

## ЭЖЕКЦИЯ ВОЗДУХА СЫПУЧИМИ СТРОИТЕЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УЧАСТКАХ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОЙИНДУСТРИИ

**Даниченко Н.В.**, к.т.н., доцент,  
**Гераскина Э.А.**, к.т.н., доцент,  
**Хоменко О.И.**, к.т.н., доцент,  
**Семенов С.В.**, доцент,  
**Макаров В.О.**, к.т.н., доцент,  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
nicolai.danichenco@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена анализу результатов исследований кинематических закономерностей присоединения воздушных масс к материальным потокам сыпучих строительных материалов при проектировании приемных устройств строительных материалов и систем аспирации, путем использования комплексных характеристик, учитывающих взаимообусловленность и взаимосвязь параметров пылевоздушных масс в приемных устройствах и системах аспирации с параметрами материальных потоков.

Разработан научно обоснованный метод расчета аэродинамических параметров аспирационных отборов, учитывающий эжекционные особенности сыпучих строительных материалов.

**Ключевые слова:** аэродинамические параметры, перегрузочные участки, эжекция воздушных масс, струи сыпучего строительного материала.

## ЕЖЕКЦІЯ ПОВІТРЯ СИПУЧИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ В ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЯХ ПІДПРИЄМСТВ БУДІНДУСТРІЇ

**Даниченко М.В.**, к.т.н., доцент,  
**Гераскина Е.О.**, к.т.н., доцент,  
**Хоменко О.И.**, к.т.н., доцент,  
**Семенов С.В.**, доцент,  
**Макаров В.О.**, к.т.н., доцент,  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
nicolai.danichenco@gmail.com

**Анотація.** Стаття присвячена аналізу результатів досліджень кінематичних закономірностей приєднання повітряних мас до матеріальних потоків сипучих будівельних матеріалів при проектуванні приймальних пристроїв будівельних матеріалів і систем аспірації, шляхом використання комплексних характеристик, що враховують взаємозумовленість і взаємозв'язок параметрів пило-повітряних мас в приймальних пристроях і системах аспірації з параметрами матеріальних потоків.

Розроблено науково обґрунтований метод розрахунку аеродинамічних параметрів аспіраційних відборів, який враховує ежекційні особливості сипких будівельних матеріалів.

**Ключові слова:** аеродинамічні параметри, перевантажувальні ділянки, ежекція повітряних мас, струмені сипкого будівельного матеріалу.

## DETERMINING THE AERODYNAMIC PARAMETERS OF TRANSSHIPMENT SITES ON BUILDING INDUSTRY ENTERPRISES

**Danichenko N.V.**, Ph.D., Assistant Professor,  
**Geraskina E.A.**, Ph.D., Assistant Professor,  
**Khomenko O.I.**, Ph.D., Assistant Professor,  
**Semenov S.V.**, Assistant Professor,  
**Makarov V.O.**, Ph.D., Assistant Professor,  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
nicolai.danichenco@gmail.com

**Abstract.** This article analyzes the results of research kinematic patterns of attachment air masses to the material flows of bulk building materials in the design of building materials receivers and aspiration systems, with complex characteristics using, taking into account the interdependence and interrelation of dust-air mass parameters to receivers and aspiration systems with parameters of material flows.

The problems of airflow parameters determining in the transport and processing lines, including the free-falling stream of material, reduced to the determination of the total pressure, volume and air velocity, determining the direction of dust and airflows movement.

The purpose of the article is to eliminate the above-mentioned drawbacks in the calculations and design of the handling sites for loose building materials and aspiration systems possible by using complex characteristics that take into account the interdependence and interrelation of air parameters in receiving devices and aspiration systems with material flow parameters.

The calculation of the air ejection with flowing building materials in the reloading areas at the construction industry enterprises allows, relatively easy, by using complex characteristics that take into account the interrelation of the parameters of free material jets and air flows, with accuracy sufficient for engineering calculations, to determine the basic aerodynamic parameters of the operation of the reloading sites at the enterprises of the construction industry.

