

# ОХРАНА ТРУДА ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

В.В. Плошкин, Е.В. Лихман



**ПЛОШКИН  
Всеволод  
Викторович**

Доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана труда» Российского государственного социального университета (РГСУ). Специалист в области металловедения сталей и сплавов, обработанных с применением концентрированных потоков энергии, и экспертизы условий труда. Автор более 70 научных трудов, в том числе трех учебников.

## Введение

Наряду с известными в материаловедении методами создания материалов с заданными свойствами, широко распространены способы улучшения или модифицирования поверхности изделий. Одним из наиболее перспективных видов обработки поверхности металлических материалов является ресурсосберегающий технологический процесс микродугового оксидирования (МДО), который берет свое начало от традиционного анодирования. В ходе этого процесса электрические микроразряды при напряжениях до 1000 В хаотично мигрируют по поверхности изделия, обрабатываемого в слабощелочных электролитах.

© Плошкин В.В., Лихман Е.В., 2007

Многофункциональность МДО-покрытий (повышение износостойкости, коррозионно-защитных свойств, диэлектрических, теплозащитных и декоративных характеристик изделий) обуславливает их применение в различных отраслях промышленности [1–3].

В авиационной и автомобильной отраслях промышленности нанесение МДО-покрытий на детали цилиндрико-поршневой группы, в частности на поршни двигателей внутреннего сгорания, позволяет защитить их от высокотемпературной газовой эрозии и снизить температуру металла основы примерно в 1,5 раза.

В нефтехимической и газовой промышленности хорошо показали себя коррозионно-износостойкие МДО-покрытия на алюминии и



**ЛИХМАН  
Елена  
Владимировна**

Старший инженер АНО УМЦ «Юнитал-М». В 2007 г. с отличием окончила Российский государственный социальный университет (РГСУ) по специальности «Безопасность технологических процессов и производств». Специалист в области аттестации рабочих мест по условиям труда на предприятиях. Автор трех научных работ.

двухслойные покрытия (напыленный методом МДО алюминий) на стали для плунжеров насосов, торцевых уплотнений (вместо силицированного графита и твердого сплава) и шибберов задвижек, многократно повышая срок их службы в сероводородсодержащих средах (рис. 1). МДО-покрытия применяются также для защиты от коррозии и износа гребней и настилов алюминиевых ступеней эскалаторов (рис. 2).

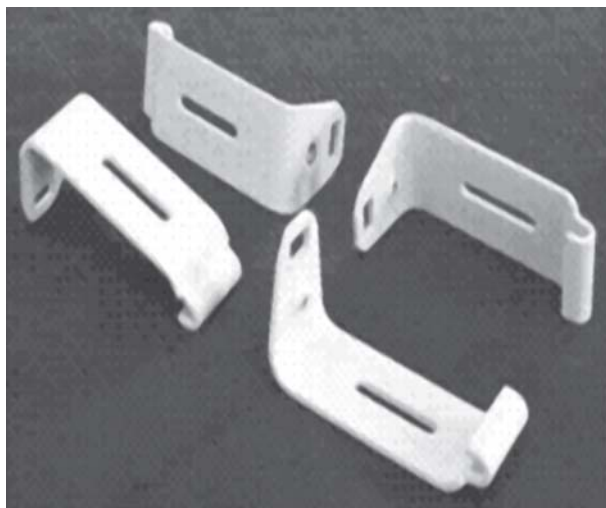


Рис. 1. Защитные кожухи датчиков для дефектоскопии нефте- и газопроводов

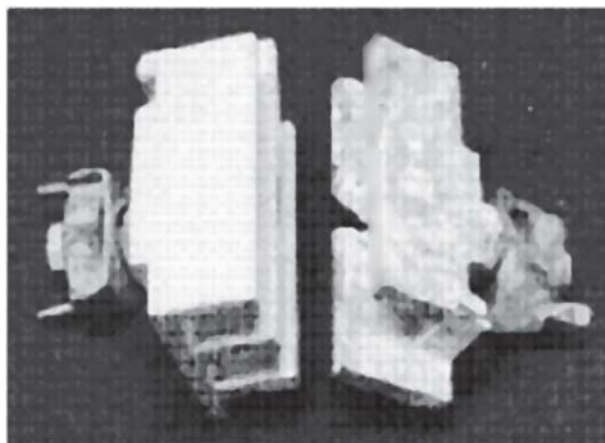


Рис. 2. Сравнительные испытания на контактную коррозию алюминиевых гребней (слева с МДО-покрытием) со стальным крепежом

