

ГОЛИНИЦКИЙ ПАВЕЛ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, канд. техн. наук

E-mail: gpv@rgau-msha.ru

ПРИХОДЬКО ИГОРЬ ЛЕОНИДОВИЧ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: techmash@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550,
ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

ВЫБОР РЕЖИМОВ НАПЕКАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И ЖЕЛЕЗА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ МЕТОДЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БРОНЗОВЫХ ВТУЛОК

Затруднения при электроконтактном напекании порошков на основе железа и никеля вызывает большая разница температур плавления. На практике для решения данной проблемы используют токопроводящую графитовую оболочку и специальный электрод. Однако их применение привело к затруднению при подборе температурных режимов напекания. На основании предварительных исследований были выбраны втулки, изготовленные из бронзы О5Ц5С5, а для напекания – порошки ПХ-30 и ПР-Н80Х13С2Р. Параметры напекания для порошка ПР-Н80Х13С2Р были следующими: диапазон напекания – 1000...1300°C; время напекания – 40-120 с; межэлектродное сопротивление – 0,7 мОм; теплоёмкость порошка (удельная) – 430 Дж/кг·°C; теплоёмкость восстанавливаемой детали (удельная) – 370 Дж/кг·°C; масса порошка (насыпная) – 6 г; толщина напекаемого слоя (на сторону) – 2 мм; шероховатость восстанавливаемой поверхности – 10...15 мкм. Для порошка ПХ-30: диапазон напекания – 1100...1400°C; время напекания – 120-250 с; теплоёмкость порошка (удельная) – 450 Дж/кг·°C; масса порошка (насыпная) – 8 г. Остальные параметры не изменялись. В результате проведённых исследований было установлено, что при напекании ПР-Н80Х13С2Р с температурой 1100°C не происходит надежного спекания порошка. Наилучшие показатели достигаются при температуре 1160°C. При температуре свыше 1200°C происходит образование пор. Для порошка на основе железа, ПХ-30 при температурах в зоне спекания 1100...1200°C не происходит припекания к бронзовой втулке, а при температуре 1300...1400°C наблюдается оплавление втулки. Оптимальные показатели достигаются при 1280°C с выдержкой 100 с при 1100°C.

Ключевые слова: комбинированный метод восстановления, электроконтактное напекание, металлические порошки, бронзовые втулки, температура электроконтактного напекания.

Введение. При эксплуатации сельскохозяйственной техники в ней неизбежно возникают отказы. Как правило, современные предприятия имеют ограниченный парк техники, при необходимости используют арендованную, поэтому потеря работоспособности даже одной из машин приводит к росту экономических потерь и нарушению агротехнических сроков проведения технологических процессов в растениеводстве.

Повышение долговечности сельскохозяйственной техники при ремонте является главным критерием обеспечения качества [1, 2, 3] и сохранения параметров производственной надежности ответственных соединений в заданных пределах [4, 5]. В результате повышения ресурса снижается время простоев сельскохозяйственных машин, повышается производительность агрегатов, снижаются затраты при их эксплуатации [6].

Гарантированный период безотказной работы соединений формируется благодаря созданию износостойких поверхностей и нормируемой точности деталей [7].

Наиболее часто встречаемым дефектом сельскохозяйственной техники является износ сопрягаемых

поверхностей, поэтому при разработке технологии восстановления особое внимание уделяют повышению ресурса отремонтированных деталей [8].

Как правило, для восстановления втулок, изготовленных из бронз, используется пластическая деформация, но данный метод приводит к снижению ресурса детали. Наравне с пластической деформацией применяют различные методы электроконтактного нанесения металлов (электроконтактное напекание и приварка ленты), но восстановление данными методами может привести к изменению физических свойств восстанавливаемой детали в результате нагрева. Несмотря на недостатки, данный метод является наиболее перспективным [9].

При электроконтактной приварке используют ленты на основе железа с добавлением никеля, поэтому данный метод экономически более выгоден, чем электроконтактное напекание, при котором используются порошки с максимально приближенным химическим составом к восстанавливаемой детали [10].