**Keywords:** aerodynamic parameters, reloading stations, air ejection, jet bulk construction material.

**Введение.** Перемещение сыпучих материалов в воздушной среде вызывает ее противодействие. В результате действия сил аэродинамического сопротивления, например в пневмотранспортных материалопроводах, происходит перемещение сыпучих материалов. А при гравитационном падении твердых частиц проявляется их эжекционное действие, т.е. увлечение воздуха движущимися частицами. Удаление загрязненного воздуха от мест его сосредоточения легко осуществить при устройстве укрытий у агрегатов с учетом эжекции воздуха, являющихся источником вредностей в помещении.

В настоящее время прием сыпучих материалов на предприятиях стройиндустрии осуществляется с автомобильного, железнодорожного и водного транспорта. Эти участки строительных конструкций, не обеспеченные локальными укрытиями, являются источниками пылевыделений. Такое положение объясняется тем, что проектирование участков приема сыпучих материалов производится без учета параметров движения запыленного воздуха, а проектирование систем аспирации, наоборот, производится с учетом нормативных данных аспирируемого воздуха без учета характеристик потоков сыпучих материалов. Кроме того на предприятиях стройиндустрии имеются самотечные трубопроводы протяженность которых составляет многие сотни метров. Поэтому необходимо знать и направленно использовать эжектирующее действие сыпучих материалов в самотечных трубопроводах.

**Целью** статьи является устранение указанных недостатков в расчетах и проектировании перегрузочных участков для сыпучих строительных материалов и систем аспирации возможно путем использования комплексных характеристик, учитывающих

взаимобусловленность и взаимосвязь параметров воздуха в приемных устройствах и системах аспирации с параметрами материальных струй.

**Проведенный анализ литературных источников** показывает, что в настоящее время отсутствуют комплексные характеристики, учитывающие взаимосвязь параметров свободных материальных струй и воздушных потоков при расчетах и проектировании приемных устройств совместно с системы аспирации на предприятиях стройиндустрии.

Проведенный анализ результатов производственных исследований [1-4], позволил установить, что:

- прием сыпучих материалов на предприятиях стройиндустрии сопровождается активным взаимодействием материальных и воздушных струй, что является одним из основных источников пылевыделений;

- аспирационные установки, на перегрузочных участках предприятий стройиндустрии, спроектированные по существующим методикам, работают не эффективно и не обеспечивают необходимого уровня обеспыливания;

- существующая методическая и нормативно-техническая база по расчету и проектированию приемных устройств совместно с системами аспирации на предприятиях стройиндустрии не учитывает взаимосвязей и взаимобусловленность параметров материальных струй и воздушных потоков;

- разработка новых методов расчета аэродинамических характеристик систем аспирации на перегрузочных участках предприятий стройиндустрии должна базироваться на использовании методов графоаналитического и математического моделирования процессов движения материаловоздушных струй и пылевоздушных потоков.

**Задачей** статьи является определение параметров воздушных потоков в транспортно-технологических линиях, включающих струи свободно падающего материала, которые сводятся к определению полных давлений, объемов и скоростей воздуха, определяющих направление движения пылевоздушных потоков.

**Результаты исследований.** На рис.1 представлены схемы движения сыпучего материала в вертикальном и наклонном самотеках.

