

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВОБОДНЫХ СТРУЙ  
СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ****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,*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
nicolai.danichenco@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2344-948X

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию процессов взаимодействия свободных струй сыпучих материалов и воздушных потоков, с целью определения кинематических закономерностей присоединения воздушных масс к материальным потокам сыпучих материалов при проектировании приемных устройств строительных материалов и систем аспирации. Использование комплексных характеристик, учитывающих взаимообусловленность и взаимосвязь параметров пылевоздушных масс в приемных устройствах и системах аспирации с параметрами материальных потоков и эжектируемых воздушных потоков позволяет определить основные аэродинамические параметры функционирования перегрузочных участков.

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

**Введение.** В настоящее время в условиях производства процесс загрузки приемных бункеров связан с падением струи сыпучего строительного материала с некоторой высоты. При этом происходит эжекция воздуха струей свободно падающего материала, его вытеснение из бункера этим же материалом, отбор воздуха из бункера и через неплотности укрытия в его верхней части аспирационными устройствами. Все эти процессы происходят одновременно и являются аэродинамически взаимосвязанными. Так, например, изменение герметичности верхнего укрытия приемного бункера влечет за собой изменение структуры пылевоздушной системы, характеризуемой определенными, присущими только ей параметрами функционирования.

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 [1–5], 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 взаимообусловленность 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.

**Целью статьи** является выявление закономерностей формирования эжектируемых вертикальными гравитационными материальными струями потоков воздуха. Для этого была проведена серия экспериментов, определяющая влияние основных параметров на процессы эжекции воздуха.

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. Следовательно, необходимо:

- определить аэродинамическую схему движения струи свободно падающего материала и пылевоздушных потоков;
- измерить поля скоростей воздушного потока, эжектируемого вертикальной и криволинейной струей сыпучего материала;
- определить полные давления и объемы воздуха эжектируемого вертикальной и криволинейной струей сыпучего материала в приемном бункере;
- измерить влияния давления  $H$  в приемном бункере на поле скоростей эжектируемого воздуха, при падении струи материала с постоянной высотой падения сыпучего материала  $h$ , производительностью  $G$  и поддержании в нем постоянного уровня материала.

**Материалы и методика исследования.** Для определения полей скоростей эжектируемого воздуха струей падающих частиц сыпучего материала использовали термоанемометр, а давлений и расходов воздуха микроанометры. Из приведенных данных видно, что воздух окружающего струю пространства движется с некоторой скоростью в направлении движения струи, причем, скорость движения эжектируемого воздушного потока увеличивается в направлении к оси струи. Значение скорости стремящейся к нулю наблюдалось на расстоянии 1,5...2,5 диаметра струи от ее оси и зависит от  $G$  и  $h$ . Указанное явление соответствует физическим закономерностям, положенным в основу математического описания процессов взаимодействия воздушного потока с вертикальной струей сыпучего материала. Характеристика процессов эжекции воздуха, представленная на рис. 1, подтверждает принятые допущения о том, что процесс движения воздуха вдоль поверхности струи материала обусловлен действием сил вязкости в окружающем падающий материал воздухом пространстве.