Для восстановления втулок, изготовленных из бронз, предлагается использовать комбинированный метод, заключающийся в обжиге втулки

с целью уменьшения внутреннего диаметра для компенсации износа и последующей обработки и нанесения металлических порошков на основе железа и никеля методом электроконтактного напекания на наружную поверхность [11].

Цель исследований – поиск оптимальных режимов напекания металлических порошков на бронзовую втулку.

Материал и методы. На основании проведённого анализа и установочных экспериментов были выбраны втулки, изготовленные из бронзы О5Ц5С5 (табл. 1), для напекания использовались порошки ПХ-30 и ПР-Н80Х13С2Р, имеющие в своём составе тугоплавкие компоненты.

Для определения оптимальной температуры напекания были проведены лабораторные исследования.

Таблица 1

Химический состав бронзы О5Ц5С5, % (масс.)

Марка бронзы	Fe	Si	P	Al	Cu	Pb	Zn	Sb	Sn
Бр. О5Ц5С5	До 0,4	До 0,05	До 0,1	До 0,05	80,7...88	4...6	4...6	До 0,5	4...6

Таблица 2

Химический состав напекаемых порошков, % (масс.)

Марка порошка	Fe	Cr	Ni	C	O	S	Ca	B	Si
ПР-Н80Х13С2Р	≤ 3	12...14	Основа	0,2...0,4	–	–	–	1,2...1,8	2,0...2,8
ПХ-30	Основа	30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,01	≤ 0,20	–	–

Результаты и обсуждение. Наибольшую трудность при электроконтактном напекании металлов на основе железа и никеля вызывает большая разница температур плавления. Для решения данной проблемы предложено использование токопроводящей графитовой оболочки и специального электрода, но их применение привело к появлению сложностей при подборе температурных режимов напекания.

Для контроля температуры напекания использовались термоэлектрические преобразователи (рис. 1) [12, 13].

В литературных источниках имеются рекомендации по выбору температуры напекания металлических порошков как 0,7...0,9 от температуры плавления основного компонента [13].

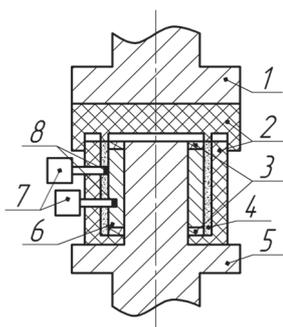


Рис. 1. Схема установки термоэлектрических преобразователей: 1 – верхний электрод; 2 – графитовая оболочка; 3 – асбестовые прокладки; 4 – металлический порошок; 5 – водоохлаждаемый электрод; 6 – восстанавливаемая втулка; 7 – термоэлектрические преобразователи; 8 – чувствительные элементы термоэлектрических преобразователей

Температура плавления основных металлов, входящих в состав бронзы О5Ц5С5, не превышает 1100°C, у меди она равна 1083°C, у олова – 232°C, у цинка – 906°C, а у свинца – 327°C.

Для порошка ПР-Н80Х13С2Р, основой которого является никель с температурой плавления 1453°C, был выбран диапазон напекания 1000...1300°C. Условия проведения экспериментов представлены в таблице 3.

Сила тока подбиралась так, чтобы за нужное время (40-120 с) достичь заданной температуры (1000...1300°C).

В результате проведённых экспериментов было выявлено, что при температуре спекания ниже 1100°C не происходит надежного спекания порошка ПР-Н80Х13С2Р с поверхностью втулки, данный дефект не наблюдается при повышении температуры.

Микроструктурные исследования показали, что при напекании порошка в температурном диапазоне 1100...1200°C образуется лигатурный сплав Cu-Ni, благодаря которому происходит хорошая сцепляемость напекаемого порошка с бронзовой втулкой (рис. 2), которую подтвердили испытания на срез.

При превышении температуры 1200°C происходит образование пор вследствие выгорания лигатурного сплава.