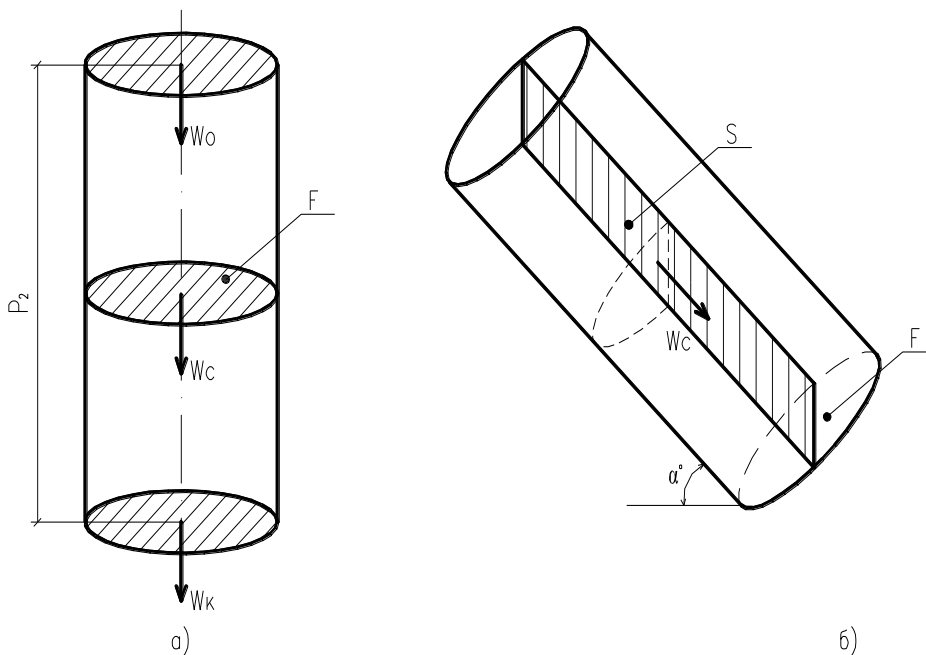


Рис. 1. Схемы движения сыпучего материала:  
а – вертикальном; б – наклонном самотеках

Значение эжекционного давления воздуха, обусловленного гравитационным перемещением сыпучих материалов по самотечным трубопроводам, можно определить по

формулам:

– для вертикального самотечного трубопровода:

$$H_{эв} = G/F \cdot [g \cdot h/w_c - (w_k - w_0) \cdot \lambda_m \cdot h/D \cdot w_c], \quad (1)$$

– для наклонного самотечного трубопровода:

$$H_{эн} = \lambda_n \cdot S \cdot \rho \cdot w_c^2 / 2 \cdot l / F_c, \quad (2)$$

где:  $G$  – массовый расход материала, кг/с;  $F$  – площадь поперечного сечения самотечного трубопровода, м<sup>2</sup>;  $w_0$ ,  $w_c$ ,  $w_k$  – начальная, средняя и конечная скорости движения материала, м/с;  $h$  – высота падения материала, м;  $D$  – диаметр самотечного трубопровода, м;  $S$  – площадь поверхности контакта материала и воздуха, м<sup>2</sup>;  $\lambda_m$ ,  $\lambda_n$  – коэффициенты трения между частицами материала и стенками самотечного трубопровода и между потоками материала и воздуха.

Эжекционное давление расходуется на перемещение и поддержание разности давлений воздуха между концами самотечного трубопровода, т.е.

$$H_э = H_в + \Delta H, \quad (3)$$

где:  $H_в$  – давление расходуемое на перемещение воздуха в трубопроводе Па;

$\Delta H$  – разность давлений воздуха между концами самотечного трубопровода Па.

При отсутствии движения воздуха в самотечном трубопроводе величина эжекционного давления будет равна разности давлений воздуха между концами трубопровода и может быть измерена с помощью манометра.

Объем эжектируемого по самотечным трубопроводам воздуха можно определить по

формуле: 
$$L_э = F \cdot \sqrt{2 \cdot (H_э - \Delta H) / (\lambda \cdot b/D + \sum \xi)} \cdot \rho, \quad (4)$$

где:  $b$ ,  $D$  – длина и диаметр самотечного трубопровода, м;  $\lambda$ ,  $\xi$  – коэффициенты аэродинамического сопротивления прямолинейных и местных участков самотечного трубопровода.

Из зависимостей (1), (2), (4) следует, что величина эжекционного давления и объемов перемещаемого по самотечным трубопроводам воздуха зависит от их параметров, физико-механических свойств материала и степени герметизации самотечного трубопровода.

Статическое давление внутри самотечных трубопроводов распределяется следующим образом: сверху – разряжение, внизу – избыточное. Для снижения объемов эжектируемого воздуха необходимо уменьшить скорость движения материала, увеличить его удельный массовый расход и максимально герметизировать самотечный трубопровод.

Для расчетов в таблице 1 приведены объемы эжектируемого воздуха для вертикальных самотечных трубопроводов.

При определении объемов эжектируемого воздуха в наклонных самотечных трубопроводах вышеуказанные значения объемом воздуха необходимо умножить на коэффициент  $a$ , значение которого зависит от угла наклона самотечного трубопровода к горизонтальной плоскости (табл. 2).

