

УДК 533.6:628.5

## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ АСПИРАЦИОННЫХ УКРЫТИЙ ЗА СЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ЩЕЛЕВЫХ НЕПЛОТНОСТЕЙ

Представлены результаты экспериментального исследования аэродинамического сопротивления щелевых неплотностей аспирационного укрытия. Предложены меры по снижению расхода воздуха, поступающего через неплотности за счет механического экранирования. Найдены размеры экранов, способствующих снижению производительности аспирационной системы.

**Ключевые слова:** аспирационное укрытие, перегрузки сыпучих материалов, снижение энергоемкости аспирационных систем.

### ВВЕДЕНИЕ

Аспирационные укрытия являются наиболее эффективным способом локализации пылегазовых выделений, но имеют высокую энергоемкость. В работе [1] рассматриваются способы снижения энергоемкости систем аспирации. Энергоемкость аспирационного укрытия можно понизить с помощью уменьшения объема воздуха, поступающего в укрытие вследствие эжекции воздуха потоком сыпучего материала, а также поступающего в укрытие через неплотности или технологические проемы. Метод снижения объема эжектируемого воздуха рассмотрен в статьях [2–6]. В работе [5] обсуждается метод уменьшения пылеуноса за счет использования закрученных потоков. Способы снижения объема воздуха, поступающего через неплотности, рассмотрены в статьях [7–15]. Были использованы различные методы математического моделирования, вычислительный и натурный эксперимент. Для снижения расхода всасываемого воздуха использовали прямолинейные механические экраны. Цель настоящей работы — экспериментальное исследование воздействия механических экранов, в том числе в виде уголков, на изменение аэродинамического сопротивления входа в щелевую неплотность аспирационного укрытия.

### АСПИРАЦИОННОЕ УКРЫТИЕ С НЕПЛОТНОСТЬЮ, ОБОРУДОВАННОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ КОЗЫРЬКОМ

Экспериментальная установка (рис. 1, а) представляет собой короб с подведенной к нему вы-

тяжкой. С торцевой стороны короба находится щель, ширина которой фиксирована. Для измерения давлений внутри укрытия выведены два штуцера: один для замера статического давления, второй, находящийся в трубе вытяжного

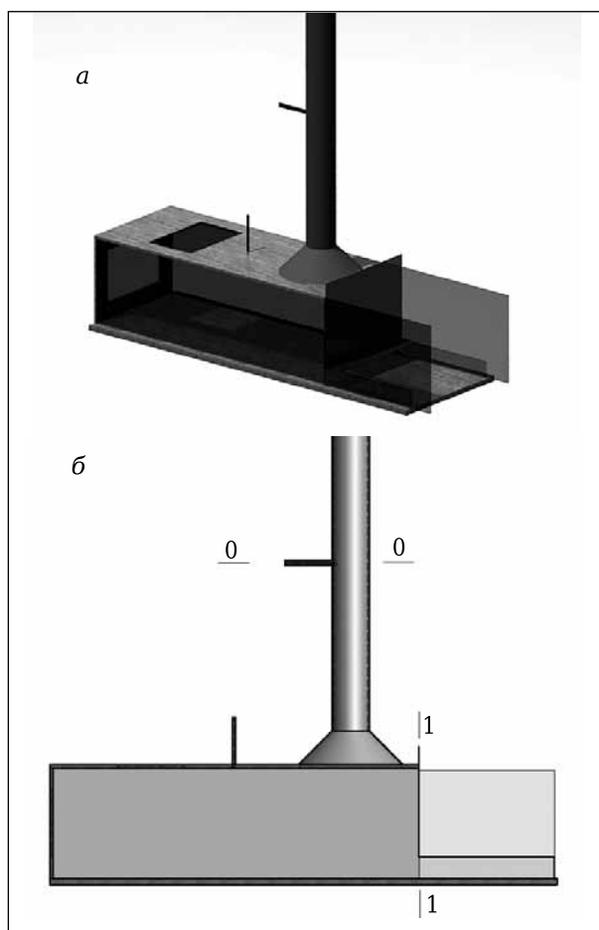


Рис. 1. Модель аспирационного укрытия: а — общий вид; б — вид сбоку



К. И. Логачёв  
E-mail: kilogachev@mail.ru

устройства, — для замера статического и динамического давлений. Стенки укрытия выполнены из прозрачного материала. Зона всасывания контролируется прозрачными стенками и по ширине равна ширине самого укрытия.

