

Аверкова О.А., д-р техн. наук, проф.,  
Крутикова Д.Н., аспирант,  
Логачев И.Н., д-р техн. наук, проф.,  
Логачев К.И., д-р техн. наук, проф.,  
Уваров В.А., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Зайцев О.Н., д-р техн. наук, проф.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

## К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗДУШНОГО ТЕЧЕНИЯ ВБЛИЗИ БОРТОВОГО ОТСОСА ОТ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ВАННЫ\*

kilogachev@mail.ru

Произведен расчет бортового отсоса от гальванической ванны. При помощи метода граничных интегральных уравнений построены линии тока при разных размерах механического экрана. Показано влияние экрана на спектр всасывания. Найдена высота механического экрана, который исключает выделение в помещение паров с поверхности электролита, уменьшает количество удаляемого воздуха, а также снижает энергозатраты.

**Ключевые слова:** местный отсос, метод конформных отображений, гальваническая ванна.

**Введение.** Процессы обработки деталей в гальванических ваннах сопровождаются выбросами загрязняющих веществ: аэрозолей едких щелочей, хлористого водорода, никеля, хромового ангидрида, серной кислоты и т.д. [1–3]. Наиболее надежным, но энергоемким способом локализации выбросов загрязняющих веществ в местах их образования является местный вентиляционный отсос (МВО) [4–10] (рис. 1).

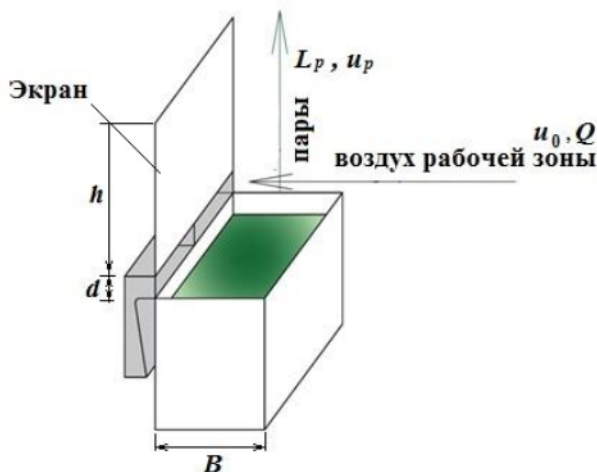


Рис. 1. Схема гальванической ванны с бортовым отсосом

Расчет течений вблизи бортовых отсосов производился в работах [4–6]. Использовался метод наложения потоков и конформных отображений. В монографии [4] течения вблизи линейного стока для однобортового отсоса в квадранте и двух линейных стоков для двубортового отсоса в полуплоскости накладывались на восходящий постоянный поток во всей плоскости. Механические экраны были бесконечными. В статьях [5–6]

рассматривался однобортовой отсос. Для расчета использовался тот же прием наложения потоков и метод конформных отображений, но механический экран был конечных размеров. Полагалось, что механическое экранирование МВО позволяет уменьшить количество удаляемого воздуха бортовым отсосом, за счет ограничения области действия линейного стока и, следовательно, снизить количество потребляемой электроэнергии системой местной вытяжной вентиляции.

Цель работы: разработка математической модели течения воздуха вблизи одно и двубортового отсоса с механическими экранами и определение их длины, необходимой для эффективного улавливания загрязняющих веществ.

**Основные расчётные соотношения.** Вычислительный алгоритм строился на основе метода граничных интегральных уравнений [11–12].

По границе  $S$  области течения непрерывно размещались фиктивные источники (стоки) неизвестной заранее интенсивности  $q(\xi)$ . Их величины должны быть таковы, чтобы их суммарное воздействие на точки границы индуцировало в них заданные значения нормальной составляющей скорости, то есть выполнялись граничные условия.

Значение скорости в произвольной точке  $x$  области вдоль единичного вектора  $\vec{n}$  определяется из следующей формулы:

$$v_n(x) = \int_S F_2(x, \xi) q(\xi) dS(\xi), \quad (1)$$

где  $S(\xi)$  обозначает, что  $\xi$  является переменной интегрирования; функция

$F_2(x, \xi) = \frac{1}{2\pi} \frac{(x_1 - \xi_1)n_1 + (x_2 - \xi_2)n_2}{(x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2}$  выражает собой влияние на точку  $x(x_1, x_2)$  единичного источника, расположенного в точке  $\xi(\xi_1, \xi_2)$  вдоль единичного вектора  $\vec{n} = \{n_1, n_2\}$ .