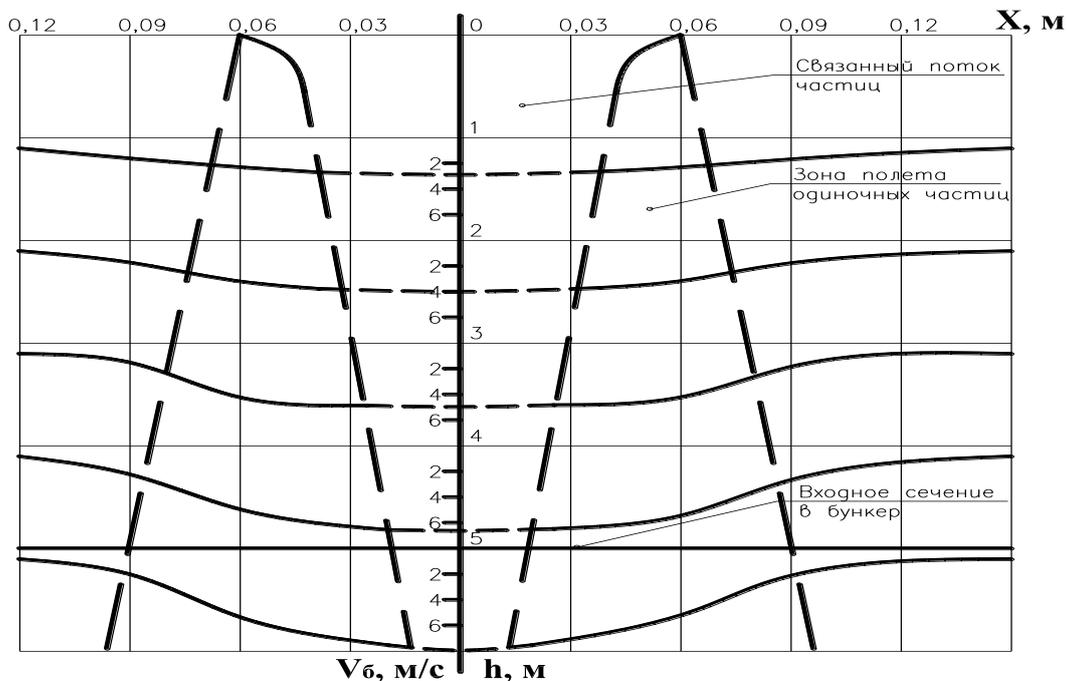


Рис. 1. Поля скоростей воздушного потока, эжектируемого вертикальной струей сыпучего материала

Определение влияния давления  $H$  в приемном бункере на поле скоростей эжектируемого воздуха проводили следующим образом. При падении струи материала с постоянными  $h, G$  и поддержании в нем постоянного уровня материала, с помощью вентилятора под укрытием устанавливали постоянное значение давления  $H$ . Контроль  $H$  производили при помощи штуцеров, установленных на крышке и боковой поверхности бункера и микроманометров. Для определения расхода воздуха эжектируемого струей материала вместе с боковым потоком  $Q_{\text{э}}$  при тех же высоте падения и расходе сыпучего материала, измеряли расход удаляемого (аспирируемого) из приемного бункера воздуха  $Q_a = Q_{\text{э}}$ , когда диаметр входного отверстия  $D_{\text{вх}}$  в крышке бункера превышал диаметр струи настолько, чтобы в бункер вместе со струей эжектируемого падающим материалом воздуха  $Q_{\text{э}}$  поступал и боковой поток воздуха  $Q_{\text{б}}$ .

Измерения  $Q_a = Q_{\text{э}}$  проводили в период падения материала в приемный бункер при поддержании под его укрытием статического давления  $H = 0$  и постоянного уровня сыпучего материала в бункере.

Проводились так же экспериментальные исследования по определению характеристик влияния основных аэродинамических параметров строительных материалов на процессы эжекции воздуха криволинейной струей сыпучего материала.

**Результаты исследований.** На рис. 1 представлены результаты исследования полей распределения скорости эжектируемого воздуха  $V_{\text{э}}$  по высоте падения струи материала.

Результаты экспериментальных исследований влияния давления  $H$  в приемном бункере на поле скоростей  $V_{\text{б}}$  представлены на рис. 2.