Коэффициент гидравлического сопротивления  $\zeta$  неплотности, оборудованной горизонтальным козырьком (рис. 2), определяли с помощью формулы (рис. 1, б) [16, 17]:

$$\zeta = \frac{F_0^2 (P_{at} - P_u)}{F_d^2 P_d} \quad (1)$$

где  $F_0$  — площадь потока воздуха в сечении 0–0, м<sup>2</sup>;  $F_1$  — площадь потока воздуха в сечении 1–1, м<sup>2</sup>;  $P_{at}$  — атмосферное давление, Па;  $P_u$  — среднее значение полного статического давления в укрытии, Па;  $P_d$  — динамический напор потока воздуха в сечении 0–0, Па.

В ходе опытов вначале исследовали влияние длины козырька на аэродинамическое сопротивление входа укрытия в виде прямоугольного щелевого отверстия (см. рис. 2). Скорость вращения вытяжного вентилятора постоянная. Длина козырька изменяется в пределах  $l = 0 \div 2,5$  калибра, 1 калибр — ширина прямоугольного отверстия входа укрытия (60 мм).

Козырек представляет собой сборную единицу, состоящую из тонких металлических пластин размерами 1×10×435 мм. Пластины присоединяют вплотную одна к другой таким образом, что с каждой новой прикрепленной пластиной длина козырька увеличивается на 10 мм, скрепляют пластины магнитной лентой. Козырек устанавливают вплотную к коробу укрытия. Подсосы воздуха, помимо поступающего через входное прямоугольное отверстие, отсутствуют либо крайне незначительны, и их воздействием можно пренебречь. Эксперимент повторяют 3 раза.

Замеряемые величины: динамическое давление в трубе  $P_d$ , мм сп. ст. (миллиметры спиртового столба); разность атмосферного давления и

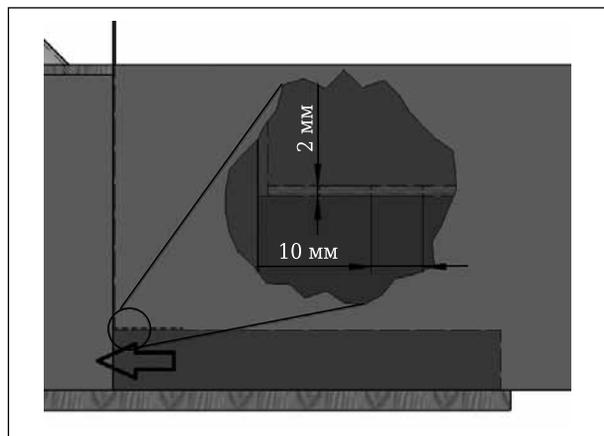


Рис. 2. Козырек над щелевой неплотностью укрытия, вид сбоку

статического давления разрежения в укрытии  $P_{at} - P_u$ , мм сп. ст.; температура среды  $t_{изм}$ , °С. Расчетные величины: скорость  $w_1$  потока воздуха в сечении 1–1, м/с (см. рис. 1, б), коэффициент местного сопротивления (к. м. с.) щелевой неплотности  $\zeta$ .

Динамическое давление в трубе измеряли при помощи спиртового микроманометра типа ММН-2400 с вращающейся измерительной трубкой. Разность атмосферного давления и статического давления разрежения в укрытии  $P_{at} - P_u$  измеряли спиртовым микроманометром с наклонной измерительной трубкой, угол наклона которой к горизонтали 5°, длина измерительной трубки достигает 1 м. Данный прибор градуируется в соответствии со шкалой ММН-2400. Большая длина трубки и небольшой угол наклона позволяют измерить колебания давлений, которые невозможно уловить с помощью микроманометра ММН-2400. Температуру измеряли спиртовым термометром с пределом измерений от -50 до +50 °С.

Скорость потока воздуха в сечении 1–1 (см. рис. 1, б) рассчитывали следующим образом:

$$w_1 = w_0 \frac{F_0}{F_1} = \frac{F_0}{F_1} \sqrt{2P_d/\rho}$$

где  $w_1$  — скорость воздушного потока в сечении 1–1, м/с;  $w_0$  — скорость воздушного потока в сечении 0–0, м/с;  $\rho$  — плотность окружающего воздуха, кг/м<sup>3</sup>, при температуре  $t_{изм}$ , °С;  $P_d$  — динамическое давление в трубе, Па.

