

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

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МИНИМИЗАЦИИ ОБЪЕМОВ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЕРФОРИРОВАННОГО ЖЕЛОБА С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ БАЙПАСНОЙ КАМЕРОЙ\*

[iliya.krukov@yandex.ru](mailto:iliya.krukov@yandex.ru)

*Проводятся экспериментальные исследования по снижению объемов удаляемого воздуха за счет использования замкнутой рециркуляции воздуха в байпасной камере, оборудованной загрузочным желобом с перфорированной стенкой. Экспериментальные замеры величины скорости удаляемого воздуха проводились на разработанном стенде. Исследовалось влияние цилиндрической байпасной камеры и перфорированного желоба при их совместном использовании на количество удаляемого воздуха.*

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

### **Введение**

Минимизация пылевыведений в узлах перегрузки ленточных конвейеров в первую очередь необходима для обеспечения безопасности рабочих на местах, а также для снижения потерь перегружаемого материала и пылевой нагрузки на очистное оборудование. Для борьбы с пылевыведением довольно эффективно справляются системы аспирации, в частности укрытия с местными отсосами, которые ограждают место образования пыли. Отсос воздуха необходим для удаления взвешенной пыли и для создания в полости укрытия разряжения, которое препятствует выбиванию пыли из укрытия через неплотности. Выбивание пыли происходит в результате эжекции воздуха – динамического взаимодействия падающего материала с воздухом и образованием направленного воздушного потока, которое ведет к увеличению избыточного давления в полости укрытия. Для эффективной нейтрализации избыточного давления необходимо, чтобы местный отсос создавал разряжение равное или больше значения избыточного давления, что в свою очередь может привести к удалению значительного количества воздуха из укрытия. Удаление больших объемов эжектируемого воздуха приводит к высоким затратам на эксплуатацию вытяжного оборудования, а с ростом объемов перегрузки эти затраты могут быть существенны.

Для снижения объемов удаляемого из укрытия воздуха предлагается использовать конструкцию укрытия с возможностью рециркуляции эжектируемого воздуха, поступающего в нижнее укрытие. Это позволит сделать укрытие более экономичным по затратам и достаточно эффективным для борьбы с эжекцией воздуха.

Ввиду сложности проведения экспериментов по перегрузке сыпучего материала в условиях максимально приближенных к реальным использование имитационного моделирования представляет научный и практический интерес. Целью данной работы является исследование снижения количества удаляемого воздуха при комбинированном использовании цилиндрической байпасной камеры и перфорированного желоба.

### **Описание экспериментальной установки**

Установка для проводимых исследований состоит из нижнего короба и верхнего короба, гидравлически соединенных посредством загрузочной трубы  $\varnothing 100$  мм и цилиндрической байпасной камеры  $\varnothing 200$  мм, осевого вентилятора производительностью  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ , расположенного внутри загрузочной трубы на расстоянии 150 мм от нижнего края, вытяжного патрубка (Рис. 1). Загрузочная труба закреплена в нижней части посредством шпильки, проходящей через боковую стенку нижнего короба, загрузочную трубу и вертикальную перегородку на расстоянии 20 мм от верхней крышки нижнего короба. Байпасная камера опирается на шпильку. Вертикальная перегородка разделяет нижний короб на приемную камеру и аспирируемую камеру. В верхней части через загрузочную трубу и байпасную камеру тоже проходит шпилька, удерживающая загрузочную трубу соосно с цилиндрической байпасной камерой. Нижняя стенка верхнего короба имеет отверстие, равное диаметру байпасной камеры. Короб ставится на байпасную камеру отверстием вниз, тем самым, как уже было отмечено, гидравлически соединяя верхний и нижний короба. Верхний короб в боковой стенке имеет небольшое отверстие для подсоса воздуха, который необходим для обес-

печения стабильной работу осевого вентилятора. Наличие неплотностей верхнего укрытия при реальных условиях перегрузки необходимо свести к минимуму, т.к. подсасываемый через них воздух приводит к возрастанию объемов эжектируемого воздуха [12–13]. Осевой вентилятор, нагнетает воздух в приемную камеру и моделирует процесс эжектирования воздуха. Расположение осевого вентилятора в загрузочной трубе приближенно к реальным условиям эжектирования воздуха при перегрузках материала. На крышке нижнего короба в области аспирируемой камеры установлен вытяжной патрубок. Все неплотности на соединениях и по периметру заизолированы, чтобы уменьшить количество выбиваемого через них воздуха.

