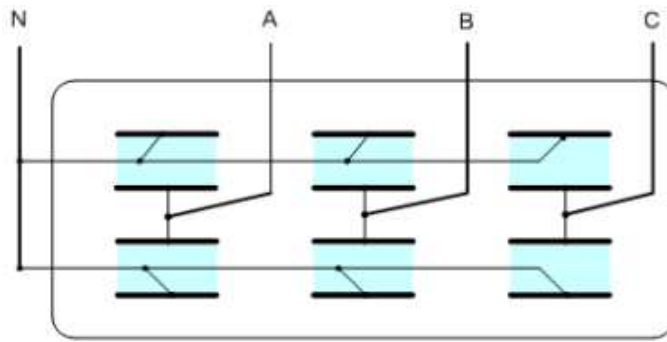


Рис. 4. Электродная система с плоскими электродами. Схема включения трех групп электродов на фазное напряжение. Рекомендована для удельного сопротивления воды $\rho_{20} = 15 \div 30$

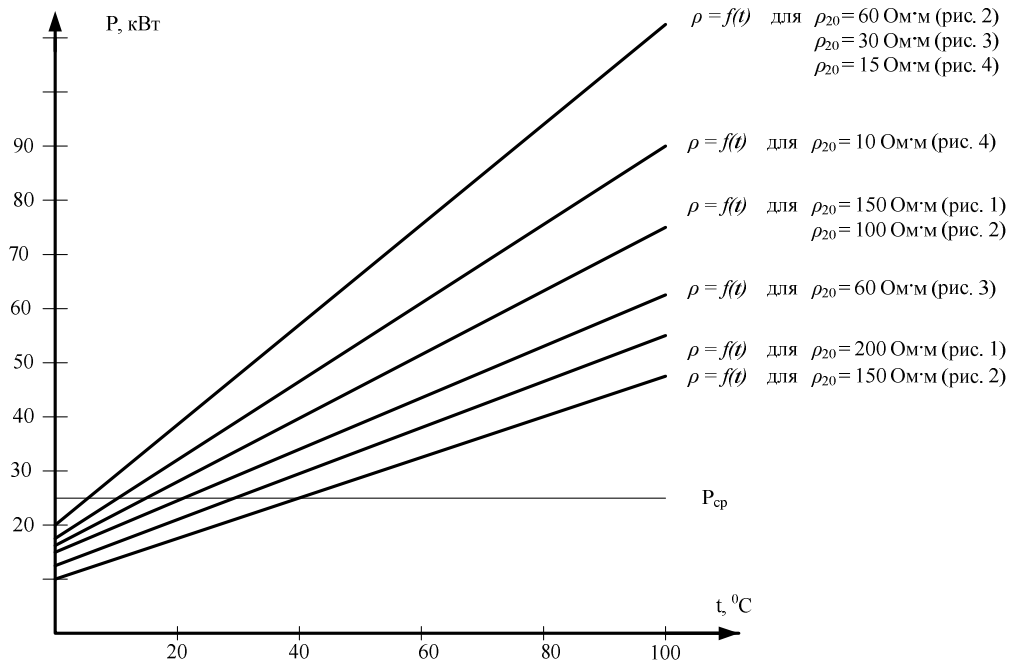


Рис. 5. Зависимости мощности водонагревателя от температуры воды при отсутствии

регулирования для различных вариантов включения электродов.

Регулирование мощности в электродных водонагревателях – процесс технически достаточно сложный и металлоемкий. Изменение схемы включения электродов позволяет изменять мощность ступенчато. Предлагаемая конструкция дает возможность осуществлять также плавное регулирование.

Соотношение средней за период нагрева мощности к номинальному значению показывает, во сколько раз необходимо уменьшить уровень воды в электродной системе, т.е. уменьшить активную высоту электродов, чтобы получить при любом удельном сопротивлении воды номинальную мощность 25 кВт. Например, при схеме включения всех трех электродных групп (рис. 1) и использовании воды с удельным сопротивлением 150 Ом·м номинальная мощность будет обеспечена при уменьшении активной высоты электродов в 1,36 раза, т.е. с 0,489 м до 0,367 м.

Плавная регулировка может быть достигнута с помощью воздушного колокола, ограничивающего уровень воды в электродной системе. Вытесняя воду из электродной системы, колокол уменьшает активную высоту электродов, тем самым изменяя мощность ЭТУ. Если колокол опустить до самого нижнего уровня, электродная система полностью освободится от воды и мощность упадет до нуля.

Таким образом, возможно регулирование мощности нагрева с помощью воздушного колокола по одной схеме включения электродов (рис. 1), когда все три группы электродов включены на линейное напряжение. Но при этом даже при незначительном изменении уровня (на 12,5 мм) будет происходить резкое изменение мощности (в 20 раз при удельном сопротивлении воды 20 Ом·м).

Поэтому, исходя из удобства эксплуатации ЭТУ, предпочтительно для реальных значений удельного сопротивления воды применять соответствующие схемы включения электродов, получая настройкой расчетную мощность нагрева – 25 кВт.

1. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – М.: КолосС, 2003. – 344 с.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: НЦ ЭНАС, 2003. – 304 с.
3. Электротехнический справочник: В 4-х т. – Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 518 с.