Таблица 1 – Объемы эжектируемого воздуха в вертикальных трубопроводах,  $L_э$  м<sup>3</sup>/ч

Высота трубы, м.	Массовый расход, т/ч			
	20	30	40	60...100
2	120	140	150	160
4	175	220	270	300
8	270	315	390	470
12	560	640	735	910
15	640	770	910	1100

Таблица 2 – Коэффициент  $a$ , учитывающий угол наклона трубопровода

Угол наклона, град	85-90	75	65	45
Коэф. $a$	1,0	0,6	0,52	0,4

Как известно, пылевыведение возможно из укрытий оборудования в местах избыточного давления воздуха. Установлено, что статическое давление воздуха изменяется по всему самотечному трубопроводу и протяженному укрытию (цепному и ленточному конвейерам, нории) при отсосе из них воздуха. Поэтому путем отсоса воздуха даже в одной точке можно создать разрежение в оборудовании практически в любой точке герметизированной транспортно-технологической линии.

Объем воздуха, подлежащий отсосу в аспирационную сеть ( $L_a$ ), рассчитывают по условиям баланса прихода и расхода воздуха:

$$L_э + L_n = L_a + L_{ун} + L_{выт}, \quad (5)$$

где:  $L_э$  – объем воздуха, поступающий в машину вместе с материалом по самотечным трубопроводам;  $L_n$  – объем воздуха, поступающий через неплотности за счет разрежения в машине;  $L_{ун}$  – объем воздуха, увлекаемый материалом из машины по самотечным трубопроводам;  $L_{выт}$  – объем воздуха, вытесняемый накапливающимся в машине (бункере) материалом.

Анализ формулы для расчета объемов аспирируемого воздуха показывает, что составляющие объемов воздуха зависят от площади поперечного сечения, герметичности и протяженности подводящих и отводящих самотечных трубопроводов, величины разрежения в укрытии оборудования и степени его герметичности, физико-механических свойств перегружаемых материалов и их массового расхода.

Расчеты показывают, что средние скорости движения эжекционного воздуха в самотечных трубопроводах не превышают 4...5 м/с, а в укрытиях норий и цепных конвейеров 2...3 м/с. При таких незначительных скоростях аэродинамическое давление в коробе цепного конвейера типа ТСЦ-100 (длиной 50м) или трубе нории (высотой 40м) составляет 20...50 Па. Для практических расчетов можно принять удельные потери давления на перемещение воздуха в цепных конвейерах и норийных трубах равными 1Па на 1м.

Данные полученные по эжекционному давлению воздуха в самотечных трубопроводах, позволяют рекомендовать для инженерных расчетов их аэродинамического сопротивления при противотоке воздуха и сыпучего материала потери давления, равными 50 Па в вертикальных самотечных трубопроводах высотой до 1 м и наклонных – до 2 м. С учетом принятых положений можно принципиально изменить и существенно упростить компоновку аспирационных сетей предприятий стройиндустрии.

Рассмотрим принципиальные аспирационные транспортно-технологические системы предприятий стройиндустрии. Состав оборудования линии приемки сыпучего сырья включает: бункер, конвейер, норию, конвейер. Пылевоздушные потоки образуются в основном на следующих участках: бункер – конвейер, конвейер – нория, нория – самотечный трубопровод, самотечный трубопровод – цепной конвейер. Соответственно этому в укрытиях образуются зоны повышенного и пониженного давления воздуха.

На рис. 2 показана схема подключения к аспирационной системе оборудования участка приема сыпучего материала.

Отсос воздуха можно осуществлять двумя способами: первый – подключить к аспирационной сети все места повышенного давления: бункер, конвейер, норию, цепной конвейер; второй – подключить к аспирационной сети бункер, башмак и головку нории, конвейер. При втором способе протяженность воздухопроводов существенно уменьшается, а количество пыли, увлекаемой аспирационным воздухопроводом, снижается, что обуславливает предпочтительность второго способа.