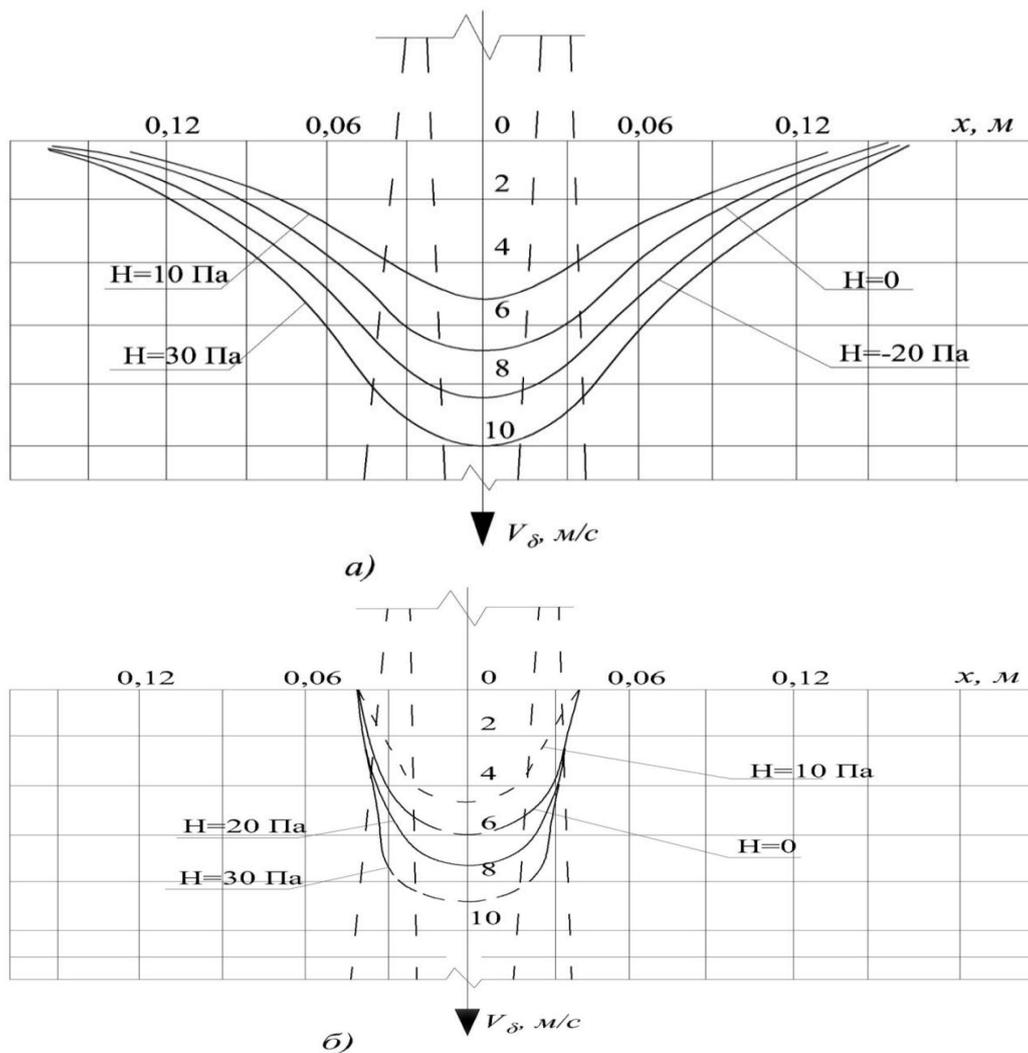


Рис. 2. Влияние  $H$  (Па) на поле скоростей  $V_{\text{б}}$  (м/с), при  $h = 5\text{ м}$ :  
 а –  $D_{\text{вх}} / D_{\text{с}} = 5$ ; б –  $D_{\text{вх}} / D_{\text{с}} = 1,5$

Анализ полученных распределений полей скоростей эжектируемых потоков воздуха показывает, что с ростом избыточного давления в приемном бункере местные скорости эжектируемого потока воздуха  $V_6$  уменьшается, а с ростом разрежения увеличивается (рис. 2, а). При уменьшении входного отверстия  $D_{вх}$  приемного бункера значения местных скоростей эжектируемого воздуха также уменьшается (рис. 2, б).

Представленные графические зависимости поля скоростей эжектируемого потока воздуха подтверждает принятые при количественном описании процессов закономерности связей скорости эжектируемого воздуха  $V_6$  и величины давления  $H$  в бункере. Кроме того, они показывают обусловленность процесса эжекции действием сил вязкости в окружающем падающий сыпучий материал пространстве, что совпадает с результатами исследований авторов [1–3].