Формула (1) являлась бы решением задачи, если бы интенсивности  $q(\xi)$  были бы известны. Для их определения устремим внутреннюю точку  $x$  к граничной точке  $x_0$  вдоль направления внешней нормали. Получим следующее выражение:

$$v_n(x_0) = \int_S^* F_2(x_0, \xi)q(\xi)dS(\xi), \quad (2)$$

где интеграл имеет особенность, что обозначено \*. Действительно  $\lim_{x_0 \rightarrow \xi} F_2(x_0, \xi) = \infty$ .

Такое интегральное уравнение называется сингулярным. Однако интеграл в выражении (2) является сходящимся. Если окружить точку  $\xi$  полу-

$$-\frac{1}{2}q(x_0^p) + \sum_{\substack{k=1, \\ k \neq p}}^N q(\xi^k) \int_{\Delta S^k} F_2(x_0^p, \xi^k)dS(\xi^k) = v_n(x_0^p), \quad p = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

$\xi^k$  – произвольная точка  $k$ -го отрезка,  $\Delta S^k$  –  $k$ -ый отрезок.

Решив эту систему уравнений и определив неизвестные интенсивности источников (стоков) можно определить искомую скорость во внутренней точке вдоль заданного направления по формуле:

$$v_n(x) = \sum_{k=1}^N q(\xi^k) \int_{\Delta S^k} F_2(x, \xi^k)dS(\xi^k). \quad (5)$$

### Основные результаты и их обсуждение

С увеличением высоты механического экрана картина течения вблизи однобортового и двубортового отсоса изменяется (рис.2 - 3). Расходы вытяжного воздуха и паровоздушной смеси, поднимающейся над гальванической ванной равны:  $Q_0 = L_p$ . Скорость отсасываемого воздуха  $u_0$  в 10 раз превышает скорость  $u_p$  поднимающейся паровоздушной смеси для однобортового отсоса:  $u_0 / u_p = 10$  (рис.2). Для двубортового отсоса это соотношение в два раза меньше:  $u_0 / u_p = 5$  (рис.2). Ширина всасывающего сечения  $d$  в 10 раз меньше ширины  $B$  гальванической

окружностью бесконечно малого радиуса и вычислить интеграл по ней, то он будет равен  $-\frac{1}{2}q(x_0)$ .

Таким образом, получим:

$$v_n(x_0) = -\frac{1}{2}q(x_0) + \int_S F_2(x_0, \xi)q(\xi)dS(\xi), \quad (3)$$

где интеграл уже не содержит точку  $x_0 = \xi$ .

Граничное интегральное уравнение (3) является интегральным уравнением Фредгольма 2-го рода. Аналитически оно не решается для областей с произвольными границами, поэтому применяется следующий численный метод его решения. Граница области течения разбивается на прямолинейные отрезки (граничные элементы). Вдоль каждого из отрезков интенсивность источников (стоков) не изменяется. Тогда, записав уравнение (3) для середин  $x_0^p$  каждого  $p$ -го из  $N$  полученных отрезков, получим систему  $N$  линейных алгебраических уравнений с  $N$  неизвестными  $q(\xi^1), q(\xi^2), \dots, q(\xi^N)$ :

ванны. В расчетах принималось  $u_p = 1$  м/с;  $B = 1$  м.

Чем выше максимальная высота подъема линии тока, тем менее эффективен отсос. Любое малое возмущение воздушной среды приводит к загрязнению помещения парами щелочи. На рис. 4 изображены графики изменения максимальной высоты подъема линии тока  $y_{\max}$  от высоты механического экрана для однобортового отсоса. Цифрами 1, 2, ... 5 на рисунке обозначены графики для линий тока, отстоящие от края гальванической ванны с противоположной стороны отсоса, на расстоянии 0,02, 0,04, ... 0,1 (на рис.2 эти линии тока также показаны цифрами).

Из рис. 4 следует, что увеличение высоты механического экрана более  $h = B$  не приводит к дальнейшему повышению эффективности отсоса.

Для двубортового отсоса максимальная высота подъема линий тока стабилизируется уже при  $h = 0,4B$  (рис. 5). Здесь цифры 1-5 соответствуют линиям тока 1-5 рис. 3. Рис. 6-7 демонстрируют картины течения при разных отношениях расходов отсасываемого воздуха и паровоздушной смеси.

