

*Крюков И.В., аспирант,  
Уваров В.А., д-р техн. наук, проф.,  
Логачев И.Н., д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА В ПЕРФОРИРОВАННОМ ЖЕЛОБЕ С БАЙПАСНОЙ КАМЕРОЙ, НАХОДЯЩИМСЯ ПОД ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ\*

*iliya.krukov@yandex.ru*

*Проводятся экспериментальные исследования влияния процесса рециркуляции воздуха в байпасной камере, оборудованной загрузочным желобом с перфорированной стенкой, на снижение количества удаляемого воздуха. Экспериментальные замеры величины скорости удаляемого воздуха проводились на разработанном стенде. Исследовалось влияние перфорации, расположенной в области избыточного давления загрузочного желоба, на количество удаляемого воздуха.*

***Ключевые слова:** аспирация, перегрузка сыпучих материалов, эжекция воздуха, аспирационное укрытие, рециркуляция воздуха, байпасная камера, перфорированный желоб.*

### **Введение.**

На предприятиях, где присутствуют перегрузки или выгрузки сыпучего материала с конвейера на конвейер по закрытым желобам, для локализации мест пылевыведения используются различного рода укрытия с местными отсосами [1–2]. В результате формирования направленного воздушного потока за счет динамического взаимодействия частиц падающего материала с воздухом может происходить выбивание пыли в рабочую зону помещения. Этот процесс формирования воздушного потока называется эжекцией воздуха. За счет действия эжекции в полости аспирационного укрытия образуются зоны избыточного давления, которые и способствуют выбиванию запыленного воздуха. Для устранения выбивания пыли местный отсос создает в полости укрытия разряжение, которое должно быть больше или равным давлению, создаваемым эжектируемым потоком воздуха. С ростом объемов перегружаемого материала увеличиваются и объемы эжектируемого воздуха, что в свою очередь ведет к затратам на работу вытяжного оборудования.

Научный и практический интерес представляет решение вопроса связанное со снижением количества эжектируемого воздуха минимальными затратами [3–11], что в свою очередь делает укрытие более энергоэффективным и экономичным. Для решения данной проблемы предлагается использовать конструкцию укрытия с возможностью организации замкнутой рециркуляции воздуха.

В виду сложности, а иногда и невозможности проведения эксперимента с реальными перегрузками сыпучего материала, использование имитационного моделирования представляет собой значительный интерес. Целью данной работы является исследование влияния перфора-

ции загрузочной трубы с байпасной камерой на эжекцию воздуха.

### **Описание экспериментальной установки**

Экспериментальная установка состоит из нижнего короба, верхнего короба, загрузочной трубы  $\varnothing 100$  мм, цилиндрической байпасной камеры  $\varnothing 200$  мм, осевого вентилятора, вытяжного патрубка (рис. 1, 2). Внутри нижнего короба находится вертикальная перегородка, разделяющая его полость на приемную (правая) и аспирируемую (левая) части. Загрузочная труба соединена с нижним коробом посредством шпильки, которая проходит через боковую и разделяющую стенки приемной части, загрузочную трубу и перегородку на расстоянии 0,02 м от верхней крышки нижнего короба. Байпасная камера опирается на эту шпильку. В верхней части через загрузочную трубу и байпасную камеру проходит еще одна шпилька, которая не дает загрузочной трубе падать и при этом соосно удерживает загрузочную трубу и байпасную камеру. Верхний короб имеет отверстие в виде окружности, которое равно диаметру байпасной камеры. Он ставится на байпасную камеру, тем самым гидравлически соединяя верхний короб с нижним коробом. Верхний короб имеет небольшое отверстие в боковой стенке для подсоса воздуха, чтобы обеспечить стабильную работу осевого вентилятора. При реальных условиях перегрузки желательнее исключить подсосы воздуха в верхнем укрытии, т.к. это приводит к увеличению объемов эжектируемого воздуха [12–13]. В загрузочной трубе на расстоянии 0,15 м от нижнего края установлен осевой вентилятор, который будет моделировать процесс эжекции воздуха. Такое расположение вентилятора подходит для реальных условий перегрузки сыпучего материала, т.к. при перегрузке по загрузочному желобу давление в его нижней части увеличивается. В аспирируемой части нижнего

короба на его крышке установлен вытяжной патрубок. Все неплотности на соединениях и по периметру заизолированы, чтобы уменьшить количество воздуха уходящего через них.