Для нашего примера площадь живого сечения решетки над приемным бункером должна быть минимальной. Открытыми должны быть только те участки, через которые

сыпучий материал из транспортных средств поступает в приемный бункер. Для уменьшения площади контакта падающего потока материала с воздухом и уменьшением объема эжектируемого воздуха следует применять откидные уплотнительные щиты.

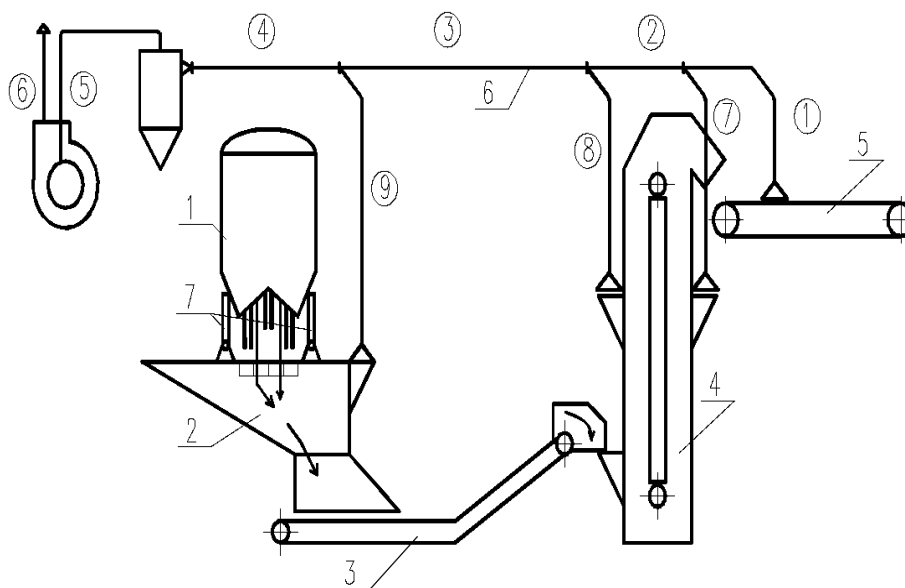


Рис. 2. Схема подключения к аспирационной системе оборудования участка разгрузки железнодорожного вагона: 1 – железнодорожный вагон; 2 – бункер; 3 – конвейер; 4 – нория; 5 – цепной конвейер; 6 – аспирационная сеть; 7 – уплотнительные щиты. Цифрами в окружностях указаны номера участков аспирационной системы.

Объем аспирируемого воздуха из приемного бункера определяют по формуле баланса прихода и расхода воздуха:  $L_{a \text{ бун}} = L_{\text{э}} + L_{\text{н}} + L_{\text{выт}} = L_{\text{э}} + (v_{\text{н}} \cdot F_{\text{н}}) + (G_{\text{м}} / t)$  (6)

При максимальном массовом расходе материала 100т/ч и высоте падения 2м (табл.1) –  $L_{\text{э}} = 160 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $v_{\text{н}}$  – скорость воздуха в отверстиях, 0.2м/с;  $F_{\text{н}}$  – площадь неплотностей приемного бункера, 3м<sup>2</sup>;  $G_{\text{м}}$  – объемная масса материала, 46м<sup>3</sup>;  $t$  – время разгрузки, 180с; получим:  $L_{a \text{ бун}} = 160 + ((0,2 \cdot 3) \cdot 3600) + ((46 / 180) \cdot 3600) = 3240 \text{ м}^3/\text{ч}$

Значения объемов аспирируемого воздуха из нории НЦ–100 (рабочая и холостая трубы) и цепного конвейера ТЦЦ–100 получены из нормативной документации:

$$L_{a \text{ нор. раб.}} = 450 \text{ м}^3/\text{ч}; L_{a \text{ нор. хол.}} = 450 \text{ м}^3/\text{ч}; L_{a \text{ цеп}} = 420 \text{ м}^3/\text{ч};$$

Для всей аспирационной системы:

$$L_{a} = 3240 + 450 + 450 + 420 = 4560 \text{ м}^3/\text{ч};$$

Величина давления в аспирационном патрубке приемного бункера с учетом ежекционного давления создаваемого сыпучим материалом при высоте падения 2м и насыпном лотке составляет:  $Na_{\text{бун.}} = 50 + 50 = 100 \text{ Па}$