Проводились так же экспериментальные исследования по определению характеристик влияния основных аэродинамических параметров строительных материалов на процессы эжекции воздуха криволинейной струей сыпучего материала.

На рис. 3 представлены результаты исследований полей распределения скорости эжектируемого воздуха вдоль траектории перемещения криволинейной материальной струи.

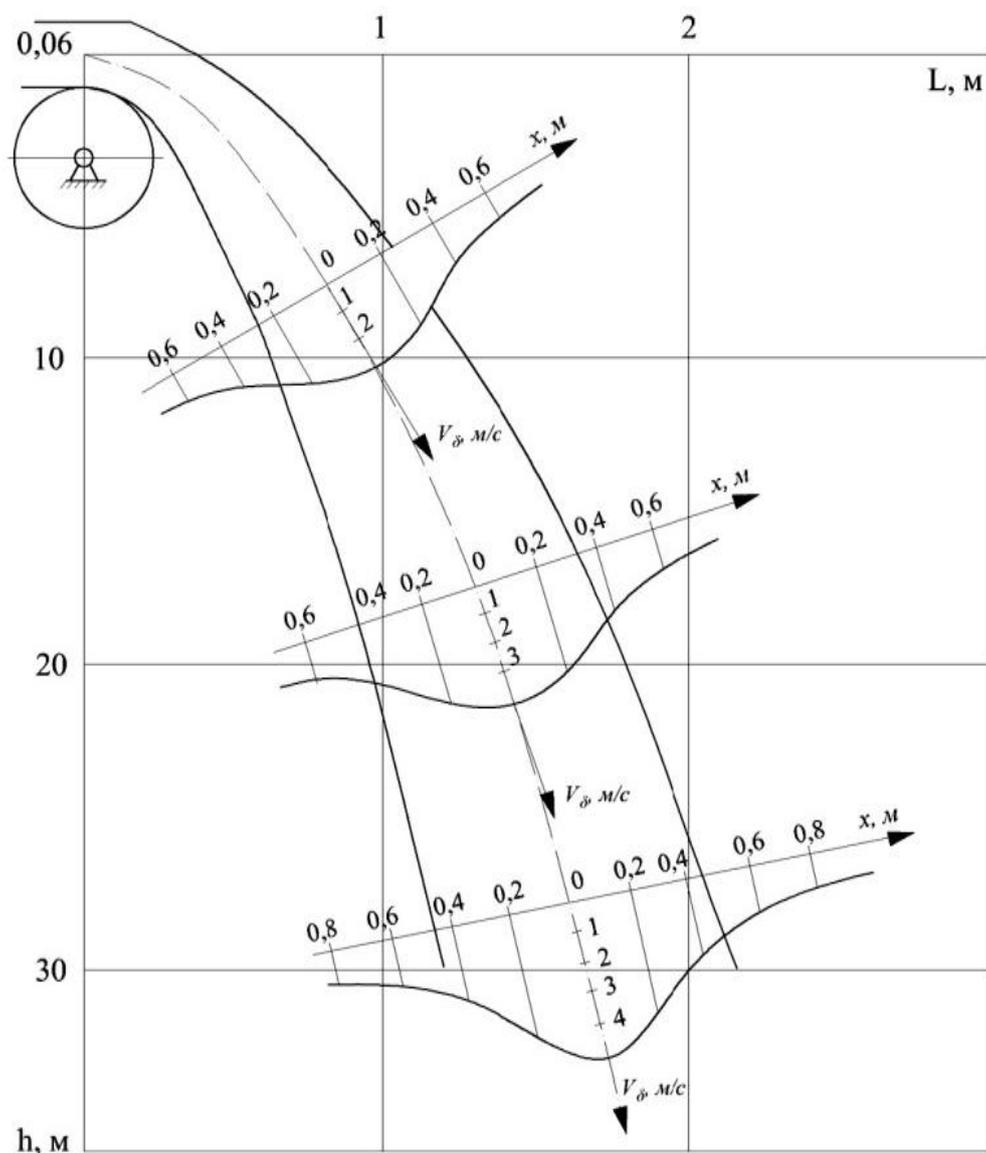


Рис. 3. Поля скоростей воздушного потока, эжектируемого криволинейной материальной струей (начальная скорость  $V=3,3$  м/с,  $H=0$ ,  $D_{вх} / D_c = 5$ )