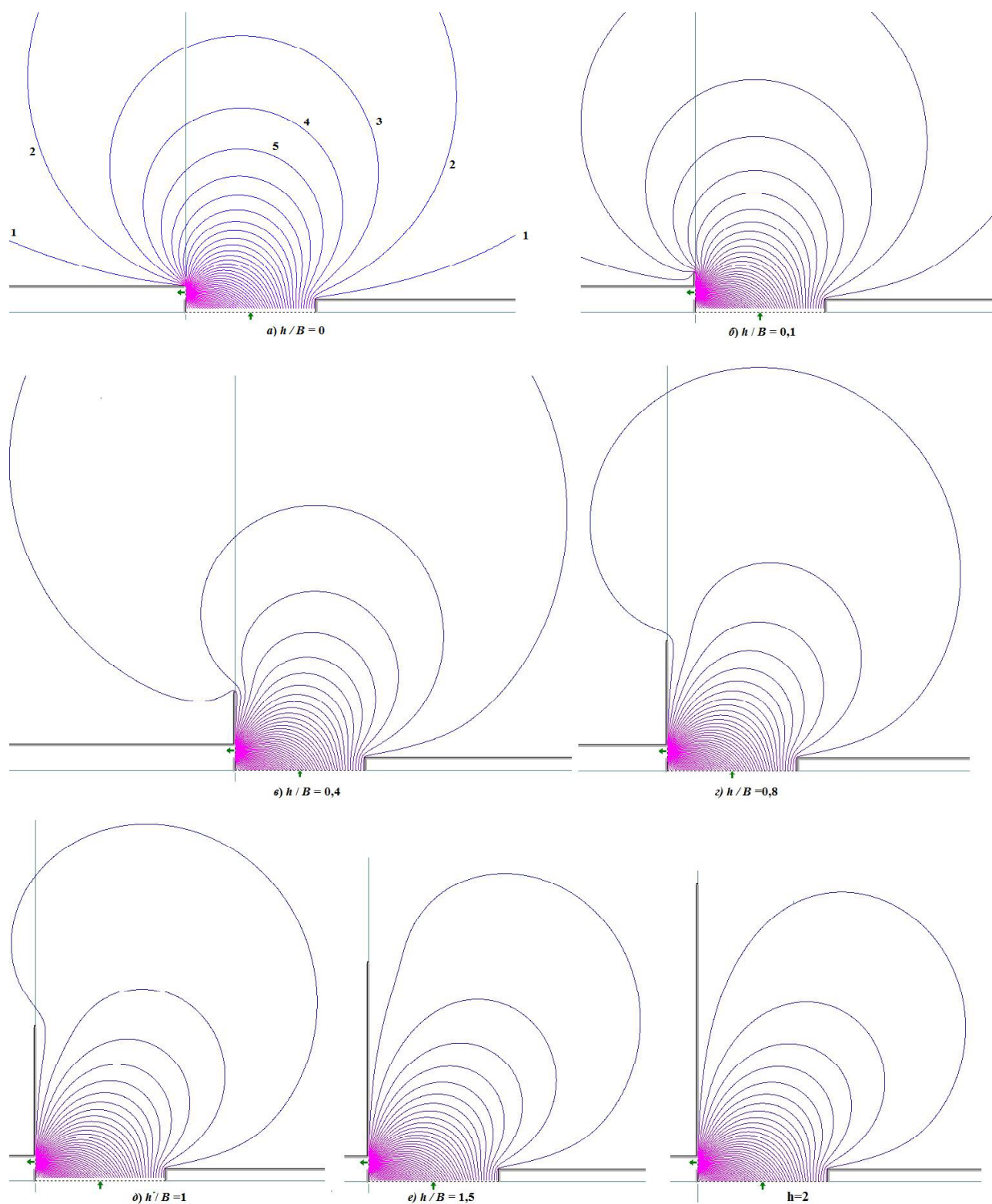


Рис. 2. Линии тока вблизи однобортового отсоса от гальванической ванны при разных высотах механического экрана