В производстве строительных конструкций в качестве защитно-декоративных могут быть использованы цветные светостойкие МДО-покрытия как для наружного, так и для внутреннего архитектурного оформления зданий и сооружений. Кроме того, МДО-покрытия, обла-

дая соответствующей пористостью, как нельзя лучше подходят для последующего нанесения лака, краски, тефлона, изолирующего материала и др., т. е. в качестве антикоррозионной грунтовки. Это может быть эффективно использовано при изготовлении приборных панелей, корпусов разъемов, лючков самолетов.

Применение МДО-покрытий в производстве товаров бытового назначения также достаточно перспективно. Так, при нанесении их на сковороды и подошвы утюгов из алюминиевых сплавов помимо декоративного эффекта достигается повышение поверхностной твердости в 5–6 раз при снижении коэффициента трения приблизительно в 1,5 раза и улучшении антипригарных свойств.

### Обеспечение безопасности процесса МДО

Поскольку микродуговое оксидирование сравнительно новый вид поверхностной обработки деталей и не так широко распространен в промышленности, условия труда при проведении технологического цикла сегодня не регламентируются никакими нормативно-правовыми документами. Поэтому необходимы исследования безопасности процесса МДО-сплавов на основе алюминия с учетом требований охраны труда, оценки вероятных условий труда рабочих, обслуживающих установку МДО, по показателям напряженности и тяжести трудового процесса.

Требования к оборудованию для МДО следующие [4]:

- трехфазная электрическая сеть ( $\sim 380$  В; 50 Гц);
- проточная вода для охлаждения ванны с электролитом;
- сжатый воздух для барботаж и перемешивания;
- вытяжная вентиляция с поверхности ванны или из изолированного бокса, в котором размещена ванна;
- для размещения оборудования для МДО мощностью 200 кВт требуется площадь до 25 м<sup>2</sup>.

Нанесение всех видов металлопокрытий на всех стадиях производства должно соответствовать требованиям ГОСТов 12.1.010-76, 12.3.002-

75 и Межотраслевым правилам по охране труда при использовании химических веществ и нанесении металлопокрытий (ПОТ Р М-018-2001).

Опасными и вредными производственными факторами, приводящими к травмам и профессиональным заболеваниям работающих, являются:

- воздействие электромагнитных полей;
- химические факторы общетоксического, раздражающего, канцерогенного воздействия на организм работника;
- повышенная загазованность парами вредных химических веществ;
- повышенное содержание пыли в воздухе рабочей зоны;
- повышенная влажность воздуха;
- повышенный уровень шума и вибрации;
- опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенная температура поверхности изделия и оборудования;
- пожаровзрывоопасность;
- движущиеся механизмы и машины;
- физические нагрузки с повышенными затратами энергии;
- брызги кислот и щелочей, токсичных электролитов и растворов.

К воздействию электромагнитных полей наиболее чувствительны внутренние органы человека, иммунная и репродуктивная системы. Могут наблюдаться также функциональные нарушения в сердечно-сосудистой системе, изменения в составе крови. Существуют экспериментальные данные о связи электромагнитного излучения с онкологической заболеваемостью [5].

Раздражающее и резорбтивное действие фторидов проявляется за счет образования в организме токсичного фтор-иона, являющегося протоплазматическим и ферментным ядом широкого спектра действия (поражает нервную систему, внутренние органы, опорно-двигательный аппарат). При этом нарушаются процессы гликолиза, минеральный обмен, в особенности каль-

циевый и фосфорный. Аммиак поражает преимущественно органы дыхания.

Использование устройств местной вытяжной вентиляции в виде отсосов открытого типа (вытяжных зонтов, вытяжных панелей, бортовых отсосов и других устройств, находящихся за пределами источников выделения вредных веществ) и отсосов от полных укрытий (вытяжных шкафов, кожухов и вытяжных камер, а также ряда других устройств, внутри которых находятся источники выделения вредных веществ) практически полностью позволяет удалить пыль и другие вредные вещества из производственного помещения.

