



# О путях реализации оптимальной системы улавливания капельного уноса в гальваническом производстве

## В.Л. Гапонов

*д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Производственная безопасность» Донского Государственного Технического Университета; г. Ростов-на-Дону*

## В.И. Гаршин

*к.т.н., доцент кафедры «Производственная безопасность» Донского Государственного Технического Университета; г. Ростов-на-Дону*

## С.Е. Гераськова

*старший преподаватель кафедры «Производственная безопасность» Донского Государственного Технического Университета; г. Ростов-на-Дону  
e-mail: cjamz-2003@mail.ru*

## И.Г. Ясько

*ассистент кафедры «Производственная безопасность» Донского Государственного Технического Университета; г. Ростов-на-Дону*

## Е.С. Филь

*старший преподаватель кафедры «Безопасность технологических процессов и производств» Донского Государственного Технического Университета; г. Ростов-на-Дону*

**Аннотация.** В статье рассматриваются пути и перспективы реализации оптимальной системы улавливания капельного уноса в гальваническом производстве. Приведены характеристики методов электроулавливания, акустической коагуляции, пенной защиты. Даны характеристики методов расчета эффективности улавливания уноса, описаны их преимущества и недостатки. Приведены примеры практической реализации метода пенной защиты. Сформулированы реализуемые на практике пути обеспечения качества воздушной среды рабочей зоны гальванических производств.

**Ключевые слова:** гальваническое производство, капельный унос, электролит, барботаж, электроулавливание, пенная защита.

## ВВЕДЕНИЕ

Борьба с капельным уносом электролитов в гальваническом производстве является одной из наиболее важных задач в обеспечении качества воздуха рабочей зоны гальванических цехов и для защиты окружающей среды. С этой целью разработано и внедрено большое количество методов и технических решений [1]. Наиболее перспективными представляются устройства, позволяющие подавлять выбросы вредных веществ непосредственно в источнике их образования. Нами разработан ряд технических решений [2], основанных на данной концепции. В их основе лежит метод улавливания дипольных капель в неоднородном электрическом поле.

Методы оценки. Эффективность улавливания капельного уноса может оцениваться несколькими методами.

Траекторный метод [3] заключается в моделировании траекторий отдельных капель с определением влияния на них внешнего электрического поля и позволяет получить расчетные зависимости эффективности улавливания капель от координат капли в поле уловителя. Недостаток данного метода заключается в том, что не всегда можно учесть все составляющие сил, формирующих траекторию капли, а также в необходимости последовательного расчета траектории отдельной капли заданных размеров и координат точки выхода.

Метод физического моделирования [4] основан на обработке массивов случайных данных по улавливанию отдельных капель, полученных в результате эксперимента на лабораторной установке, изучающего элементарный акт разрушения отдельного пузырька с генерацией капли или капельной струи. Метод позволяет моделировать условия, максимально приближенные к создаваемым в реальном аппарате улавливания уноса. Однако он весьма трудоемок, требует специального оборудования и вспомогательных метрологических экспериментов, которые необходимы для метрологического обеспечения физической модели. Все это значительно ограничивает область применения данного метода.

Несмотря на трудности, в этом эксперименте получены математические зависимости заряда

капли от ее радиуса. Эти зависимости используются в моделировании электроуловителей с расчетом их эффективности.

На сегодняшний день с высокой достоверностью получена зависимость эффективности улавливания капель от напряжения (восстановленная формула Дейча).

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\lambda \cdot U}{K_{\text{корр}}}\right),$$

где  $\lambda$  – коэффициент ослабления уноса под действием электрического поля;  $U$  – напряжение питания электроуловителя, В;  $K_{\text{корр}}$  – корректирующий множитель.

Таким образом, многократным чередованием «опыт – модель – опыт» выявляются закономерности, позволяющие получить наиболее приближенную зависимость эффективности улавливания от параметров уноса, режима, элементов конструкции электроулавливающей системы.

Однако рассмотренные выше методы проверялись только для случая однородного поля. В качестве источника электростатического поля в модели использовались параллельные плоские электроды бесконечно большого размера по сравнению с размерами капли и межэлектродным промежутком. Такая модель позволяет оценить эффективность улавливания капельного уноса только в первом приближении и не учитывает неоднородность поля, краевые эффекты и пр.

Как показывают эксперименты в смежных областях техники улавливания мелкодисперсной фазы, эффективность улавливания в неоднородном поле находится в прямой зависимости от степени неоднородности поля [5].

В случае неоднородного поля эффективный заряд капли, средняя напряженность электрического поля и градиент напряженности, необходимые для оценки улавливающего эффекта, получаются из экспериментальных данных. Дипольный момент капли можно оценить только косвенно.