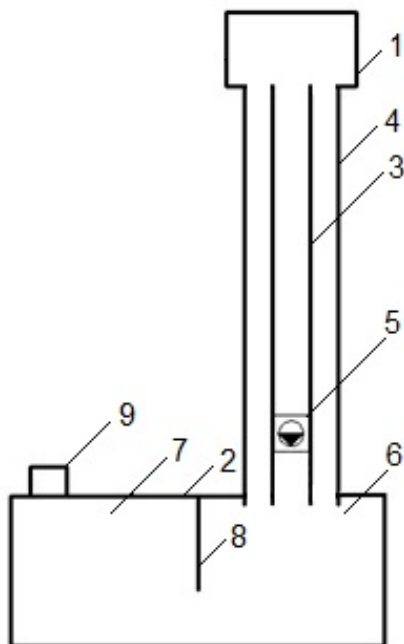


Рис. 1 Схема экспериментальной установки:  
1 – верхний короб, 2 – нижний короб, 3 – загрузочная труба, 4 – байпасная камера, 5 – осевой вентилятор, 6 – приемная часть, 7 – аспирируемая часть, 8 – вертикальная перегородка, 9 – вытяжной патрубок

Для того, чтобы определить эффективность от нанесения перфорации нами проводилось измерение скорости воздуха, удаляемого из нижнего короба через вытяжной патрубок. Предполагается, что если скорость удаляемого воздуха при нанесении отверстий и увеличении их количества будет уменьшаться, то расход воздуха, удаляемого из нижнего короба, будет также снижаться. На практике это позволит сделать систему аспирации более энергоэффективной, т.к. количество удаляемого из укрытия воздуха напрямую связано с затратами электроэнергии необходимой для работы вытяжного вентилятора. Выбранный диаметр байпасной камеры, согласно проведенным исследованиям [14], по отношению к диаметру загрузочной трубы является оптимальным для эффективного байпасирования.

#### Экспериментальные исследования и методика исследования

Вначале проводился натурный эксперимент, чтобы понять имеет ли смысл использовать перфорацию вообще. На загрузочную трубу в нижней части (область избыточного давления), непосредственно после нагнетателя, наносились отверстия диаметром 5 мм на одинаковом друг

от друга расстоянии по всей длине трубы в количестве 35 шт. (7 рядов по 5 шт.). В первом случае верхняя и нижняя часть байпасной камеры полностью перекрывалась, а во втором – перекрывалась лишь нижняя часть байпасной камеры. Установка (рис. 2а, 2б) включалась, а затем производилось задымление полости байпасной камеры через отверстие в наружной стенке байпаса. Нанесение перфорации в зоне разряжения при данном условии работы установки (при перекрывании байпасной камеры) не имеет смысла, т.к. в полости байпасной камеры в этом случае будет область разряжения и воздух двигаться в ней не будет из-за отсутствия торцевого перетекания.



Рис. 2 Фото экспериментальной установки

Для первого случая результаты были следующие: дым выдувался из отверстия в окружающее пространство комнаты (рис.3). Это говорило о том, что воздух из отверстий в загрузочной трубе поступает в байпасную камеру, заполняя собой изолированное пространство тем самым увеличивая давление в полости байпасной камеры.