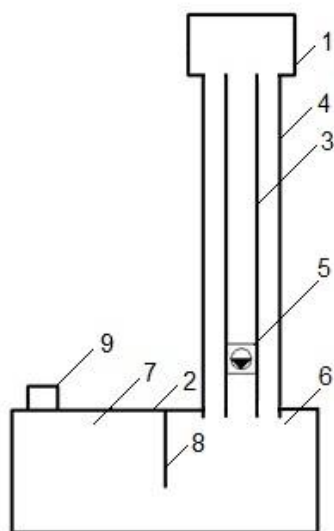


Рис. 1 Схема экспериментальной установки:  
1 – верхний короб, 2 – нижний короб, 3 – загрузочная труба, 4 – байпасная камера, 5 – осевой вентилятор, 6 – приемная часть, 7 – аспирируемая часть, 8 – вертикальная перегородка, 9 – вытяжной патрубок

Для определения эффективности работы совместного использования перфорации загрузочной трубы и байпасной камеры проводилось измерение скорости воздуха, удаляемого из нижнего короба через вытяжной патрубок. Если скорость удаляемого воздуха при наличии байпасной камеры, а также при нанесении перфорации на загрузочную трубу будет уменьшаться, то расход воздуха, удаляемого из аспирируемой камеры нижнего короба, будет также снижаться. На практике это позволит сделать систему аспирации более энергоэффективной, т.к. количество удаляемого из укрытия воздуха на прямую 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.



Рис. 2 Фото экспериментальной установки:  
1 – верхний короб, 2 – нижний короб, 3 – загрузочная труба, 4 – цилиндрическая байпасная камера, 5 – вытяжной патрубок, 6 – вертикальная перегородка

#### Экспериментальные исследования и методика исследования

В начале необходимо было определить скорость и количество воздуха удаляемого из нижнего короба при отсутствии байпасной камеры и перфорации. Это позволит в дальнейшем сказать, на сколько эффективно справляется с работой по снижению объемов эжекции байпасная камера и перфорация. Для этого в нижней части байпасная камера перекрывалась, чтобы исключить попадание воздуха в ее полость. Таким образом весь поступающий в нижний короб воздух будет удаляться только через вытяжной патрубок.

Замеры делались в сечении вытяжного патрубка 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  $v_{ср}$ . Торцевые перетекания отсутствуют, т.е. байпасная камера перекрыта. Полученные результаты указаны в таблице 1.

Таблица 1

**Значения скорости и расхода воздуха удаляемого из укрытия при отсутствии байпасной камеры**

Замер 1			Замер 2			Замер 3			Среднее значение скорости воздуха в сечении $v_{cp}$ , м/с	Расход воздуха в сечении $Q_{yd}$ , 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

Затем байпасная камера открывалась и проводились замеры скорости удаляемого воздуха. При наличии цилиндрической байпасной камеры Ø200мм и отсутствии перфорации были получены значения скоростей представленных в таблице 2.

Эффективность байпасной камеры  $\delta$  будем находить из соотношения

$\delta = \left( (v_{cp}^{\delta} - v_{cp}^c) / v_{cp}^{\delta} \right) \cdot 100\%$ , где  $v_{cp}^{\delta}$  – среднее значение скорости в сечении при отсутствии байпасной камеры,  $v_{cp}^c$  – среднее значение скорости при наличии байпасной камеры. В данном случае при наличии такой байпасной камеры расход удаляемого воздуха снижается в среднем на 60%.

Таблица 2

**Значения скорости и расхода воздуха удаляемого из укрытия при наличии байпасной камеры**

Замер 1			Замер 2			Замер 3			Среднее значение скорости воздуха в сечении $v_{cp}$ , м/с	Расход воздуха в сечении $Q_{yd}$ , м <sup>3</sup> /ч
$v_{уср}^A$	$v_{уср}^B$	$V_1$	$v_{уср}^A$	$v_{уср}^B$	$V_2$	$v_{уср}^A$	$v_{уср}^B$	$V_3$		
0,288	0,334	0,31	0,292	0,346	0,319	0,296	0,348	0,322	0,31÷0,32	9

Дополнительно проводились измерения скорости рециркулируемого воздуха в полости байпасной камеры. В сечении расположенном на расстоянии половины длины байпасной камеры делалось 4 отверстия на одинаковом друг от друга расстоянии и при помощи термоанемометра производились замеры скорости. В каждом отверстии делалось по 10 замеров, а затем находилось среднее значение скорости в выбранном сечении. Скорость воздуха в сечении байпасной камеры составила примерно 0,81 м/с.

Интересен эксперимент по снижению удаляемого воздуха при комбинированном использовании байпасной камеры и перфорации. Для начала исследовалось использование байпасной камеры и перфорации при нанесении последней в нижней части загрузочной трубы. Перфорация наносилась по всей длине участка трубы на одинаковом друг от друга расстоянии в количестве 35 отверстий (7 рядов по 5 отверстий). Отверстия имели диаметр 5 мм. Однако в ходе эксперимента снижения скорости удаляемого воздуха не наблюдалось. Полученные результаты не отличались от тех, что были получены при наличии только байпасной камеры (см. таблица 2). Это объяснялось тем, что воздух выходящий через отверстия создавал воздушную завесу, которая оказывала сопротивление восходящему потоку воздуха, а затем выходящий воздух по-

степенно перетекал по байпасной камере в верхний короб.

