



УДК 697.9

**Варсегова Евгения Владиславовна**

кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: evarsegova@yandex.ru

**Осипова Лилия Эдуардовна**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: osipovalilija@mail.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

**Осипов Эдуард Владиславович**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: eduardvosipov@gmail.com

**Казанский национальный исследовательский технологический университет**

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

### **Численное моделирование течений воздуха в эжекторной установке низкого давления**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Производственные процессы сопровождаются выделением горючих, взрывоопасных и вредных для здоровья работающих веществ, состав и объем которых определяется технологией производства. Системы промышленной вентиляции перемещают большие объемы воздуха, очищают воздух от различных загрязнений или разбавляют концентрации вредных веществ до значений предельно допустимой концентрации. Выделить типичные решения при устройстве систем промышленной вентиляции довольно сложно. Помочь при их проектировании позволяют методы CFD-моделирования, в частности при определении закономерностей работы эжекторных устройств в окрасочных камерах.

Цель работы – численное моделирование течений воздуха в эжекторной установке низкого давления для систем промышленной вентиляции, где отсасываемый воздух содержит горючие, взрывоопасные и абразивные примеси.

*Результаты.* Для заданных расходов потоков воздуха определены значения скоростей и потери давления на разных участках эжектора при разных коэффициентах эжекции –  $\beta$ . Коэффициент  $\beta$  получился немного больше единицы, что говорит о достаточно эффективной работе эжекторной установки. В случае  $\beta > 1$  очищение грязного воздуха происходит за счет подмешивания значительного количества чистого воздуха.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности применения численного моделирования при проектировании эжекторных установок низкого давления, когда по потерям давления подбирается оптимальный режим работы вентилятора.

**Ключевые слова:** промышленная вентиляция, эжекторная установка, коэффициент эжекции, численное исследование, потери давления.

**Для цитирования:** Варсегова Е. В., Осипова Л. Э., Осипов Э. В. Численное моделирование течений воздуха в эжекторной установке низкого давления // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 96–103.

#### **1. Введение**

В многоэтажных жилых зданиях существуют проблемы с микроклиматом [1-3]. Известны работы, в которых для стабилизации работы вытяжной системы вентиляции зданий различного назначения предлагают проектировать модульные эжекторные системы [4-5].

Типичным решением промышленной вентиляции являются приточно-вытяжные системы, основанные на работе вентиляторов. Такие решения вполне достаточны в сборочных, упаковочных, фасовочных цехах производств, не связанных с выделением загрязнителей, и где основной задачей вентиляции является комфортное пребывание

рабочего персонала в помещении. Если же производственный процесс связан с выделением большого количества тепла, влаги, пыли, горючих и взрывоопасных веществ, то при проектировании систем вентиляции необходимо учитывать особенности технологии производства [6-8], особенно опасность использования вентиляторов. В тех случаях, когда удаляемый воздух содержит взрывоопасные или примеси, действующие разрушающе на вентилятор, например, в окрасочных камерах или в камерных сушилках, и требуется создание незначительных динамических напоров для циркуляции воздушных потоков, используют эжекторные установки. При этом эжекторные системы имеют небольшой коэффициент полезного действия и поэтому применяются тогда, когда невозможны другие решения. В работах [9-12] приведено описание и исследование вытяжных систем вентиляции, где используются эжекторные установки, которые стабильно работают, независимо от объема выделяющихся горючих, взрывоопасных и абразивных примесей.

Методы расчета эжекторов хорошо разработаны, однако не позволяют проектировать оптимальные конструкции с минимальным энергопотреблением. Численные методы моделирования течений воздушных потоков в таких устройствах позволяют проектировать более эффективные системы [13-17].

Целью настоящей работы является численное моделирование с применением программного комплекса Ansys Fluent течений воздуха в эжекторной установке низкого давления для систем промышленной вентиляции, где отсасываемый воздух может содержать горючие, взрывоопасные и абразивные примеси

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- построение двухмерной эжекторной установки низкого давления;
- численное моделирование течений воздуха в эжекторной установке;
- определение изменения давлений, скоростей и расходов на входе и выходе, а также потери давлений на разных участках эжектора;
- определение коэффициента эжекции;
- оценка и анализ полученных результатов.