Для определения оптимального режима напекания порошка на основе никеля были проведены уточняющие исследования в диапазоне 1100...1200°C. Шаг изменения температуры составлял 20°C. Остальные характеристики остались неизменными.

В результате установлено, что оптимальные показатели качества напеченного слоя достигаются при температуре 1160°C. При данной температуре не происходит выгорание лигатурного сплава и обеспечивается необходимое сцепление металлического порошка с бронзовой втулкой.

Условия проведения экспериментов для порошка ПР-Н80Х13С2Р

Характеристика	Значение
Диапазон напекания, °С	1000...1300
Шаг изменения температуры, °С	50
Время напекания, с	40-120
Межэлектродное сопротивление, мОм	0,7
Теплоёмкость порошка (удельная), ДЖ/кг·°С	430
Теплоёмкость восстанавливаемой детали (удельная), ДЖ/кг·°С	370
Масса порошка (насыпная), г	6
Толщина напекаемого слоя (на сторону), мм	2
Шероховатость восстанавливаемой поверхности, мкм	10...15

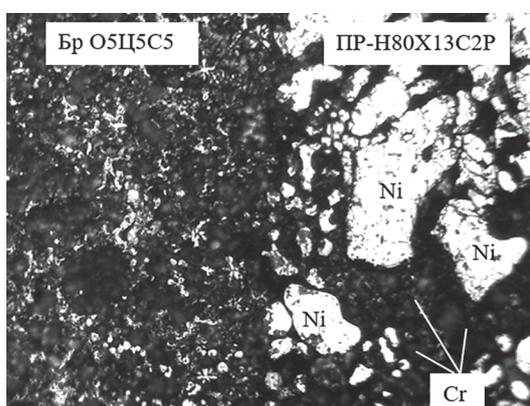


Рис. 2. Микроструктура граничного слоя восстанавливаемой втулки и напекаемого порошка при температуре 1100...1200°С

Параметры режима нагрева и охлаждения во время напекания представлены на рисунке 3.

При температуре напекания 1160°С в бронзовой втулке не происходит структурных изменений, так как при использовании водоохлаждаемого электрода температура не превышает 400°С, что подтверждается исследованиями микроструктуры до и после напекания.

Для порошка ПХ-30 температура напекания была выбрана в диапазоне 1100...1400°С, так как его основу составляет железо, имеющее температуру плавления 1539°С, а также хром с температурой плавления 1890°С.

Условия проведения экспериментов представлены в таблице 4.

Сила тока подбиралась так, чтобы за время (120-250 с) достичь заданной температуры (1100...1400°С).



Рис. 3. Режим нагрева и охлаждения во время напекания порошка ПР-Н80Х13С2Р на втулку

В результате проведённых экспериментов было выявлено, что при температурах 1100...1200°С не происходит припекания к бронзовой поверхности, имеются только локальные очаги спекания самого порошка.

Качественный слой образуется при температуре напекания 1200...1300°С, что подтверждается испы-

таниями на срез и исследованиями микроструктур (рис. 4).

Несмотря на максимальную интенсивность охлаждения бронзовой втулки, в результате напекания порошка при температуре 1300...1400°С происходит её значительное оплавление.

Условия проведения экспериментов для порошка ПХ-30

Характеристика	Значение
Диапазон напекания, °С	1100...1400
Шаг изменения температуры, °С	50
Время напекания, с	120-250
Межэлектродное сопротивление, мОм	0,7
Теплоёмкость порошка (удельная), ДЖ/кг·°С	450
Теплоёмкость восстанавливаемой детали (удельная), ДЖ/кг·°С	370
Масса порошка (насыпная), г	8
Толщина напекаемого слоя (на сторону), мм	2
Шероховатость восстанавливаемой поверхности, мкм	10...15