Результаты трех экспериментов представлены на рис. 3. Показана зависимость величины  $\delta$ , %, отклонения к. м. с. неплотности с козырьком  $\zeta_1$  от к. м. с. без него  $\zeta_0$  от длины козырька  $l$ ;

$$\delta = \frac{\zeta_1 - \zeta_0}{\zeta_0} \cdot 100. \quad (2)$$

Наибольший эффект дает козырек длиной 0,5–0,7 калибра. К. м. с. щелевой неплотности увеличивается более чем на 28 %. Это коррелируется с результатами, полученными в трудах [7, 10]. Основополагающее действие на увеличение к. м. с. оказывает отрыв воздушного потока (рис. 4).

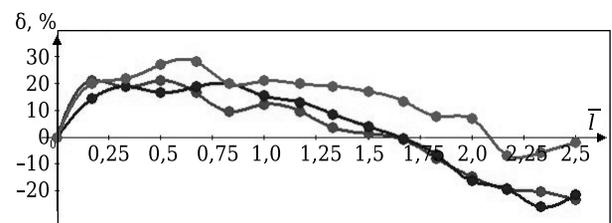


Рис. 3. Изменение величины  $\delta$  в зависимости от  $\bar{l} = l/B$  для щелевой неплотности, экранированной горизонтальным козырьком

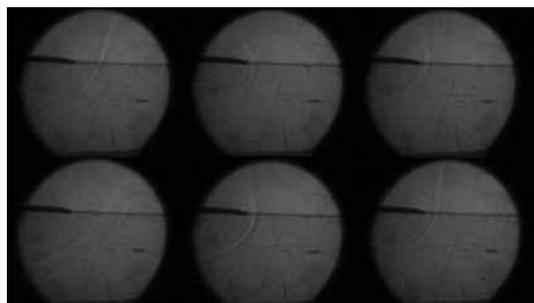


Рис. 4. Снимки эффекта отрыва потока воздуха с края козырька, полученные при помощи шлирен-метода

**АСПИРАЦИОННОЕ УКРЫТИЕ СО ЩЕЛЕВОЙ НЕПЛОТНОСТЬЮ, ОБОРУДОВАННОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ КОЗЫРЬКОМ И ТОНКОЙ ПЛАСТИНОЙ**

Рассмотрим щелевую неплотность с горизонтальным козырьком постоянной длины 0,67 калибра и механическим экраном в виде прямоугольной пластины шириной 1,4 калибра, который установлен на направляющие после козырька, передвижение его осуществляется также по направляющим. Исследованы четыре принципиальных положения механического экрана в пространстве (рис. 5) и удаления его  $\bar{r} = r / B$  от щелевой неплотности.

Результаты эксперимента представлены в виде изменения величины отклонения  $\delta$ , % в зависимости от расстояния  $\bar{r}$ , калибр (рис. 6):

$$\delta = \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{\zeta_1} \cdot 100,$$

где  $\zeta_2$  — к. м. с. неплотности с козырьком и пластиной;  $\zeta_1$  — к. м. с. с козырьком, но без пластины. Увеличение  $\zeta_2$  относительно  $\zeta_1$  примерно на 10 % наблюдается для схемы 3 при удалении пластины на расстояние  $\bar{r} = 1,0 \div 1,9$  калибра, а для схемы 4 при  $\bar{r} = 0,8 \div 1,8$  калибра. Наибольшее значение  $\delta \approx 14$  % достигается при расположении пластины по схеме 4 при  $\bar{r} = 1,2 \div 1,35$  калибра. Заметим, что наибольшее снижение к. м. с. плотности  $\zeta_2$  (более чем на 50 %) имеет при расположении пластины по схеме 2 при  $\bar{r} = 0,67$  калибра.

**АСПИРАЦИОННОЕ УКРЫТИЕ СО ЩЕЛЕВОЙ НЕПЛОТНОСТЬЮ, ОБОРУДОВАННОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ КОЗЫРЬКОМ И УГЛОВЫМ ЭКРАНОМ**

В серии экспериментов исследовали влияние механического экрана в виде прямого двугранного уголка и его положения в пространстве относительно всасывающего щелевидного отверстия (рис. 7) на аэродинамическое сопротивление входа в неплотность укрытия.