Вероятностно-стохастический подход, разработанный Е.И. Богуславским [6], позволяет с высокой достоверностью определять эффективность улавливания аэрозолей в электрическом поле с учетом неоднородности поля. Следует отметить, что дисперсный состав капельного уноса характеризуется высокой неоднородностью. Вероятностно-стохастический метод позволяет выполнить расчет эффективности улавливания для отдельно взятой фракции (метод «крупных частиц»). Кроме того, данный подход может обеспечить поэтапную оценку эффективности улавливания в ходе многоступенчатого

преобразования аэрозоля в комбинированных системах улавливания. Однако следует отметить, что вероятностно-стохастический метод имеет достаточно сложный математический аппарат.

Метод электроулавливания, наряду с несомненными достоинствами, имеет и ряд недостатков. В частности, имеется вероятность поражения персонала электрическим током, в связи с этим повышаются требования к обеспечению электробезопасности устройств. Для реализации этих требований в первую очередь необходимо снизить напряжение питания, что одновременно уменьшает эффективность улавливания капельного уноса. Кроме того, не исключается возможность электрического пробоя межэлектродного пространства, соответственно, повышаются требования к качеству электрической изоляции. Также применение электроуловителей вносит в технологический процесс нанесения гальванических покрытий известные эксплуатационные проблемы.

Тем не менее, даже при низком напряжении питания и соблюдении других условий, накладываемых эксплуатационными требованиями, эффективность электроулавливания составляет не менее 80%.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Нами разрабатываются мероприятия, позволяющие повысить эффективность систем борьбы с капельным уносом, не ограничиваясь только применением электроуловителей. В частности, известно, что создание на поверхности электролита слоя пены значительно снижает капельный унос, при этом размеры капель, образующихся при разрушении слоя пены, выше, чем у капель первичного уноса, соответственно, уменьшается высота их взлета.

В связи с этим возвратимся к фундаментальной закономерности «унос-расход» (рис. 1). Известно [4], что при увеличении расхода газа в барботажных системах, в том числе – не содержащих ПАВ, наблюдается формирование динамических устойчивых жидких пленок, образующих динамические пены. Вследствие этого наблюдается резкое снижение величины капельного уноса вплоть до начала режима «пенной защиты».

Для аппаратного осуществления метода пенной защиты необходим постоянный контроль состояния пенного слоя. При этом условии возможно управление капельным уносом путем регулировки расхода дополнительного воздуха, вводимого под слой электролита. Совокупность приборов контроля барботажа с приборами регулировки расхода образует систему автоматического управления режимом динамической пены, а следовательно, и улавливанием уноса.

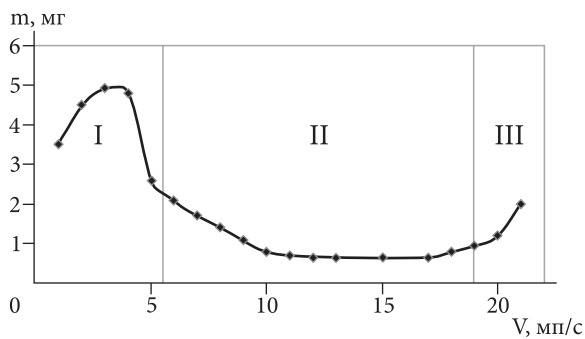


Рис. 1. Качественная кривая «унос – расход» при барботаже жидкости без ПАВ:

I – область максимального капельного уноса;  
 II – область пенной защиты;  
 III – область пенного переброса

Основные принципы реализации такой системы представлены ниже.

В основе работы системы лежит управление расходом воздуха, образующего пенный слой (рис. 2). Здесь ИУ – исполнительное устройство. Представляет собой шаговый двигатель постоянного тока с программируемым блоком управления. ОУ – объект управления. Представляет собой кран игольчатый, который, в зависимости от управляющего воздействия, увеличивает или уменьшает подачу воздуха. ДУ – датчик уровня пенного слоя в гальванической ванне. ДП – датчик прозрачности, оптический датчик прозрачности жидкости, контролирующий момент образования второго слоя пены.

Сигналы с датчиков заводятся на программируемый блок управления, где они обрабатываются, и формируется соответствующий управляющий сигнал на шаговый двигатель.

На рис. 3 показан пример устройства для создания динамической пены путем аэрации электролита в гальванической ванне. В основании ванны (1) установлено барботажное устройство (4), выполненное в виде набора пористых пластин, сообщающихся с общим воздуховодом (3), на котором установлен кран (2), регулирующий расход воздуха по сигналам системы автоматического управления (рис. 1).