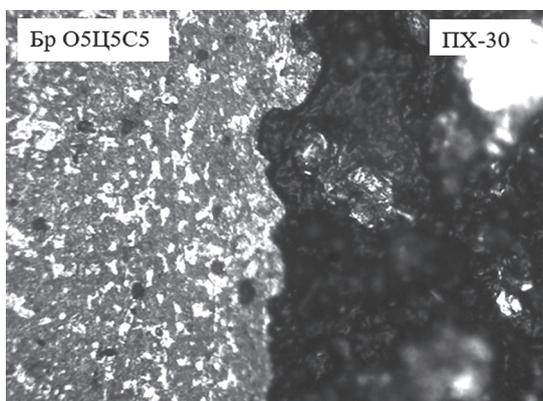


Рис. 4. Микроструктура граничного слоя восстанавливаемой втулки и напекаемого порошка при температуре 1200...1300°С

Для определения оптимального режима напекания порошка на основе железа проводились уточняющие исследования в диапазоне 1200...1300°С. Шаг температуры составлял 20°С, остальные характеристики не изменялись.

В результате было установлено, что оптимальные показатели качества достигаются при температуре напекания 1280°С, при этом необходимо произвести выдержку при температуре 1120...1040°С в течение 110 с для обеспечения более равномерного припекания порошка к втулке.

Параметры режима нагрева и охлаждения во время напекания представлены на рисунке 5.

В результате применения данного режима структурных изменений в бронзовой втулке не возникает, так как водоохлаждаемый электрод препятствует повышению температуры выше 400°С, что подтверждают микроструктурные исследования.

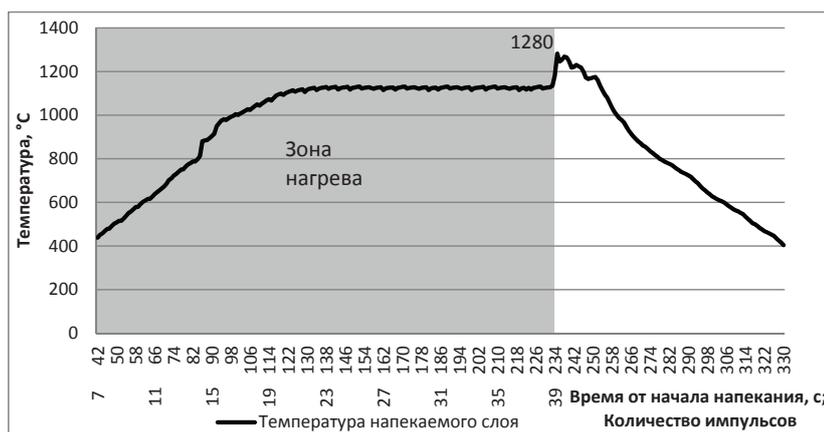


Рис. 5. Режим нагрева и охлаждения во время напекания порошка ПХ-30 на втулку

Выводы

Для порошка ПР-Н80Х13С2Р наилучшие показатели качества достигаются при температуре напекания 1160°С. Для порошка на основе железа ПХ-30 – при 1280°С с выдержкой 100 с при 1100°С.

Библиографический список

1. Леонов О.А., Бондарева Г.И., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Качество сельскохозяйственной техники и контроль при ее производстве и ремонте //Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 3. С. 30-32.

2. Бондарева Г.И., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Составляющие качества ремонта // Сельский механизатор. 2016. № 7. С. 2-4.

3. Леонов О.А. Точность и надежность соединений «вал-втулка» // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2002. № 10. С. 40-42.

4. Ерохин М.Н., Леонов О.А. Проблемы обеспечения качества отечественной техники для сельского хозяйства // Вавиловские чтения – 2008. ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». 2008. С. 243.

5. Леонов О.А. Обеспечение качества ремонта унифицированных соединений сельскохозяйственной техники методами расчета точностных параметров: Дис. ... докт. техн. наук. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2004. 324 с.

6. Леонов О.А., Темасова Г.Н. Экономика качества. Saarbrücken, 2015. 305 с.

7. Ерохин М.Н. Ремонт сельскохозяйственной техники с позиции обеспечения качества // Экология и сельскохозяйственная техника: Материалы 4-й науч.-практ. конф. СПб., 2005. С. 234-238.