Во втором случае дым поднимался вверх и его выдувание в окружающее пространство не наблюдалось. Так как в верхней части байпасной камеры и верхнем коробе разряжение, то дым, а вместе с ним и воздух движутся в эту область (рис. 4). Помимо задымления производились замеры скорости воздуха в сечении вытяж-

ногопатрубка. Замеры проводились для случая (рис. 2б).  
 перекрытия нижней части байпасной камеры

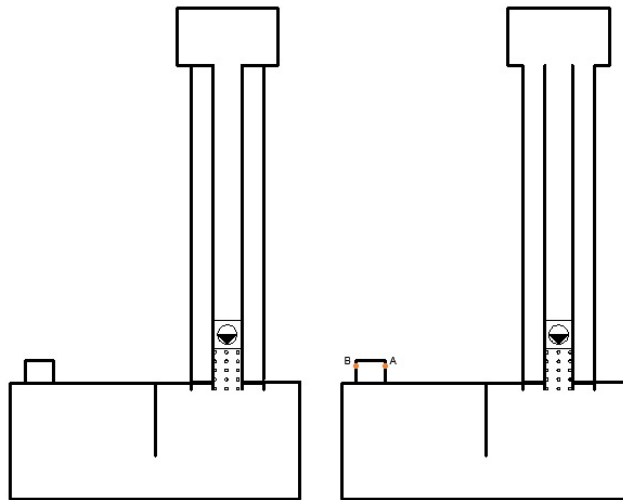


Рис. 2. Схемы экспериментальной установки: а) при полном перекрытии байпасной камеры; б) при частичном перекрытии байпасной камеры



Рис. 3. Задымление установки при полном перекрытии байпасной камеры



Рис. 4. Задымление установки при перекрытии байпасной камеры в нижней части

Замеры делались в сечении вытяжного отверстия в 2-х точках А и В при помощи термоанемометра Testo 425. Измерения в каждой точке производилось по 5 раз для точности получения данных. Полученные значения скоростей в точке А и в точке В (по 5 значений) усреднялись  $v_{уср}^A$  и  $v_{уср}^B$ , а затем находилось среднее значение

скорости в сечении  $v = \frac{v_{уср}^A + v_{уср}^B}{2}$ . Эксперимент повторяли 3 раза. После этого по результатам 3

экспериментов считалось среднее значение скорости в сечении  $v_{cp}$ . Торцевые перетекания отсутствуют, т.е. байпасная камера перекрыта.

Для определения того насколько снижает объем эжектируемого воздуха перфорация определим количество воздуха удаляемого из укрытия при отсутствии перфорации, что соответствует классической перегрузке сыпучего материала. Полученные результаты указаны в таблице 1.

Таблица 1

### Значения скорости и расхода воздуха удаляемого из укрытия при классической перегрузке

Замер 1			Замер 2			Замер 3			Среднее значение скорости воздуха в сечении $v_{cp}$ , м/с	Расход воздуха в сечении $Q_{уд}$ , м <sup>3</sup> /ч
$v_{уср}^A$	$v_{уср}^B$	$v_1$	$v_{уср}^A$	$v_{уср}^B$	$v_2$	$v_{уср}^A$	$v_{уср}^B$	$v_3$		
1,07	1,08	1,078	1,042	1,06	1,051	0,992	1,014	1,003	1–1,1	28–31

Значения скоростей воздуха в вытяжном сечении при наличии перфорации показано в таблице 2.

Таблица 2

### Значения скорости и расхода воздуха удаляемого из укрытия при отсутствии байпасной камеры и наличии перфорации

Замер 1			Замер 2			Замер 3			Среднее значение скорости воздуха в сечении $v_{cp}$ , м/с	Расход воздуха в сечении $Q_{уд}$ , м <sup>3</sup> /ч
$v_{уср}^A$	$v_{уср}^B$	$v_1$	$v_{уср}^A$	$v_{уср}^B$	$v_2$	$v_{уср}^A$	$v_{уср}^B$	$v_3$		
0,828	0,872	0,85	0,84	0,876	0,858	0,856	0,872	0,864	0,85–0,86	24

Эффективность перфорации  $\delta$  будем находить из соотношения  $\delta = \left( \frac{v_{cp}^{\delta} - v_{cp}^c}{v_{cp}^{\delta}} \right) \cdot 100\%$ , где

$v_{cp}^{\delta}$  – среднее значение скорости в сечении при отсутствии перфорации,  $v_{cp}^c$  – среднее значение скорости при наличии перфорации. В данном случае при наличии такого количества отверстий расход удаляемого воздуха снижается почти на 20 %.