## 2. Материалы и методы

В данной работе объектом исследования является эжекторная установка низкого давления (рис. 1). Эффект эжекции заключается в том, что эжектирующий поток (активный) с более высоким давлением, движется с большой скоростью, увлекает за собой эжектируемый поток (пассивный) низкого давления. Чистый воздух, нагнетаемый расположенным вне вентилируемого помещения вентилятором – 5 высокого давления, вытекает из сопла – 1 в смесительную камеру – 3, в которую под действием разницы давлений подсасывается воздух из приемной камеры – 2 обслуживаемого помещения. Далее смесь активного и пассивного потоков через диффузор – 4 и воздуховод выводятся в атмосферу.

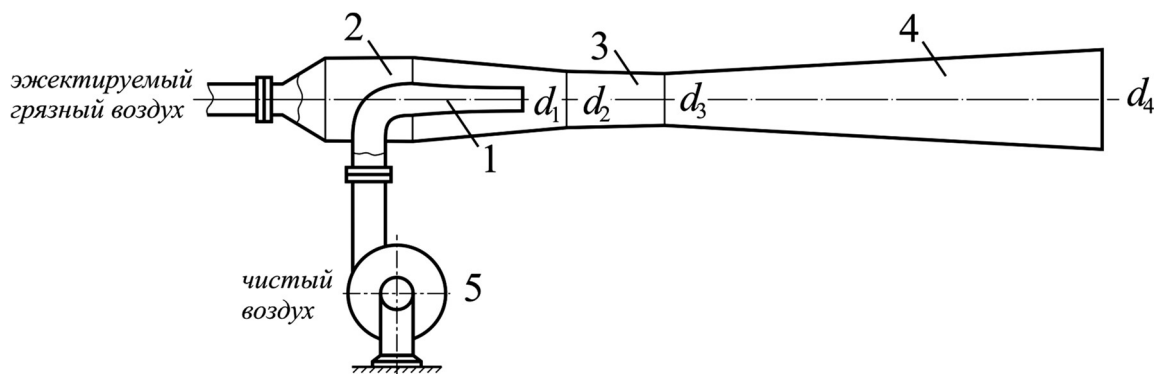


Рис. 1. Схема эжекторной установки (иллюстрация авторов):

1 – сопло; 2 – приемная камера; 3 – камера смешения; 4 – диффузор; 5 – вентилятор

В табл. 1 приведены геометрические размеры и параметры эжекторной установки.

Таблица 1

## Геометрические параметры эжекторной установки

| №         | Параметр эжектора                                | Геометрический размер, мм |
|-----------|--------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>1.</b> | <b>Сопло:</b>                                    |                           |
| 1.1       | Диаметр входного сечения трубопровода сопла      | 500                       |
| 1.2       | Диаметр выходного сечения сопла, $d_1$           | 211                       |
| <b>2.</b> | <b>Приемная камера:</b>                          |                           |
| 2.1       | Диаметр входного сечения                         | 560                       |
| 2.2       | Высота                                           | 1000                      |
| <b>3.</b> | <b>Камера смещения:</b>                          |                           |
| 3.1       | Диаметр начала камеры смещения, $d_2$            | 470                       |
| 3.2       | Диаметр выходного сечения камеры смещения, $d_3$ | 376                       |
| 3.3       | Длина камеры смещения, $l_{\text{кам}}$          | 1320                      |
| <b>4.</b> | <b>Диффузор:</b>                                 |                           |
| 4.1       | Диаметр выходного сечения диффузора, $d_4$       | 800                       |
| 4.2       | Длина диффузора                                  | 4240                      |

Обычно при проектировании эжектора низкого давления необходимо выбрать такие геометрические размеры установки, чтобы при заданных начальных параметрах и соотношении расходов газов получить требуемое давление смешанного потока либо при заданных начальном и конечном давлениях получить наибольший коэффициент полезного действия эжектора (КПД).

Основная цель расчета эжекторной установки в данной работе – получить значения давлений и скоростей в любой точке модели, расходы на границах, а также вычислить коэффициент эжекции:

$$\beta = G_{\text{ч}}/G_{\text{г}}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{г}}$  – расход эжектируемого (грязного) воздуха;  $G_{\text{ч}}$  – расход эжектирующего (чистого) воздуха, кг/с.