Горизонтальный козырек имел постоянную длину 0,42 калибра. Исследовали два аэродинамических экрана в виде прямого двугранного уголка

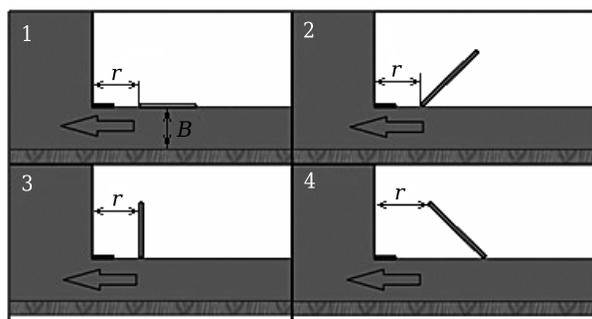


Рис. 5. Схемы 1–4 расположения плоской пластины

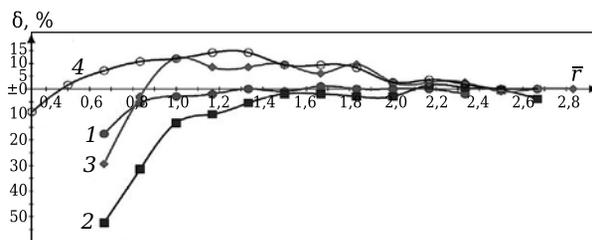


Рис. 6. Изменение величины  $\delta$  в зависимости от  $\bar{r} = r / B$ ; схемы расположения плоской пластины указаны на кривых

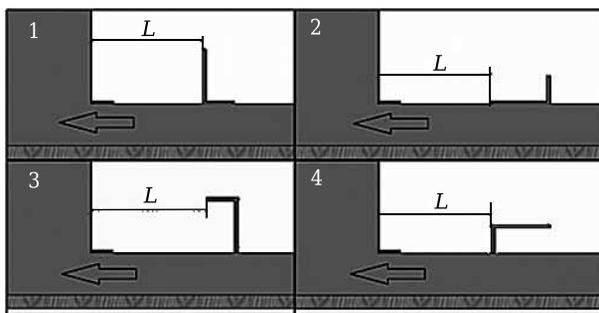


Рис. 7. Схемы (1–4) расположения двугранного уголка

со сторонами размерами 0,83×0,67 и 1,4×0,67 калибра. Величину  $\delta$  определяли аналогично тому, как в опытах с аспирационным укрытием со щелевой неплотностью, оборудованной горизонтальным козырьком и тонкой пластиной (рис. 8).

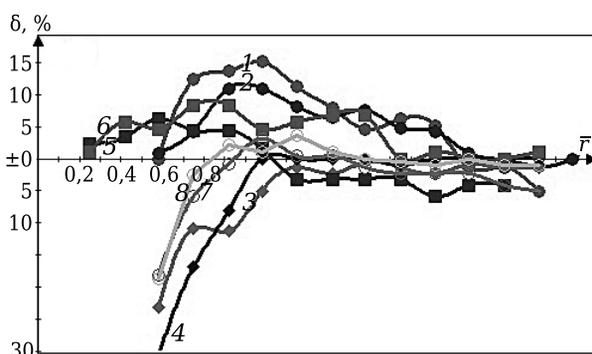


Рис. 8. Изменение величины  $\delta$  в зависимости от  $\bar{r} = L / B$ : 1, 3, 5, 7 — уголок размерами 0,83 × 0,67; 2, 4, 6, 8 — уголок размерами 1,4 × 0,67; 1, 2 — схема 1; 3, 4 — схема 2; 5, 6 — схема 3; 7, 8 — схема 4

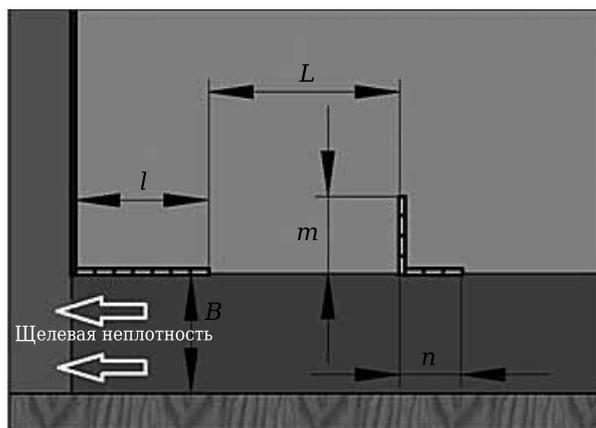
Схема 1 наиболее благоприятствует повышению к. м. с. щелевой неплотности при  $\bar{r} = 0,9 \div 1,2$  калибра. Наибольшее значение  $\delta \approx 15\%$  наблюдается при  $\bar{r} = 1,08$  калибра.

**СЕРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ  
РАЗМЕРОВ ДВУГРАННОГО УГОЛКА**

Была проведена серия экспериментов, в которой длина горизонтального козырька равна 1 калибру, механический экран в виде прямого двугранного уголка представляет собой сборную единицу, состоящую из длинных металлических пластин размерами  $1 \times 10 \times 435$  мм, плотно прилегающих одна к другой и скрепленных магнитной лентой. Механический экран в виде прямого двугранного уголка (рис. 9) имеет два измерения:  $m$  — длина вертикальной стороны уголка,  $n$  — длина горизонтальной стороны. Подбор оптимальных длин сторон осуществляется в интервале  $0,17-1$  калибр. Перемещение и оценка удаления механического экрана от щелевой неплотности осуществляются так же, как и в предыдущей серии опытов.

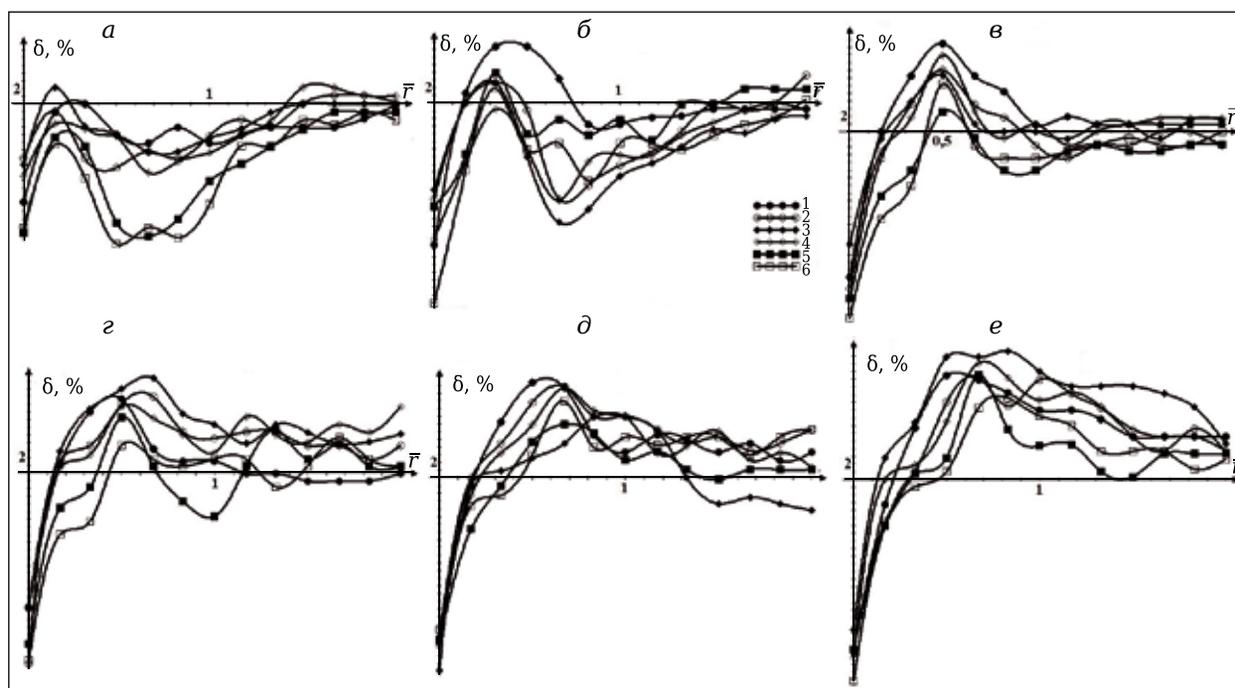
Отклонение  $\delta$  определяли по формуле (2), где  $\zeta_2$  — к. м. с. неплотности, оборудованной горизонтальным козырьком и уголком;  $\zeta_1$  — к. м. с. неплотности, оборудованной только горизонтальным козырьком.