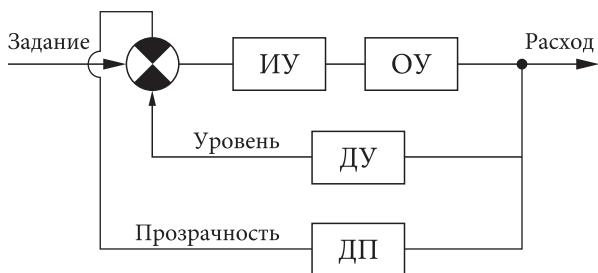


Рис. 2. Вариант блок-схемы системы управления уровнем динамической пены

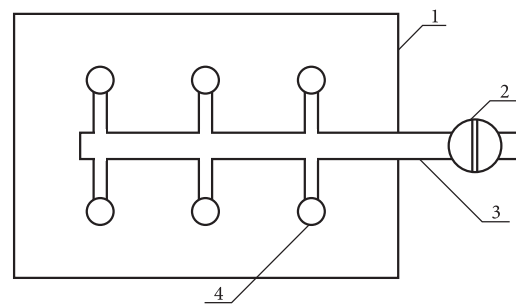


Рис. 3. Устройство для аэрации гальванической ванны

На рис. 4 показан вариант ванны (1) со слоем динамической пены (4), получаемой путем барботажа воздуха из пористого фильтра (2) через электролит (3). Датчик уровня пены представляет собой систему электродов (5–8) и блок управления и обработки сигналов (9). Электрод (5) находится в электролите ниже его уровня. Электрод (6) сигнализирует о начальном верхнем уровне электролита без пены. Электрод (7) сигнализирует о достижении динамической пеной уровня, граничащего со статической пеной. Электрод (8) дает сигнал о пенном перебросе.

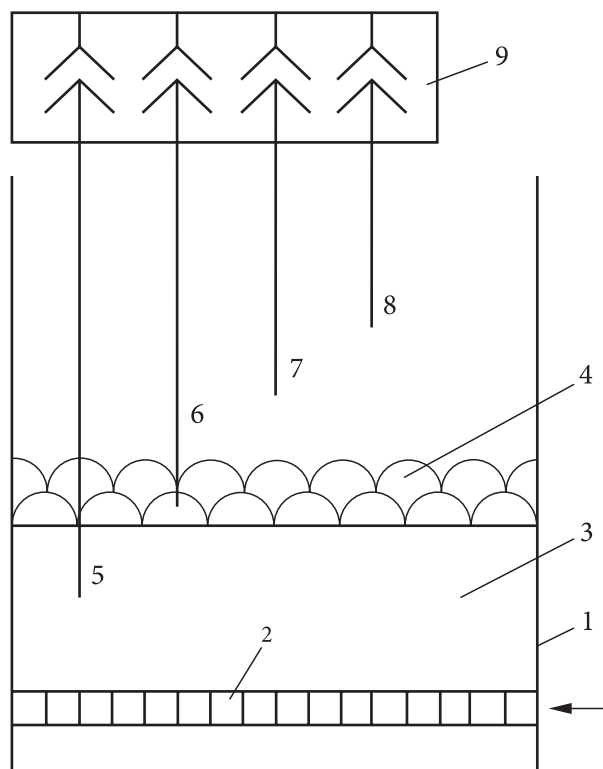


Рис. 4. Схема датчика уровня пены для системы управления динамической пеной

### ВЫВОДЫ

Остаются неиспользованными возможности коагулирующего действия акустики. Если электроуправление совместить со специальным акустическим устройством, то эффективность подавления капельного уноса из гальванических

ванн существенно повысится. Нами разработана полезная модель такого комбинированного электроуловителя [8].