Для того чтобы исключить возможность образования воздушной завесы отверстия наносились в верхней части загрузочной трубы. Перфорировалась только верхняя часть трубы, расположенная перед нагнетателем, т.к. в этой части трубы находится зона разряжения. Отверстия наносились равномерно с постоянным увеличением их количества, начиная сверху трубы и постепенно опускаясь. Вначале на загрузочную трубу в верхней части наносились отверстия в количестве 77 шт (11 отверстий в 7 рядов) и измерялась скорость воздуха в сечении вытяжного патрубка. Затем количество отверстий увеличивалось по длине загрузочной трубы на такое же количество. По мере увеличения количества отверстий скорость воздуха в сечении вытяжного патрубка уменьшалась (см. таблица 3). Также проводилось задымление байпасной камеры с целью наблюдения того, как ведет себя воздух при наличии перфорации. Дым с помощью пластиковой трубочки запускался в байпасную камеру и поднимаясь вверх по байпасной камере, настигался на перфорированные стенки и перетекал в полость трубы. Такое поведение дыма можно объяснить тем, что перфорация создает большую площадь разряжения на поверхности загрузочной трубы и воздух уже в

большем количестве устремляется в эту область нежели при отсутствии перфорации.

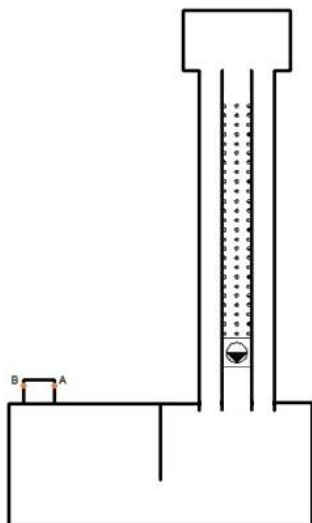


Рис. 3 Схема экспериментальной установки для исследования влияния перфорации

Как видно из данных таблицы с увеличением количества отверстий расход удаляемого из укрытия воздуха снижается. Эффективность от использования перфорации грузочного желоба составляет в среднем 15–20 %. При дальнейшем увеличении степени перфорации возможно получить более высокую эффективность. Таким образом в ходе эксперимента было выявлено, что использовании цилиндрической байпасной камеры совместно с перфорированной грузочной трубой может снизить количество удаляемого воздуха примерно до 80 %.

Несмотря на заявленную высокую производительность вентилятора полученные значения расходов удаляемого воздуха получились меньше. Связано это с тем, что верхний короб создает высокое сопротивление для подсоса воздуха в приемную камеру (воздух поступает только через отверстие в стенке корпуса), а следовательно производительность вентилятора при таком сопротивлении снижается.

Таблица 3

### Экспериментальные значения скоростей воздуха при комбинированном использовании перфорированной трубы и байпасной камеры

Кол-во отверстий $\varnothing 5$ мм, шт	Замер 1			Замер 2			Замер 3			Среднее значение скорости воздуха в сечении $v_{cp}$ , м/с	Расход воздуха в сечении $Q_{y0}$ , м <sup>3</sup> /ч
	$U_{уср}^A$	$U_{уср}^B$	$V_1$	$U_{уср}^A$	$U_{уср}^B$	$V_2$	$U_{уср}^A$	$U_{уср}^B$	$V_3$		
0	0,244	0,32	0,282	0,24	0,322	0,281	0,258	0,316	0,287	0,283	8
7×11	0,214	0,306	0,26	0,23	0,294	0,262	0,22	0,302	0,261	0,261	7,4
7×22	0,228	0,306	0,267	0,204	0,304	0,254	0,2	0,31	0,255	0,259	7,3
7×33	0,206	0,302	0,254	0,172	0,292	0,232	0,172	0,296	0,234	0,24	6,8

**Выводы.** Согласно результатам эксперимента по исследования процесса рециркуляции воздуха при комбинированном использовании перфорированного желоба с байпасной камерой можно сделать следующие заключения: 1) увеличение количества отверстий по длине грузочной трубы в области разряжения позволит увеличить рециркуляцию воздуха на 15-20%; 2) нанесение перфорации в области избыточного давления при комбинированном использовании перфорации и байпасной камеры может привести к образованию воздушной завесы, оказывающей сопротивление потоку рециркуляционного воздуха; 3) при реальных условиях перегрузки сыпучего материала перфорировать необходимо лишь верхнюю часть желоба, т.к. это увеличит зону разряжения в байпасной камере, а возможные перетекания воздуха через перфорацию из желоба в байпасную камеру будут не-

значительны из-за низкой начальной скорости падающего материала.

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

---

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

**STUDY OF MINIMIZATION OF EXHAUST AIR VOLUME BY THE COMBINED USE OF PERFORATED TROUGH WITH A CYLINDRICAL BYPASS CHAMBER**

*Conducting a pilot study to reduce exhaust air volumes through the use of closed recirculation in bypass chamber equipped with a loading trough with a perforated wall. Experimental measurements of the value of the exhaust air speed were made on designed stand. The effect of the bypass chamber and the cylindrical perforated trough at their joint use by 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

**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.

**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.