Как видно из представленных данных, воздух в окружающем криволинейную струю пространстве движется с некоторой скоростью в направлении ее движения, как в случае движения вертикальной материальной струи. Скорость движения эжектируемого воздушного потока увеличивается в направлении к оси струи. Значение скорости  $V_6 \rightarrow 0$  наблюдали на расстоянии 0,8...1,2 м от оси струи в зависимости от высоты падения сыпучего материала  $h$  и производительности  $G$ .

Анализ полученных характеристик процесса эжекции воздуха (рис. 3) подтверждает правильность принятого допущения об обусловленности движения воздуха вдоль поверхности материальной струи действием сил вязкости в окружающем падающий материал воздушном пространстве.

Расход воздуха, перемещаемого в приемный бункер материальной струей осевым потоком, а так же совместно с боковым потоком определяли как и для вертикальных материальных струй. Отличие имели место в размерах и форме отверстий крышки приемного бункера, так как поперечное сечение криволинейной материальной струи имело форму эллипса.

Анализ влияния высоты падения  $h$  криволинейной струи на величины  $L_э$  и  $L_эб$  указывает на их увеличение с ростом  $h$ , обусловлено это ростом вертикальной составляющей скорости материала и соответственно ростом скорости  $V_б$  эжектируемого им воздушного потока. Изучение процессов эжекции позволило установить зависимость расхода воздуха  $L_эб$  перемещаемого совместно с криволинейной материальной струей осевым и боковым потоком от величины давления  $H_c$  в приемном бункере.

### **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. 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.

2. Даниченко М.В. Моделювання процесів ежекції безпорного переміщення пиленовітряних 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.

3. Даниченко М.В. Разработка современных систем автоматизирования и диспетчеризации / М.В. Даниченко, Э.А. Гераскина, В.С. Михайленко, О.И. Хоменко // Вісник ОДАБА, 2013. – Вип.50. – С. 104-107.

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. – Вип. 63. – С. 280-285.

5. Даниченко Н.В. Эжекция воздуха сыпучими строительными материалами в

перегрузочных участках предприятий стройиндустрии / М.В. Даниченко, Э.А. Гераскина, О.И. Хоменко С.В. Семенов, В.О. Макаров // Вісник ОДАБА, 2017. – Вип. 66. – С. 196-202.

### References

1. Danichenko N.V., Dmitruk E.A, Gaponyuk O.I. Ustranenie pilevix vibrosov na uchastcax priema i otpuska materialov proizvodstv pererabativaushih sipychie materialy [Elimination of dust emissions at the reception and disposal sites of materials processing bulk materials]. Thesis. doc. Conflict «Solution of economic problems of the country», Tashkent: View of the TIPP, pp. 222-227, 1991.
2. Danichenko N.V., Dmitruk E.A, Gaponyuk O.I. Modelyuvannya protsessiv chezciiy bezopornogoperemischennya pilepovitryanykh streamyv zernovikh strumiv [Simulation of ejection processes of uncontrolled movement of dust-air flows of grain currents]. Abstracts of additional. international conf.: «Development of new technologies», Kyiv: View of КТИНР, pp. 121-125, 1993.
3. Danichenko N.V., Geraskina E.A., Mihailenko V.S., Khomenko O.I. Razrabotka sovremenih sistem avtomatizirovaniy i dispetchirizachii [Development of the modern systems of automation and control centralized traffic]. Visnyk ODABA, Odesa, Optimym, Vol. 50, pp. 104-10, 2013.
4. Danichenko N.V., Geraskina E.A., Khomenko O.I., Semenov S.V., Makarov V.O. Opredelenie aerodinamicheskikh parametrov peregruzochnih uchastkov na predpriyiyh stroindustrii [Determination of aerodynamic parameters of shifting areas on the enterprises of stroyindustrii]. Visnyk ODABA, Odesa, Atlant, Vol. 63, pp. 280-285, 2016.
5. Danichenko N.V., Geraskina E.A., Khomenko O.I., Semenov S.V., Makarov V.O. Ejectiy vozdyha sipyichimi stroitel'nimi materialami v peregruzochnix uchastcax na predpriyiyh stroindustrii [Air ejection by loose building materials in reloading areas of construction industry enterprises]. Visnyk ODABA, Odesa, Atlant, Vol. 66, pp. 196-202, 2017.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ВІЛЬНИХ СТРУМЕНІВ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ І ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ

**Даніченко М.В.**, к.т.н., доцент,  
**Гераскіна Е.А.**, к.т.н., доцент,  
**Хоменко О.І.**, к.т.н., доцент,  
**Семенов С.В.**, доцент,

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
nicolai.danichenco@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2344-948X

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню процесів взаємодії вільних струменів сипучих матеріалів і повітряних потоків, з метою визначення кінематичних закономірностей приєднання повітряних мас до матеріальних потоків матеріалів при проектуванні приймальних пристроїв будівельних матеріалів і систем аспірації. Це досягається шляхом використання комплексних характеристик, що враховують взаємозумовленість і взаємозв'язок параметрів пилоповітряних мас в приймальних пристроях і системах аспірації з параметрами матеріальних потоків та ежектуюмих повітряних потоків.

Проблеми визначення параметрів потоку повітря в приймальних пристроях і лініях транспортування та обробки сипких мас, в тому числі вільно падаючого потоку матеріалу, зводяться до визначення загального тиску та швидкості повітря, визначаючи напрямок руху пилу та повітряних потоків.

Метою статті є усунення вищезгаданих недоліків у розрахунках та проектуванні ланок приймання сипучих будматеріалів та аспіраційних систем за допомогою складних характеристик, що враховують взаємозалежність та взаємозв'язок параметрів повітря в приймальних пристроях та аспіраційних системах з параметрами потоку матеріалу.

Розрахунок викиду повітря за допомогою сипучих будматеріалів у районах

перевантаження підприємств будівельної галузі дозволяє порівняно просто, використовуючи складні характеристики, що враховують взаємозв'язок параметрів вільних матеріальних струменів та повітряних потоків з достатньою точністю для інженерії розрахунків, для визначення основних аеродинамічних параметрів експлуатації перевантажувальних ділянок на підприємствах будівельної галузі.

Отримані дані показали, що в перспективі необхідні подальші дослідження ежекції повітря вільними матеріальними потоками різних будівельних матеріалів, з метою визначення основних аеродинамічних параметрів функціонування перевантажувальних ділянок на підприємствах будівництва.

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

### INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF INTERACTION OF FREE JETS OF LOOSE MATERIALS AND AIR FLOWS

**Danichenko N.V.**, Ph.D., Assistant Professor,

**Geraskina E.A.**, Ph.D., Assistant Professor,

**Khomenko O.I.**, Ph.D., Assistant Professor,

**Semenov S.V.**, Associate Professor,

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
nicolai.danichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2344-948X

**Abstract.** The article is devoted to the study of the processes of interaction of free jets of loose materials and air flows, in order to determine the kinematic patterns of the connection of air masses to the material flows of materials during the design of receiving devices for building materials and aspiration systems. This is achieved through the use of complex characteristics that take into account the interdependence and interconnection of the parameters of dust-air masses in receiving and aspiration systems with the parameters of material flows and echoed air flows.

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

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 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 by loose building materials in the reloading areas of the construction industry enterprises allows for relatively simple, 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.

The obtained data showed that further studies of air ejection by free material jets of various building materials are needed in order to determine the basic aerodynamic parameters of the operation of the reloading sites at the construction industry enterprises.

**Keywords:** ejection of air masses, flow of loose building material, aerodynamic parameters, reloading areas.

Стаття надійшла 26.09.2018