В производственном помещении необходим постоянный контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Отбор проб на определение этих веществ обычно проводят на рабочем месте на уровне дыхания работающего. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных ГОСТ 12.1.005-88 и гигиеническими нормативами ГН 2.2.5.686-98 и ГН 2.2.5.687-98.

Микроклимат производственных помещений должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН 2.2.4.548-96.

Для контроля запыленности воздуха рабочей зоны могут быть использованы различные методы (фильтрационные, седиментационные, электрические и др.). Наиболее распространен прямой весовой (гравиметрический) метод измерения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны при отборе на специальные аэрозольные фильтры типа АФА ВП. Весьма перспективны новые методы измерения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны с использованием лазерной техники.

Уровни вибрации на рабочих местах не должны превышать величин, установленных ГОСТ 12.1.012-90 и ГН 2.2.4/2.1.566-96. Одним из наиболее эффективных способов снижения шумовой экспозиции является введение перерывов (рационализация режимов труда в условиях воздействия интенсивного шума) с учетом уровня шума, его спектра и средств индивидуальной защиты (СН 2.2.4/2.1.8.56296).

При работе на установке МДО не исключены электротравмы (местные и общие), поэтому напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело работника при работе электроустановок, не должны превышать норм, установленных ГОСТ 12.1.038-82. Напряженность электростатического поля на рабочих местах не должна превышать норм, установленных ГОСТ 12.1.018-93, а также санитарно-гигиенических норм допустимой напряженности электростатического поля.

При проведении технологических процессов нанесения металлопокрытий необходимо выполнять требования пожарной безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.004-90 и Правил пожарной безопасности в Российской Федерации.

Инструмент, применяемый в технологических процессах нанесения металлопокрытий, должен отвечать требованиям государственных стандартов, технических условий и технологической документации. Производственное оборудование для технологических процессов МДО обязано соответствовать Правилам устройства электроустановок и следующим государственным стандартам: ГОСТ 12.1.019-79, 12.1.030-81, 12.2.003-91, 12.2.007.0-75, 12.2.049-80, 12.2.064-81.

Производственное оборудование располагается так, чтобы обеспечить последовательность операций технологического процесса, а также максимальное сокращение возвратных и перекрещивающихся грузопотоков. У рабочих мест предусматриваются площадки для складирования деталей, не допускается укладка деталей в проходах. Площадь помещений, занятая производственным оборудованием обычно не превышает 25 % общей площади цеха нанесения металлопокрытий.

Погрузочно-разгрузочные работы должны выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.009-76, 12.3.020-80 и Межотраслевых правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов.

Производственные помещения, в которых располагаются цехи и участки для МДО, находятся, как правило, в одноэтажных зданиях со

светоаэрационными фонарями и должны соответствовать требованиям СНиП 2.09.02-85. Допускается также расположение производственных помещений, цехов и участков на первых этажах многоэтажных зданий при условии отделения этих помещений от других капитальной стеной. В отдельных случаях допускается располагать участки МДО совместно с другими производствами (участками) при условии устройства эффективных местных отсосов, которые не должны допускать загрязнения воздушной среды выше ПДК. При расположении участка МДО в многопролетном корпусе его следует располагать у наружной стены для создания условий естественного проветривания. Категории помещений и производственных зданий определяются в соответствии с нормами пожарной безопасности в зависимости от количества и пожаровзрывоопасных свойств находящихся в них материалов и веществ. Взрывопожароопасные участки отделяются от других участков стенами из материалов, имеющих предел огнестойкости не менее 0,75 ч.

Уборку рабочих мест, проездов и проходов следует производить в течение всего рабочего дня и после смены мокрым способом с применением нейтрализующих растворов. Очистка стен помещений производится безпыльным способом не реже одного раза в три месяца.

К выполнению МДО допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие предварительный (при поступлении на работу), а затем периодический медицинский осмотр согласно действующему законодательству. Для работников, выполняющих работы повышенной опасности, периодическая проверка знаний проводится не реже одного раза в год комиссией, состав которой утверждается работодателем.