**Выводы.** Исходя из результатов эксперимента по исследования процесса рециркуляции воздуха в перфорированном желобе с байпасной камерой можно сделать следующие заключения: 1) увеличение количества отверстий по длине загрузочной трубы в области избыточного давления приведет к уменьшения количества воздуха поступающего в укрытие в среднем на 20%; 2) увеличения разряжения в верхнем коробе позволит увеличить количество рециркулируемого воздуха, однако, необходимо наличие герметизирующих уплотнений на неплотностях верхнего короба, чтобы снизить подсос воздуха из помещения.

\*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект №14-41-08005р\_офи\_м)

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. СПб.: Изд. Химиздат, 2005. 659 с.
2. Logachev I.N., Logachev K.I., Industrial Air Quality and Ventilation Controlling Dust Emissions. CRC Press, Boca Raton, London, New York, 2014, 401 p.
3. Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И. Эжекция воздуха потоком сыпучего материала в пористой вертикальной трубе с байпасной цилиндрической камерой // Инженерно-физический журнал. 2015. Т. 88. № 4. С. 813–826.
4. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 1. Закономерности изменения эжеционного напора в желобах // Известия вузов. Строительство. 2013. №9. С. 53–63.

5. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 2. Эжектирующие свойства ленточного ковшового элеватора // Известия вузов. Строительство. 2013. №10. С. 38–47.

6. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 3. Обсуждение результатов исследований // Известия вузов. Строительство. 2014. №1. С. 66–74.

7. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И. Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. Сообщение 1. Особенности расчетной схемы аспирации элеваторных перегрузок // Известия вузов. Строительство. 2014. №2. С.46–56.

8. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И. Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. Сообщение 2. Снижение объемов аспирации // Известия вузов. Строительство. 2014. №3. С.42–51.

9. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И. Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. Со-

общение 3. Результаты расчетов и их обсуждение // Известия вузов. Строительство. 2014. №4. С. 86–98.

10. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Крюков И.В. Особенности рециркуляции воздуха в перегрузочном желобе с комбинированной байпасной камерой. Сообщение 1. Основные уравнения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 4. С. 62–71.

11. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Крюков И.В. Особенности рециркуляции воздуха в перегрузочном желобе с комбинированной байпасной камерой. Сообщение 2. Решение уравнений и результаты расчета // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 5. С. 54–62.

12. Логачёв И.Н., Логачёв К.И., Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации. Теоретические предпосылки и рекомендации. Москва–Ижевск: РХД, 2013. 504 с

13. Logachev Ivan, Logachev Konstantin, Averkova Olga Local Exhaust Ventilation. Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. CRC Press, Boca Raton, London, New York, 2015, 549 p.

14. Логачев К.И., Крюков И.В., Аверкова О.А. Моделирование воздушных потоков в аспирационном укрытии с рециркуляцией // Новые огнеупоры. 2015. № 8. С. 57–62.

---

**Kryukov I.V., Uvarov V.A., Logachev I.N.**

**STUDY OF RECYCLING AIR PERFORATED TROUGH WITH BYPASS CHAMBER UNDER OVERPRESSURE**

*Conducted experimental studies of the effect of air recirculation process in the bypass chamber, a loading chute equipped with a perforated wall, to reduce the amount of exhaust air. Experimental measurements of the value of the exhaust air speed were made on designed stand. The influence of the perforation located in the loading chute over pressure, the number of exhaust air.*

**Key words:** aspiration, handling of bulk materials, air ejection, suction cover, air recirculation, bypass chamber, a perforated trough.

---

**Крюков Илья Валерьевич**, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

E-mail: iliya.kryukov@yandex.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.

**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.