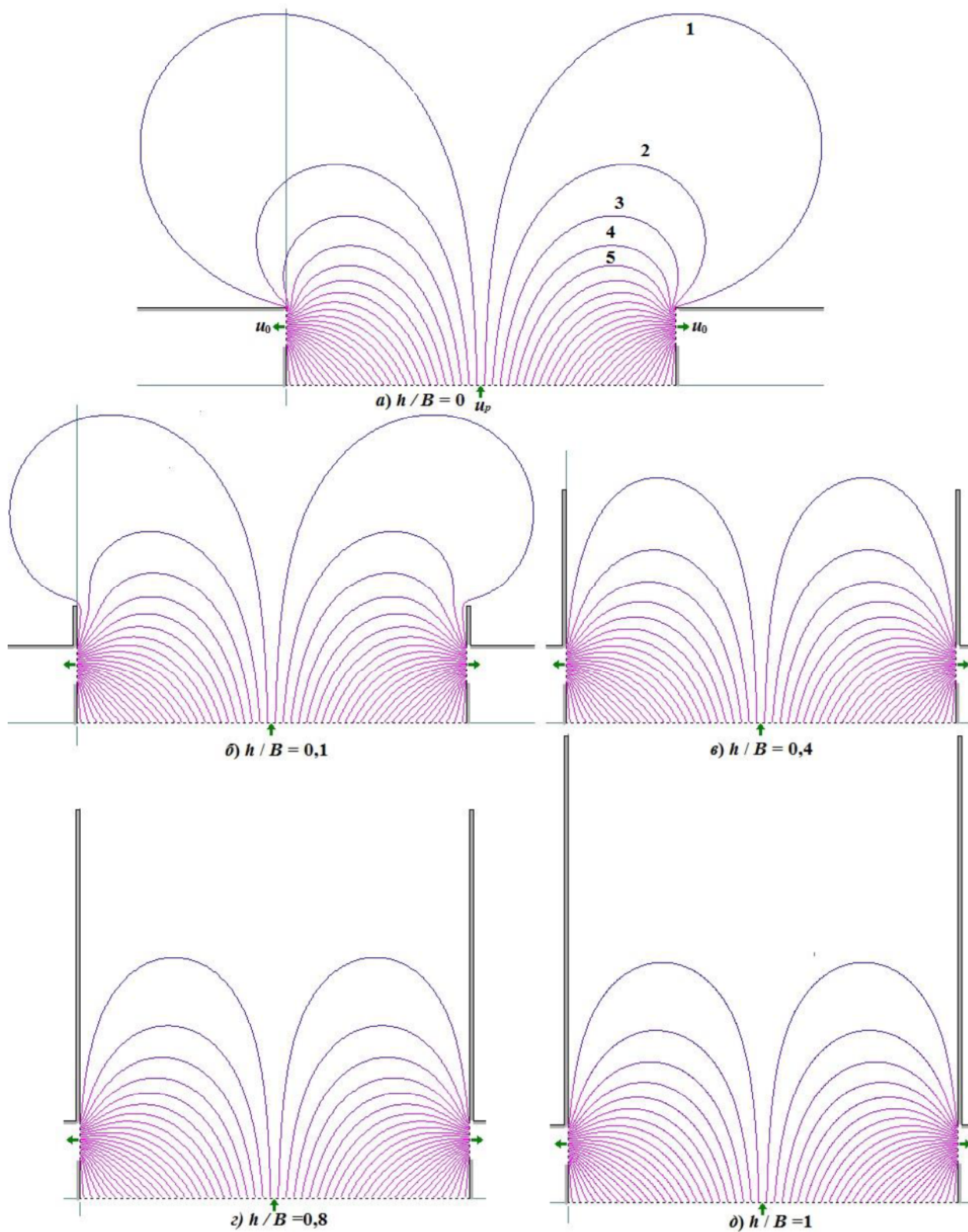


Рис. 3. Линии тока вблизи двубортового отсоса при разных высотах механического экрана