На рис. 10 изображена зависимость величины  $\delta$  от расстояния до горизонтального козырька  $\bar{r} = L / B$ . Кривые 1–6 соответствуют величинам длины горизонтальной части уголка  $n/B$ , равной  $1/6, 1/3, 1/2, 2/3, 5/6$  и 1.



**Рис. 9.** Щелевая неплотность аспирационного укрытия, снабженная горизонтальным козырьком и уголком

При  $m/B = 1/6, n/B = 1/6 - 1$  (см. рис. 10, а) снабжение щелевой неплотности с горизонтальным козырьком и экраном в виде уголка не способствует повышению к. м. с., а, напротив, снижает его. Исключение составляют экспериментальные замеры при  $n/B = 1/2$  и  $\bar{r} = 0,17$  калибра (см. рис. 10, а, кривая 3) и при  $\bar{r} > 1,5$  калибра (см. рис. 10, а, кривые 2 и 4). Увеличение к. м. с. в этом случае достигает 2%. При увеличении размеров уголка  $\delta$  изменяется более существенно. Максимальное увеличение  $\delta$  достигает: 7% при  $m/B = 1/3, n/B = 1/6$  в диапазоне  $\bar{r} = 0,3 \div 0,5$  калибра (см. рис. 10, б, кривая 1); 11% при  $m/B = 1/2, n/B = 1/6, \bar{r} = 0,5$  калибра (см. рис. 10, в, кривая 1); 12% при  $m/B = 2/3, n/B = 1/2, \bar{r} = 0,7$  калибра (см. рис. 10, г, кривая 3); 12% при  $m/B = 5/6, n/B = 1/6$  в диапазоне  $\bar{r} = 0,5 \div 0,7$  калибра (см. рис. 10, д, кривая 1); 12% при



**Рис. 10.** Изменение величины  $\delta$  в зависимости от  $\bar{r} = L / B; m/B$ : а —  $1/6$ ; б —  $1/3$ ; в —  $1/2$ ; г —  $2/3$ ; д —  $5/6$ ; е — 1

$m/B = 1$ ,  $n/B = 1/6$  в диапазоне  $\bar{r} = 0,5 \div 0,7$  калибра (см. рис. 10, е, кривая 1); 16 % при  $m/B = 1$ ,  $n/B = 1/2$  в диапазоне  $\bar{r} = 0,5 \div 0,9$  калибра (см. рис. 10, е, кривая 3).

Таким образом, при снабжении щелевой неплотности с горизонтальным козырьком экраном в виде уголка высотой 1 калибр и шириной 0,5 калибра на расстоянии до козырька в диапазоне 0,5–1 калибр к. м. с. увеличится на величину более 16,6 %.

В инженерной практике соотношение для расхода воздуха, поступающего в укрытия через неплотности, имеет вид

$$G = S \sqrt{\frac{2p\rho_0}{\zeta}}, \quad (3)$$

где  $S$  — площадь неплотностей укрытия, м<sup>2</sup>;  $p$  — разрежение, поддерживаемое в укрытии, Па;  $\zeta$  — к. м. с. неплотности;  $\rho_0$  — плотность окружающей среды, кг/м<sup>3</sup>.

Поэтому величину отклонения  $\delta_G$ , %, расхода  $G_2$ , поступающего через неплотность, оборудованную экранами, от расхода  $G_1$ , поступающего в неплотность без экранов, рассчитывают по формуле

$$\delta_G = \frac{G_2 - G_1}{G_1} \cdot 100 = \left( \sqrt{\frac{1}{0,016 + 1}} - 1 \right) \cdot 100. \quad (4)$$

Как показали эксперименты, при оборудовании неплотности горизонтальным козырьком и угловым экраном найденная максимальная величина отклонения  $\delta \approx 45$  %, расход воздуха через неплотность снижается на  $\delta_G \approx 17$  %.

При использовании решетки козырьков из тех же металлических пластин размерами  $1 \times 10 \times 435$  мм общей длиной 0,7 калибра, наклоненных под углом 45°, расстояние между которыми 0,117 калибра (рис. 11), к. м. с. входа в неплотность составит  $\zeta_2 = 1,82$ ,  $\zeta_0 = 1,24$ . Тогда  $\delta \approx 47$  %,  $\delta_G \approx 18$  %.