8. Дорохов А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. Технический сервис в системе инженерно-технического обеспечения АПК // Сельский механизатор. 2016. № 8. С. 2-5.

9. Бирюков В.В. Восстановление бронзовых деталей машин порошками из цветных сплавов электроконтактным напеканием: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. М., 2005. 144 с.

10. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. М.: Металлург, 1987. 128 с.

11. Тогамбаев С.К., Голицынский П.В. Размерный анализ бронзовых подшипников скольжения при обжаривании // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2013. № 2. С. 58-60.

12. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Методы и средства измерений. М., 2014. 256 с.

13. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Методы и средства измерений температуры. М., 2008. 124 с.

Статья поступила 01.06.2018

CHOOSING MODES FOR WELDING OF METALLIC POWDERS BASED ON NICKEL AND IRON WITH A COMBINED METHOD OF BRONZE BUSHING RESTORING

PAVEL V. GOLINITSKY, PhD (Eng)

E-mail: gpv@rgau-msha.ru

IGOR L. PRIHODKO, PhD (Eng), Associate Professor

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The greatest difficulty in electric contact welding of powders based on iron and nickel systems are caused by the difference in melting temperature. In practice, a conductive graphite shell and a special electrode are used to solve this problem. However, their use has led to some difficulties in the selection of temperature modes of welding. On the basis of preliminary studies, bushings made of bronze O5C5S5 were chosen, powders PH-30 and PR-N80H13S2R were chosen for welding. The welding parameters for the powder PR-N80H13S2R were as follows: the range of welding – 1000...1300°C; the welding duration – 40-120 s; the electrode resistance – 0.7 mOhm; specific heat of the powder – 430 J/kg °C; specific heat capacity of the restored part is 370 J/kg °C; powder weight (bulk) – 6g; thickness of the layer to be welded (on the side) is 2 mm; roughness of the surface to be restored is 10...15 µm. For powder PH-30: temperature range of welding – 1100...1400°C; treatment time – 120-250 s; (specific) heat capacity of the powder – 450 J/kg °C; powder weight (bulk) – 8g. The other parameters remain the same. As a result of the conducted studies it has been established that the best quality indicators are achieved for the powder PR-N80H13S2R at a welding temperature of 1160°C, and for the PH-30 powder based on iron, the best performance is achieved at 1280°C with a holding time of 100 s at 1100°C. As a result of the conducted studies, it has been established that when the PR-N80H13S2R is welded at a temperature of 1100°C, no reliable sintering of the powder occurs. The best quality indicators are achieved at a welding temperature of 1160°C, at temperatures above 1200°C, pores are formed. For iron-based PH-30 powder, at temperatures in the sintering zone 1100...1200°C, there is no welding of the bronze bushing, at 1300...1400°C the bushing is melted. The best performance is achieved at 1280°C with an equalizing time of 100 s at 1100°C.

Key words: combined recovery method, electric contact welding, metal powders, bronze bushings, temperature electric-welding.

References

1. Leonov O.A. Bondareva G.I., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Kachestvo sel'skokhozyaystvennoy

tehniki i kontrol' pri yeye proizvodstve i remonte [Quality of agricultural machinery and control in its production and repair]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2016; 3: 30-32. (In Rus.).