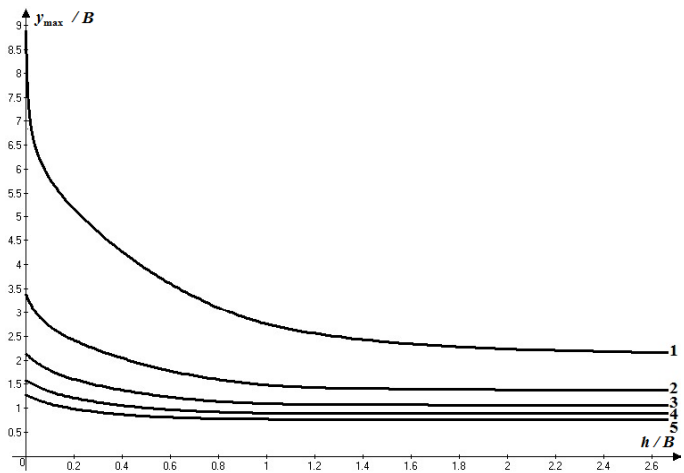


Рис. 4. Изменение высоты подъема линии тока для однобортового отсоса

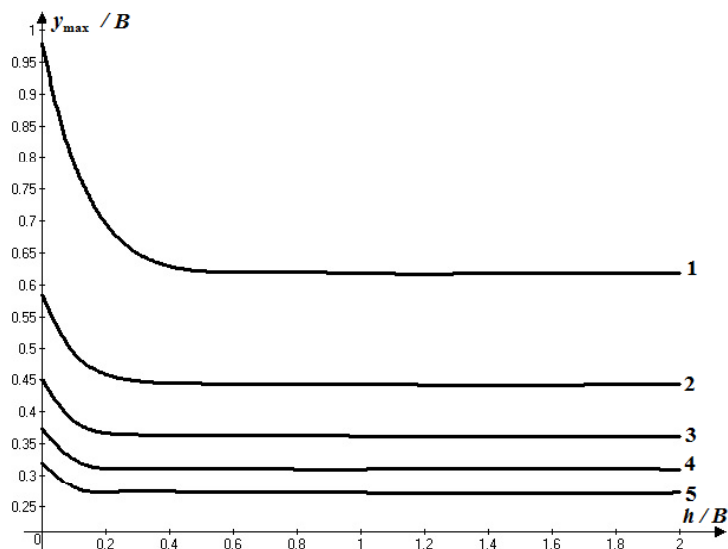


Рис. 5. Изменение высоты подъема линии тока для двубортового отсоса

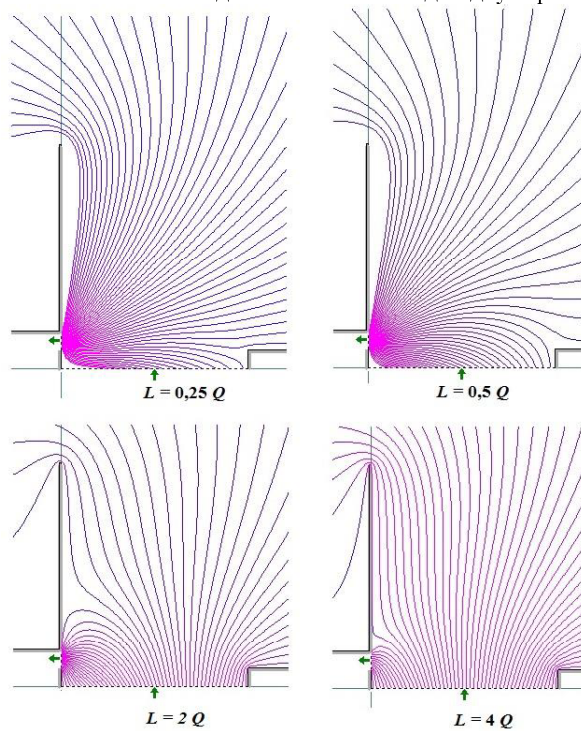


Рис. 6. Линии тока вблизи однобортового отсоса при разных соотношения расхода отсасываемого воздуха и паровоздушной смеси над гальванической ванной