### Библиографический список

1. **Логачёв, И. Н.** Способы и средства снижения энергоёмкости аспирационных систем при перегрузках сыпучих материалов / *И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова* // Новые огнеупоры. — 2013. — № 6. — С. 66–70.

**Logachev, I. N.** Methods and Means of Reducing the Power Requirements of Ventilation Systems in the Transfer of Free-Flowing Materials / *I. N. Logachev, K. I. Logachev, O. A. Averkova* // Refractories and Industrial Ceramics. — 2013. — Vol. 54, № 3. — P. 258–262.

2. **Логачёв, И. Н.** Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 1. Вывод гидродинамических уравнений эжекции воздуха потоком сыпучего материала в перфорированном желобе с байпасной камерой / *И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова* [и др.] // Новые огнеупоры. — 2014. — № 2. — С. 51–56.

**Logachev, I. N.** Methods of Reducing the Power Requirements of Ventilation Systems. Part 1. Derivation of Hydrodynamic Equations of Air Ejection by a Stream of Free-Flowing Material in a Perforated Trough with Bypass Chamber / *I. N. Logachev, K. I. Logachev,*

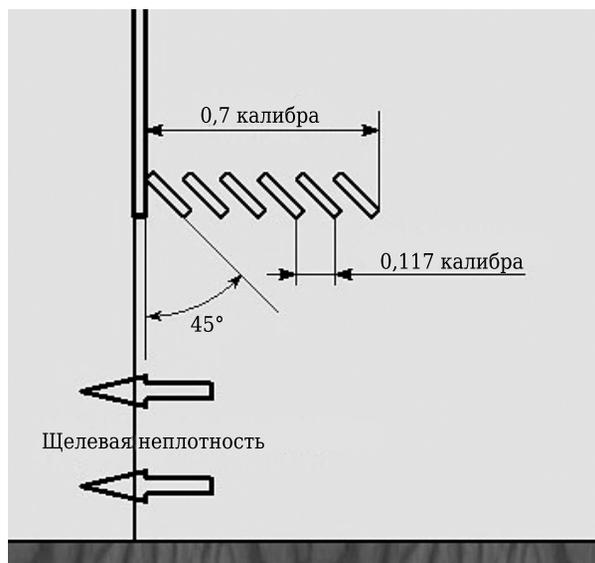


Рис. 11. Решетка козырьков

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На разработанной экспериментальной установке аспирационного укрытия со щелевой неплотностью проведены экспериментальные исследования влияния горизонтальных, вертикальных, двугранных непроницаемых пластин (козырьков) на к. м. с. входа в щелевую неплотность. Показано, что оборудование щелевой неплотности горизонтальным козырьком длиной 0,5–0,7 калибра и уголком высотой 1 калибр и шириной 0,5 калибра на расстоянии до козырька в диапазоне 0,5–1 калибр позволяет снизить расход воздуха более чем на 17 %.

\* \* \*

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №14-41-08005р\_офи\_м) и совета по грантам Президента Российской Федерации (проект МК-103.2014.1).*

*O. A. Averkova [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 55, № 1. — P. 70–76.*

3. **Логачёв, И. Н.** Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 2. Определение эффективности использования рециркуляционных течений / *И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова* // Новые огнеупоры. — 2014. — № 4. — С. 60–64.

**Logachev, I. N.** Methods of Reducing the Power Requirements of Ventilation Systems. Part 2. Determining the Efficiency of Recirculating Flows / *I. N. Logachev, K. I. Logachev, O. A. Averkova* // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 55, № 2. — P. 164–168.

4. **Логачёв, И. Н.** Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 3. Расчет погрузочного устройства и предложения по его совершенствованию / *И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова* // Новые огнеупоры. — 2014. — № 6. — С. 57–61.

**Logachev, I. N.** Methods of Reducing the Power Requirements of Ventilation Systems. Part 3. Design of

Loading Device and Suggestions for its Improvement / *I. N. Logachev, K. I. Logachev, O. A. Averkova* // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2014. — Vol. 55, № 3. — P. 255–260.

5. **Логачёв, И. Н.** Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 4. Теоретические предпосылки создания пылелокализирующих устройств с закрученными воздушными потоками / *И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова* [и др.] // *Новые огнеупоры*. — 2014. — № 8. — С. 53–58.