В соответствии с требованиями Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок обслуживающий их персонал должен иметь квалификационную группу по электробезопасности не ниже IV при обслуживании установок напряжением выше 1000 В и III при обслуживании установок напряжением до 1000 В.

Для защиты работников от опасных и вредных производственных факторов работодатель обязан своевременно обеспечить их специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты не ниже установленных норм в соответствии с действующими Правилами.

Работающие на ваннах с электролитами и растворами, содержащими вещества 1 и 2 класса опасности, не должны выходить в специальной одежде из рабочего помещения и хранить специальную одежду, специальную обувь и другие средства индивидуальной защиты вместе с личной одеждой.

### Инвентаризация источников выбросов загрязняющих веществ

#### в атмосфере при МДО алюминиевых сплавов

В работах [2, 3] показана возможность интенсификации процесса МДО посредством введения во внешнюю среду (газовую или жидкую) фторидов, оказывающих существенное влияние на протекание физико-химических процессов, реализующихся на гетерофазных границах. Выполненная методами дисперсионного анализа оценка влияния времени МДО и концентрации фторидов на толщину пленки [6] показала, что на нее гораздо сильнее влияет время обработки, чем концентрация фторидов, но наблюдается и заметное совместное влияние указанных факторов (рис. 3).

При разработке методики проведения инвентаризации источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при МДО алюминиевых сплавов за основу были взяты схемы расчетов выбросов в атмосферу для нанесения гальванических покрытий и технологических операций оксидирования деталей из стали и магниевых сплавов, включающих характеристику оборудования, удельные выделения на единицы меры используемого материала (массы, длины, площади, объема), заданную интенсивность испарения с единицы поверхности [7–9]. Данные для оценочного расчета выбросов, которые возможны при МДО, приведены в табл. 1, 2 и взяты из действующих отраслевых нормативных показателей выбросов веществ в атмосферу [10].

### Капельный выброс при микродуговом оксидировании

При МДО при разрыве на поверхности ванны газовых пузырьков в воздушную среду выбрасываются капли электролита, представляющие опасность для здоровья работающих. Для снижения концентрации аэрозолей в атмосфере цеха кроме традиционной бортовой вытяжки применяют надповерхностные электроуловители (НЭУ), в которых улавливающие (активные) элементы располагаются в областях наибольшей локализации капельного уноса [11, 12].

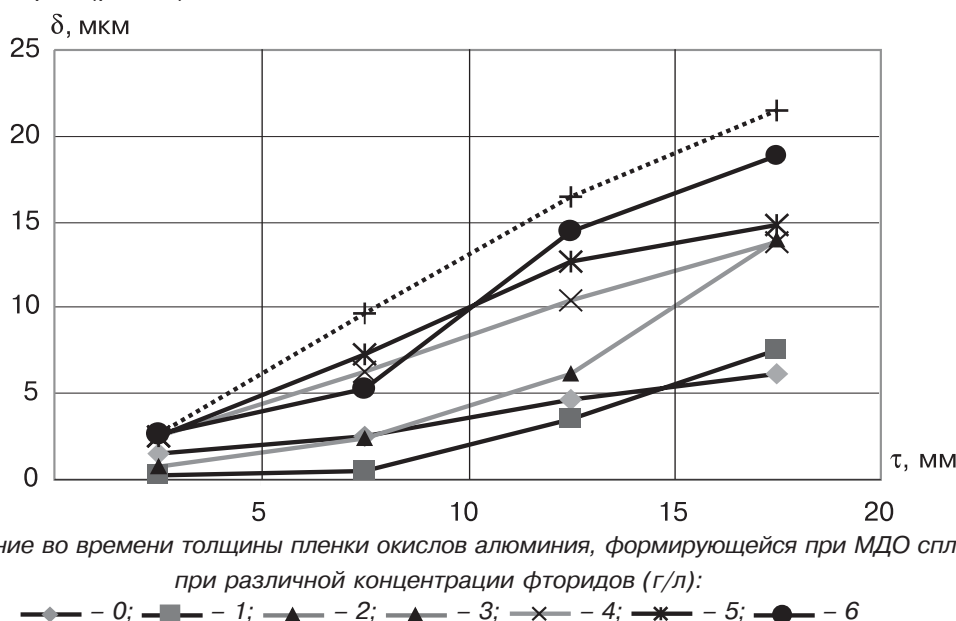


Рис. 3. Изменение во времени толщины пленки оксидов алюминия, формирующейся при МДО сплава Д16, при различной концентрации фторидов (г/л):