Итак, представленные здесь пути обеспечения качества воздушной среды рабочей зоны гальванических производств, реализуемы на практике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Елинский, И.И. Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий / И.И. Елинский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 152 с.
2. Филь, Е.С. Анализ методов борьбы с капельным уносом в гальваническом производстве / Е.С. Филь, В.И. Гаршин // Научное обозрение. – 2014. – № 11. Ч. 3. – С. 691–694.
3. Гаршин, В.И. Статистическое моделирование процессов и устройств электроуправления гальванических аэрозолей / В.И. Гаршин [и др.] // Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: Т. 38. Материалы Международной научно-практической конференции. Вып. XIV: в 3 т. – Том 1. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2012. – 436 с. – С. 102–110.
4. Филь, Е.С. Экспериментальные исследования дисперсного состава капельного уноса при нанесении гальванических покрытий / Е.С. Филь [и др.]: [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013. – № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2194> (доступ свободный) – Загл. с экрана.
5. Дымовые электрофильтры / В.И. Левитов [и др.]; под ред. В.И. Левитова. – М.: Энергия, 1980. – 448 с.
6. Богуславский, Е.И. Вероятностно-стохастический подход к проблемам охраны производственной и окружающей сред. Книга 1. Основы подхода / Е.И. Богуславский. – Ростов-на-Дону, 1997. – 208 с.
7. Филь, Е.С. Перспективы развития методов защиты воздушной среды рабочей зоны гальванических цехов / Е.С. Филь [и др.] // Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: Т. 38. Материалы Международной научно-практической конференции. Вып. XVI: в 2 т. – Том 1. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2014. – 468 с. – С. 196–205.
8. Филь Е.С., Гаршин В.И., Пушенко С.Л., Гапонов В.Л. Электроуловитель гальванических аэрозолей. Патент на полезную модель RU № 140335 МПК 2006.01 В03С 3/16, В03С 3/02, В03С 3/016. Заявл. 30.12.2013. Опубл. 10.05.2014. Б.И. 2014. – №13.

#### About the ways of implementation of optimum system of catching of drop ablation in galvanic production

**V.L. Gaponov**, doctor of technical sciences, professor of Donskoy state technical university; Rostov-on-Don

**V.I. Garshin**, candidate of technical sciences, associate professor of Donskoy state technical university; Rostov-on-Don

**S.E. Geraskova**, senior teacher of department «Production safety» of Donskoy state technical university; Rostov-on-Don  
e-mail: [cjamz-2003@mail.ru](mailto:cjamz-2003@mail.ru)

**I.G. Yasko**, assistant of department «Production safety» of Donskoy state technical university; Rostov-on-Don

**E.S. Fil**, senior teacher of department «Safety of technological processes and productions» of Donskoy state technical university; Rostov-on-Don

In article ways and the prospects of implementation of optimum system of catching of drop ablation in galvanic production are considered. Characteristics of methods of electrocatching, acoustic coagulation, foamy protection are provided. Characteristics of methods of calculation of efficiency of catching of ablation are given, their benefits and shortcomings are described. Examples of practical implementation of a method of foamy protection are given. The realized in practice the ways of quality assurances of the air environment of the working area of galvanic productions are formulated.

**Keywords:** Galvanic production, drop ablation, electrolyte, bubbling, electrocatching, foamy protection.

#### References:

1. Elinskiy I.I. Ventilation and heating of galvanic shops of machine-building enterprises. Moscow. *Mechanical engineering*. 1989. 152 p.
2. Fil E.S., Garshin V.I. The analysis of methods of fight against drop ablation in galvanic production. *Scientific review. Scientific magazine*. No. 11. 2014. Part 3. Pp. 691-694.
3. Garshin V.I., Gaponov V.L., Geraskova S.E., Lebedev A.R. Statistical modeling of processes and devices of electrocatching of galvanic aerosols. Technosphere safety, reliability, quality, energy saving. T38. *Materials of the International scientific and practical conference. Release of XIV. V. 1*. Rostov-on-Don. Rostov state construction university. 2012. 436 p. Pp. 102-110.
4. Fil E.S., Garshin V.I., Pushenko S.L., Baklanova A.V. Pilot studies of disperse structure of drop ablation when putting electroplated coatings. *The engineering bulletin of Don*. 2013. No. 4. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2194>.
5. Levitov V.I., Rashidov I.K., Tkachenko V.M. *Smoke electric precipitators*. Moscow. Energy. 1980. 448 p.
6. Boguslavskiy E.I. *Probabilistic and stochastic approach to problems of protection of production and surrounding environments*. Book 1. Approach bases. Rostov-on-Don, 1997. 208 p.
7. Fil E.S., Garshin V.I., Gaponov V.L., Geraskova S.E., Yasko I.G. Prospects of development of methods of protection of the air environment of a working zone of galvanic shops. Technosphere safety, reliability, quality, energy saving. T38. *Materials of the International scientific and practical conference. Release of XVI. V. 1*. Rostov-on-Don. The Rostov state construction university. 2014. 468 p. Pp. 196–205.
8. Fil E.S., Garshin V.I., Pushenko S.L., Gaponov V.L. *Electrological of galvanic aerosols*. Patent for the useful model RU No.140335 МПК 2006.01 В03С 3/16, В03С 3/02, В03С 3/016. Statement 30.12.2013. It is published 10.05.2014. B. I. 2014. – No. 13.