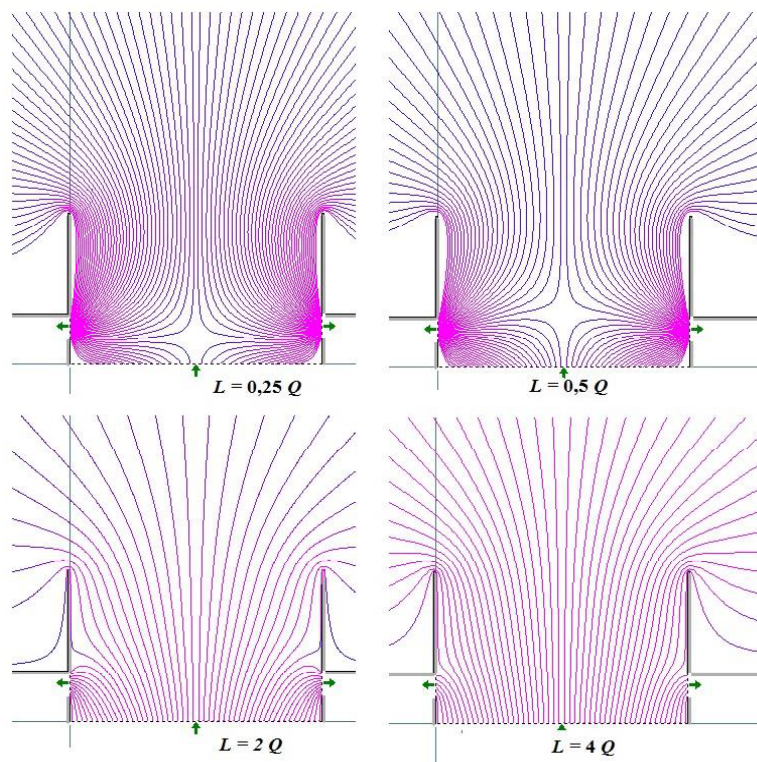


Рис. 7. Линии тока вблизи двубортового отсоса при разных соотношениях расходов отсасываемого воздуха и паровоздушной смеси над гальванической ванной

**Выводы.** На основе метода граничных интегральных уравнений разработана математическая модель течения вблизи местных отсосов от гальванических ванн при их механическом экранировании. Для повышения эффективности бортового отсоса от гальванической ванны необходима установка механического экрана высотой равной ширине ванны, а для двубортового отсоса – высотой равной 0,4 ширины ванны. Полученные результаты будут полезны при проектировании систем местной вытяжной вентиляции от гальванических ванн.

*\*Исследования выполнены по гранту РФФИ №16-08-00074а*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий. М.: Машиностроение, 1989. 152 с.
2. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник в 2-х томах. Том 1. Под ред. М.А. Шлугера. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
3. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник в 2-х томах. Том 2. Под ред. М.А. Шлугера и Л.Д. Тока. М.: Машиностроение, 1985. 248 с.
4. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции. М.: Стройиздат, 1963, 340 с.
5. Аверкова О.А., Крутикова Д.Н., Логачев И.Н., Логачев К.И., Уваров В.А. Математическое моделирование течения вблизи экранированного бортового отсоса // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №9. С. 96–102.
6. Аверкова О.А., Крутикова Д.Н., Логачев И.Н., Логачев К.И., Уваров В.А. Расчет течения в спектре действия бортового местного вентиляционного отсоса // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №10. С. 109–114.
7. Киреев В.М., Минко В.А. Разработка аспирационных укрытий и инженерной методики их расчета // Безопасность труда в промышленности. 2013. № 2. С. 42–46.
8. Минко В.А., Юров Ю.И., Овсянников Ю.Г. Нагнетатели в системах теплогазоснабжения и вентиляции // Международный журнал экспериментального образования. 2010. № 10. С. 86–87.
9. Маконин А.Л., Семенов А.С. Бункеры силосного типа // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 42–43.
10. Посохин В.Н. Аэродинамика вентиляции. М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. 212 с.

11. Бреббия К., Теллес Ж., Врробел Л. Методы граничных элементов. М.: Мир, 1987. 525 с.

12. Бреббия К., Уокер С. Применение метода граничных элементов к технике. М.: Мир, 1982. 248 с.

---

**Averkova O.A., Krutikova D.M., Logachev I.N., Logachev K.I., Uvarov V.A., Zaytsev O.N.**  
**ON THE QUESTION OF AIR TRAFFIC MODELING**  
**NEARBOARD SUCTION FROM THE GALVANIC BATH**

*The paper calculated the board extraction from the electroplating bath. Using the method of boundary integral equations built velocity profiles for different sizes of the mechanical screen. Displaying the screen effect on the spectrum of absorption. Found height mechanical screen, which eliminates the vapor space in the al-location to the electrolyte surface, reduces the amount of exhaust air, and reduces power consumption.*

**Key words:** local suction, the method of boundary integral equations, galvanic bath.

---

**Аверкова Ольга Александровна**, доктор технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: olga\_19572004@mail.ru

**Крутикова Дарья Михайловна**, магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Логачев Иван Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: logachevin@mail.ru

**Логачев Константин Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: kilogachev@mail.ru

**Уваров Валерий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: v\_a\_uvarov@mail.ru

**Зайцев Олег Николаевич**, доктор технических наук, профессор. Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского  
Россия, 95000, пр-кт Академика Вернадского, 4, Симферополь.  
E-mail: zon071941@mail.ru