**Logachev, I. N.** Methods of Reducing the Power Requirements of Ventilation Systems. Part 4. Theoretical Prerequisites for the Creation of Dust Localizing Devices with Swirling Air Flows / *I. N. Logachev, K. I. Logachev, O. A. Averkova* [et al.] // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2014. — Vol. 55, № 4. — P. 365–370.

6. **Logachev, I. N.** Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions / *I. N. Logachev, K. I. Logachev*. — Boca Raton : CRC Press, 2014. — 417 p.

7. **Аверкова, О. А.** Численное моделирование воздушных течений на входе в щелевые неплотности аспирационных укрытий / *О. А. Аверкова, В. Ю. Зоря, И. Н. Логачёв* [и др.] // *Новые огнеупоры*. — 2010. — № 5. — С. 31–36.

**Averkova, O. A.** Numerical simulation of air currents at the inlet to slot leaks of ventilation shelters / *O. A. Averkova, V. Yu. Zorya, I. N. Logachev* [et al.] // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2010. — Vol. 51, № 3. — P. 177–182.

8. **Аверкова, О. А.** Моделирование отрыва потока на входе в щелевые неплотности аспирационных укрытий / *О. А. Аверкова, И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв* // *Новые огнеупоры*. — 2012. — № 10. — С. 56–60.

9. **Аверкова, О. А.** Моделирование отрывных потоков на входе в круглые всасывающие каналы с кольцевыми экранами / *О. А. Аверкова, И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв* [и др.] // *Новые огнеупоры*. — 2013. — № 10. — С. 57–61.

**Averkova, O. A.** Modeling Detached Flows at the Inlet to Round Suction Flues With Annular Screens / *O. A. Averkova, I. N. Logachev, K. I. Logachev* [et al.] // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2014. — Vol. 54, № 5. — P. 425–429.

10. **Логачёв, И. Н.** Моделирование отрывных течений вблизи всасывающей щели / *И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, В. Ю. Зоря* [и др.] // *Вычислительные методы и программирование*. — 2010. — Т. 11, № 1. — С. 43–52.

11. **Логачёв, И. Н.** Математическое моделирование отрывных течений при входе в экранированный плоский канал / *И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова* // *Вычислительные методы и программирование*. — 2010. — Т. 11, № 1. — С. 68–77.

12. **Логачёв, И. Н.** Математическое моделирование струйного течения воздуха при входе в плоский канал с козырьком и непроницаемым экраном / *И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова* // *Вычислительные методы и программирование*. — 2010. — Том 11, № 2. — С. 160–167.

13. **Аверкова, О. А.** Моделирование потенциальных течений с неизвестными границами на основе стационарных дискретных вихрей / *О. А. Аверкова, И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв* // *Вычислительные методы и программирование*. — 2011. — Т. 12, № 2. — С. 213–219.

14. **Аверкова, О. А.** Моделирование отрыва потока на входе во всасывающие каналы в областях с разрезами / *О. А. Аверкова, И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв* // *Вычислительные методы и программирование*. — 2012. — Т. 13, № 2. — С. 298–306.

15. **Аверкова, О. А.** Закономерности отрывного течения при входе в выступающий канал с экранами / *О. А. Аверкова, И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв* [и др.] // *Ученые записки ЦАГИ*. — 2013. — Т. 44, № 2. — С. 33–49.

**Averkova, O. A.** The principles of separated flow at the inlet of the protruding duct with screens / *O. A. Averkova, I. N. Logachev, K. I. Logachev* [et al.] // *TsAGI Sci. J.* — 2013. — Issue 2. — P. 219–243.

16. **Идельчик И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям ; 3-е изд. / *И. Е. Идельчик*. — М. : Машиностроение, 1992. — 672 с.

17. **Велецкий, Р. К.** Измерение параметров пылегазовых потоков в черной металлургии / *Р. К. Велецкий, Н. Н. Григина*. — М. : Металлургия, 1979. — 77 с. ■

Получено 15.01.15

© *К. И. Логачёв, И. В. Ходаков, О. А. Аверкова, 2015 г.*

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



**Ceramic 2015**  
Technologies · Innovations · Materials  
October 20 – 23 · Messe München  
ceramic.de

Messe München International

**Ceramic 2015 — Технологии, Инновации, Материалы**

20–23 октября 2015 г.

г. Мюнхен, Германия

<http://www.ceramic.de/en/home>