— 0; — 1; — 2; — 3; — 4; — 5; — 6

Таблица 1

Удельные выделения загрязняющих веществ при нанесении металлопокрытий

| Технологическая операция                      | Вещество                 |                 | Температура, °С | Выделяющееся загрязняющее вещество | Величина удельного выделения, мг/ (с·м <sup>2</sup> ) |               |
|-----------------------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------|
|                                               | наименование             | количество, г/л |                 |                                    | аэрозоль                                              | газовая фаза  |
| Оксидирование деталей из стали                | Гидроксид натрия         | 600-700         | 130-140         | Гидроксид натрия                   | 55                                                    |               |
|                                               | Тринатрий-фосфат         | 20-60           |                 | Тринатрий-фосфат                   | 4                                                     |               |
|                                               | Азотно-кислый натрий     | 120-160         |                 |                                    |                                                       |               |
| Оксидирование деталей из магния и его сплавов | Фторид аммония           | 300-400         | 70-80           | Фторид аммония                     | 10                                                    |               |
|                                               | Двухромово-кислый натрий | 60-80           |                 | Двухромово-кислый натрий           | 0,0008                                                |               |
|                                               | Кислота фосфорная        | 100-120         |                 | Кислота фосфорная                  | 1,7                                                   |               |
|                                               | Фтористый аммоний        | 300-400         | 15-35           | Аммиак<br>Фтористый водород        |                                                       | 1,76<br>11,67 |

Характер капельного выброса из гальванической ванны, уменьшающийся с высотой [13], определяется размерами пузырей, величиной поверхностного натяжения электролита, его вязкостью, свойствами адсорбционного слоя на границе раздела «электролит – газ» и другими. Для выявления закономерностей и особенностей выброса капель электролита необходимо, в первую очередь, знать их распределение по размерам, так как установлено, что зависимость наведенного заряда капель от их размера имеет степенной характер [14].

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа данных, опубликованных в работе [15] (капельный унос гальванической ванны при  $U = 8$  В,  $I = 300$  А собирали на фиксированной высоте над поверхностью раствора; слияния капель на поверхности стекла не допускалось), показывают, что, во-первых, наблюдается очевидная тенденция уменьшения среднего радиуса аэрозолей с увеличением глубины погружения детали, что необходимо учитывать при расположении активных элементов НЭУ, а, во-вторых,

для практических расчетов следует принимать, что фракционный состав капельного уноса электролита над ванной и при различной глубине погружения изделия подчиняется логарифмически нормальному распределению.

Следовательно, разработка новых конструкций НЭУ, уточнение характеристик существующих, совершенствование методик автоматизированного подбора НЭУ при проектировании узлов улавливания (осаждения) гальванических аэрозолей на их основе приводит к необходимости изучения и дополнительных процессов переноса многофазных потоков, например, процесса генерации аэрозольных частиц, определяющего характеристики двухфазного потока «жидкость – газ» от поверхности гальванической ванны к НЭУ.

### Заключение

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования безопасности процесса МДО сплавов на основе алюминия с учетом требований охраны труда показывают, что не-

Таблица 2

Сравнение расчетных значений с нормативами

| Выделяющееся вещество    | Код [10] | Класс опасности | М (мг/м <sup>3</sup> ) в час | ПДК <sub>мах</sub> разовая, мг/м <sup>3</sup> | ПДК среднесуточная, мг/м <sup>3</sup> | ОБУВ, мг/м <sup>3</sup> |
|--------------------------|----------|-----------------|------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Гидроксид натрия         | 0150     | -               | 1,624                        | -                                             | -                                     | 0,010                   |
| Тринатрийфосфат          | 3103     | -               | 6,373                        | -                                             | -                                     | 0,100                   |
| Фторид аммония           | 0342     | 2               | 15,932                       | 0,020                                         | 0,005                                 | -                       |
| Двухромово-кислый натрий | 0203     | 1               | 0,0013                       | -                                             | 0,0015                                | -                       |
| Кислота фосфорная        | 0348     | -               | 2,708                        | -                                             | -                                     | 0,020                   |
| Аммиак                   | 0304     | 4               | 0,3116                       | 0,200                                         | 0,040                                 | -                       |
| Фтористый водород        | 0344     | 2               | 2,066                        | 0,200                                         | 0,030                                 | -                       |