Давление в каждом из аспирационных патрубков нории с учетом ежекционного давления в сбрасывающей коробке конвейера составляет:

$$Na_{\text{нор.}} = 30 + 50 = 80 \text{ Па}$$

Давление в аспирационном патрубке цепного конвейера с учетом ежекционного давления в наклонном самотеке до 2м и разряжении в бункере составляет:

$$Na_{\text{цеп.}} = 50 + 50 + 30 = 130 \text{ Па}.$$

Получив исходные данные необходимо скомпоновать аспирационную систему учитывая ряд особых требований и рекомендаций:

- размер ответвлений для подключения аспирационных патрубков должен обеспечивать скорость в них не менее скорости витания частиц пыли перегружаемых материалов;

- протяженность горизонтальных участков аспирационных воздуховодов должна быть минимальной;

- воздух, удаляемый аспирационными установками, должен возмещаться системами

приточной вентиляции;

- пылеотделители необходимо устанавливать до вентиляторов;
- допускается аспирировать оборудование через самотечную трубу или бункер;
- последовательно расположенное оборудование циклического действия (весы, смесители, дозаторы) следует соединять трубами (байпасами) для перетока воздуха.

Необходимое условие эффективной работы аспирационных установок – электроблокировка шлюзовых затворов и вентиляторов с транспортным и технологическим оборудованием. Категорически запрещается эксплуатировать технологические линии без аспирации оборудования.

Компоновку аспирационных установок в перегрузочных участках предприятий стройиндустрии проводят с учетом ряда принципов:

- технологичности, когда к одной аспирационной сети подключают оборудование одной технологической линии или оборудование нескольких линий, перерабатывающих однородные материалы;
- единовременности, предполагающей одновременность загрузки оборудования, подключаемого к единой аспирационной сети;
- эксплуатационной надежности, включающей требования сокращения протяженности воздуховодов, бессадочного перемещения пыли, простоты в обслуживании всех элементов и узлов сетей;
- равного температурного режима работы аспирационного оборудования.

### **Выводы.**

1. Проведенный анализ литературных источников и результатов производственных исследований показывает, что в настоящее время отсутствуют комплексные характеристики, учитывающие взаимосвязь параметров свободных материальных струй и воздушных потоков при расчетах и проектировании приемных устройств совместно с системами аспирации на предприятиях стройиндустрии.

2. Учет эжекции воздуха сыпучими строительными материалами в перегрузочных участках предприятий стройиндустрии позволяет с точностью, достаточной для инженерных расчетов, относительно просто, путем использования комплексных характеристик, учитывающих взаимосвязь параметров свободных материальных струй и воздушных потоков, определить основные аэродинамические параметры функционирования перегрузочных участков на предприятиях стройиндустрии.

3. Полученные данные показали, что в перспективе необходимы дальнейшие исследования эжекции воздуха свободными материальными струями различных строительных материалов.

### **Литература**

1. Даниченко Н.В. Аэродинамические характеристики узлов разгрузки автотранспорта / Н.В. Даниченко, Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк // Тез. докл. науч. конф. «Проблемы агропром. комплекса». – Одеса: Вид-во ОТИПП, 1989. – С. 35-39.

2. Даниченко Н.В. Устранение пылевых выбросов на участках приема и отпуска материалов производств перерабатывающих сыпучие материалы / Н.В. Даниченко, Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк // Тез. докл. конф «Решение экономических проблем страны». – Ташкент: Вид-во ТИПП, 1991. – С. 222-227.

3. Даниченко М.В. Моделивання процесів ежекції безопорного переміщення пилеповітряних потоків зернових струмів / М.В. Даниченко, Е.А. Дмитрук, О.І. Гапонюк // Тези доп. міжнарод. конф.: «Розробка нових технологій». – Київ: Вид-во КТИХП, 1993. – С. 121-125.

4. Даниченко М.В. Определение аэродинамических параметров перегрузочных участков на предприятиях стройиндустрии. / М.В. Даниченко, Э.А. Гераскина, О.И. Хоменко, С.В. Семенов, В.О. Макаров // Вісник ОДАБА, 2016 р., № 63 , – С. 202-207.

Стаття надійшла 11.04.2014