### 3. Результаты и обсуждение

Установка используется для помещения окрасочной камеры размером 5,4×3,4×2,5 м, где предусмотрена механическая вытяжная вентиляция методом эжекции. Из справочника проектировщика «Внутренние санитарно-технические устройства. Вентиляция и кондиционирование воздуха» подобрана типизированная эжекционная установка геометрические размеры, которой представлены в табл. 1 и выбраны для нее несколько вариантов центробежных вентиляторов.

Численное исследование течения в эжекторной установке низкого давления производилось с использованием лицензированного пакета программ ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2. Система дифференциальных уравнений турбулентного движения замыкается с помощью «стандартной»  $k-\varepsilon$  модели ( $k$  – кинетическая энергия турбулентных пульсаций,  $\varepsilon$  – удельная диссипация турбулентной энергии). Для моделирования пограничного слоя вблизи непроницаемых поверхностей приняты пристеночные функции *Standard Wall Function*.

Граничные условия:

- на входе эжектируемого (грязного) воздуха задавался расход  $G_{\text{г}}$ , кг/с;
- на входе эжектирующего (чистого) воздуха задавалось избыточное давление  $P_{\text{н}}$ , создаваемое насосом, Па;
- на выходе из эжекторной установки задавалось избыточное давление  $P_{\text{вых}}$ , Па.

Целью расчета было определить давление, скорости, расходы в характерных сечениях, потери давления на участках эжекторной установки, а также рассчитать коэффициент эжекции. Результаты расчетов представлены в табл. 2-4 и на рис. 2-3.

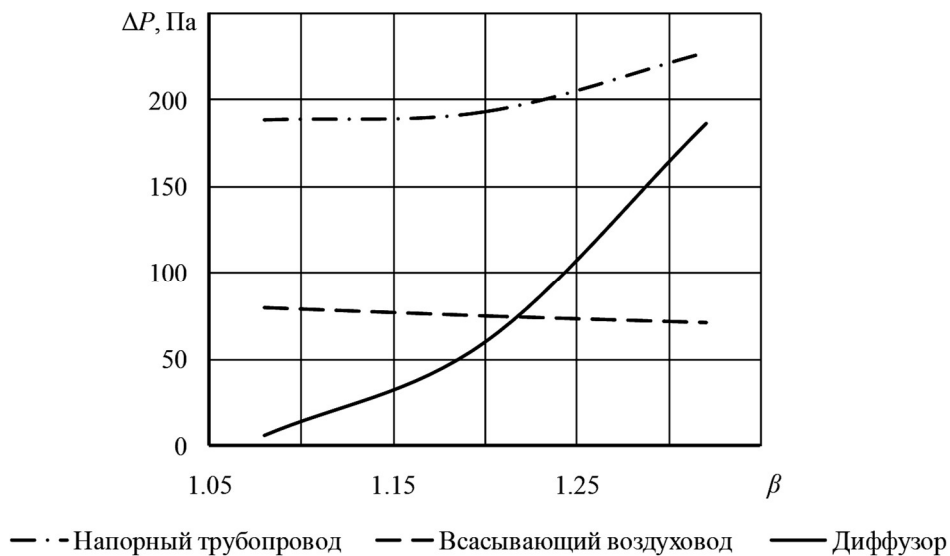


Рис. 2. Зависимость потерь давления от коэффициента эжекции (иллюстрация авторов)