Примечания:

1. Присвоение веществам кодов вызвано необходимостью машинной обработки данных о выбросах загрязняющих веществ при проведении работ по инвентаризации и нормированию выбросов, их государственном учете в соответствии с Федеральным законом «Об охране атмосферного воздуха».

2. М – количество загрязняющего вещества, выделяющиеся за час работы установки МДО. Для сравнения М на входе и выходе из пылеочистительного аппарата с ПДК и ОБУВ (ориентировочные безопасные уровни воздействия) рассчитанные значения переводили в те же единицы с учетом требований к размещению оборудования для МДО (минимальная площадь помещения – 25 м<sup>2</sup>, высота помещения – 3,2 м).

обходима разработка нормативно-технической документации по безопасности труда и организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий, направленных на защиту работников, обслуживающих установку МДО, а также требований к обслуживающему персоналу технологического процесса. На основании таких исследований составлен список рабочих профессий для обслуживания технологического процесса МДО и проведена оценка условий труда по показателям напряженности и тяжести трудового процесса.

### Список литературы

- Смелянский В.М., Земскова Е.П. Повышение коррозионной стойкости изделий из алюминиевых сплавов путем нанесения комбинированных МДО-покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2005. № 2. С. 23–27.
- Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б. и др. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование). – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 352 с.
- Патент № 2918716 В 24358057 А, заявка № 03194859 МКИ: С23 С8/02. Способ азотирования стальных материалов. Опубл. 12.07.99 (приоритет 08.07.91).
- Справочное руководство по гальванотехнике / Пер. с нем. Н.Б. Сциборовской, М.Г. Солюс, В.Ф. Рау; Под ред. проф., д.т.н. В.И. Лайнера. Основные положения. Химическое и электрохимическое полирование. Специальная обработка металлов и покрытий. – М.: Металлургия, 1969. – 488 с.

5. Глебова Е.В. Производственная санитария и гигиена труда: Учебное пособие для вузов. – М.: ИФК «Каталог», 2003. – 344 с.
6. Пустыльник Е.В. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 1968. – 289 с.
7. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 81 с.
8. Перечень методик выполнения измерений концентраций загрязняющих веществ в выбросах промышленных предприятий / МПР России. – М., 2001. – 98 с.
9. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при производстве металлопокрытий гальваническим способом (по величинам удельных выделений) / НИИ Атмосфера. – СПб., 2000. – 80 с.
10. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. Дополнения к 2002 г. – СПб.: Интеграл, 2000. – 184 с.
11. Гаршин В. И. Надповерхностные электроуловители гальванических аэрозолей как эффективное средство защиты окружающей среды и энергоресурсосбережения // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 2. – Ростов-на-Дону: РГАСХМ, 1998. С. 97–99.
12. Вишневецкая А. Н., Гаршин В. И. Капельный унос в процессах хромирования и методы его контроля // Автоматический контроль и управление качеством продукции в сельскохозяйственном машиностроении: Межвуз. сб. – Ростов-на-Дону, 1987. С. 74–78.
13. Гаршин В. И., Воробьева О. Ю., Вишневецкая А. Н. Высота взлета капель в задачах электроулавливания гальванических аэрозолей // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3. – Ростов-на-Дону: РГАСХМ, 1999. С. 93–95.
14. Вишневецкая А. Н., Гаршин В. И., Герасьева С. Е., Харченко В. А. Пространственное зондирование выброса гальванических аэрозолей // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 5 (международный). – Ростов-на-Дону: РГАСХМ, 2001. С. 51–53.
15. Гаршин В. И., Харченко В.А. Исследования капельного выброса в гальваническом производстве // Безопасность жизнедеятельности. 2005. № 2. С. 49–53.