2. Bondareva G.I., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Sostavlyayushchiye kachestva remonta [Components of the repair quality]. *Sel'skiy mekhanizator*, 2016; 7: 2-4. (In Rus.).
3. Leonov O.A. Tochnost' i nadezhnost' soyedineniy "val-vtulka" [Accuracy and reliability of "shaft-bushing" connections]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*, 2002; 10: 40-42. (In Rus.).
4. Yerokhin M.N., Leonov O.A. Problemy obespecheniya kachestva otechestvennoy tekhniki dlya sel'skogo khozyaystva [Problems of ensuring the quality of domestic farm machinery]. *Vavilovskiy chteniya – 2008*. FGOU VPO "Saratovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni N.I. Vavilova", 2008: 243. (In Rus.).
5. Leonov O.A. Obespecheniye kachestva remonta unifitsirovannykh soyedineniy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki metodami rascheta tochnostnykh parametrov: Dis... dokt. tekhn. nauk [Maintenance of the repair quality of the unified connections of agricultural machinery by methods of calculating the exact parameters: DSc (Eng) thesis]. Moscow, FGOU VPO MGAU, 2004: 324. (In Rus.).
6. Leonov O.A., Terasova G.N. Ekonomika kachestva [Economy of quality]. Saarbrucken, 2015: 305. (In Rus.).
7. Yerokhin M.N. Remont sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s pozitsii obespecheniya kachestva [Agricultural machinery repair in terms of quality assurance]. *Ekologiya i sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: Materialy 4-y nauch.-prakt. konferentsii*. SPb., 2005: 234-238. (In Rus.).
8. Bondarev S.P., Leonov O.A., Vergazova Yu.G. Problemy nadezhnosti i sposoby vosstanovleniya tsilindrisheskikh soyedineniy so shponkoy [Problems of reliability and methods of restoring cylindrical key-connections]. *Sel'skiy mekhanizator*, 2018; 1: 44-45. (In Rus.).
9. Dorokhov A.S., Korneyev V.M., Katayev Yu.V. Tekhnicheskyy servis v sisteme inzhenerno-tekhnicheskogo obespecheniya APK [Technical service in the system of engineering and technical support of the farm industry]. *Sel'skiy mekhanizator*, 2016; 8: 2-5. (In Rus.).
10. Biryukov V.V. Vosstanovleniye bronzovykh detaley mashin poroshkami iz tsvetnykh splavov elektrokontaktnym napekaniyem: dis. kand. tekhn. nauk 05.20.03 [Restoration of bronze machinery parts by powders from nonferrous alloys by electrocontact welding: DSc (Eng) thesis 05.20.03]. Moscow, 2005: 144. (In Rus.).
11. Raychenko A.I. Osnovy protsessa spekaniya poroshkov propuskaniyem elektricheskogo toka [Fundamentals of the process of sintering powders with electric current passing]. Moscow, Metallurg, 1987: 128. (In Rus.).
12. Togambayev S.K., Golimitskiy P.V. Razmernyy analiz bronzovykh podshipnikov skol'zheniya pri obzhatii [Dimensional analysis of bronze sliding bearings during their compression]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2013; 2: 58-60. (in Rus.).
13. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Metody i sredstva izmereniy [Methods and means of measurement]. Moscow, 2014. 256 p. (In Rus.).
14. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Metody i sredstva izmereniy temperatury [Methods and means of temperature measurements]. Moscow, 2008: 124. (In Rus.).

The paper was received on June 1, 2018

УДК 620.193:631.3

DOI 10.26897/1728-7936-2018-5-45-50

ЛЮКИНА ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА, докт. техн. наук

E-mail: eulykina@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КОРРОЗИЕЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНЫХ И ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В АПК

В процессе эксплуатации теплоэнергетическое оборудование котельных и тепловых сетей подвергается коррозии, что приводит к снижению выработки тепловой и электрической энергии и даже к аварийной остановке. В статье представлены методы борьбы с коррозией, применяемые на различных участках теплоэнергетической схемы. Воду для тепловых сетей подвергают стабилизационной обработке путем введения различных реагентов в зависимости от состава примесей и pH. Воду обрабатывают фосфатами, фосфонатами, различными комплексонами и др. Для удаления агрессивных газов применяют декарбонизаторы и термические деаэраторы. Использование плавающей герметизирующей жидкости в аккумуляторных баках с горячей водой предохраняет воду от испарения и избыточной аэрации. Для защиты баков от коррозии применяют различные покрытия и катодную защиту металла. Отмечено, что консервация теплоэнергетического оборудования при остановках позволяет избежать стояночной коррозии.

Ключевые слова: теплоэнергетическое оборудование, коррозия, агрессивные газы, аккумуляторные баки, методы защиты от коррозии.