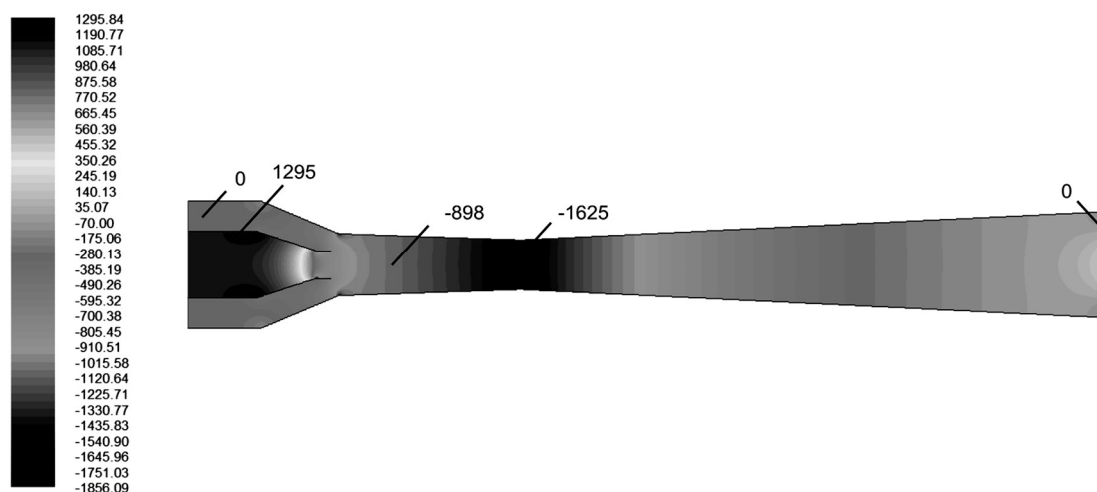
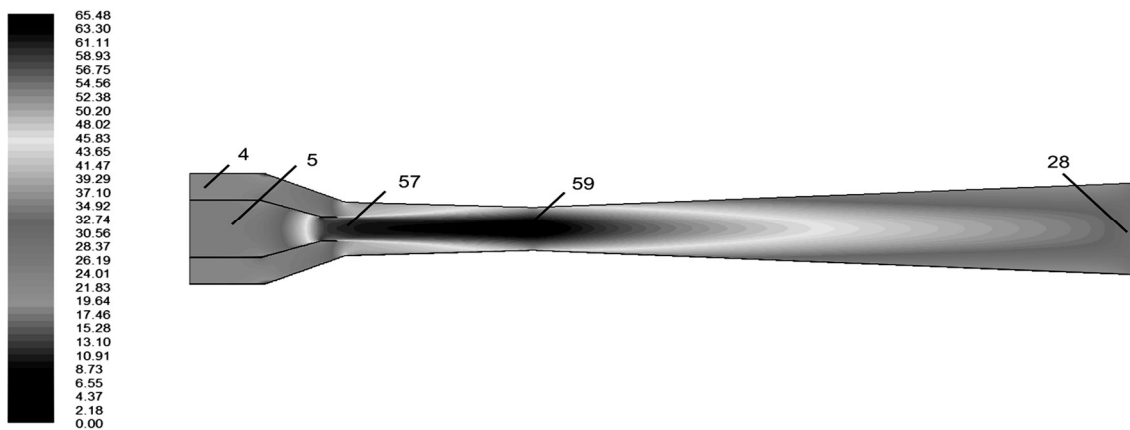
Рис. 3. Распределенные характеристики эжекторной установки (иллюстрация авторов):  
а) распределение скоростей, м/с; б) распределение избыточного статического давления, Па

Таблица 2

**Значения найденных параметров в характерных сечениях эжекторной установки**

| №  | Границы                | Расход<br>$G$ , кг/с | Скорость<br>$v$ , м/с | Избыточное<br>статическое<br>давление,<br>$P$ , Па | Избыточное<br>динамическое<br>давление,<br>$P_d$ , Па | Избыточное<br>полное<br>давление,<br>$P_n$ , Па |
|----|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|    | 1                      | 2                    | 3                     | 4                                                  | 5                                                     | 6                                               |
| 1. | Вход грязного воздуха  | 2                    | 4,3                   | 0                                                  | 11,36                                                 | 11,36                                           |
|    | Вход чистого воздуха   | 2,4                  | 5                     | 1470                                               | 15                                                    | 1485                                            |
|    | Выход чистого воздуха  | 4,4                  | 57,8                  | -759,40                                            | 2051,5                                                | 1292,10                                         |
|    | Линия смешения потоков | 4,4                  | 47,78                 | -898,48                                            | 1459,26                                               | 560,78                                          |
|    | Начало диффузора       | 4,4                  | 59,53                 | -1625,69                                           | 2185,05                                               | 559,36                                          |
|    | Выход                  | 4,4                  | 27,7                  | 0                                                  | 500                                                   | 500                                             |
| 2. | Вход грязного воздуха  | 2                    | 4,3                   | 0                                                  | 11,64                                                 | 11,64                                           |
|    | Вход чистого воздуха   | 2,64                 | 5,1                   | 1784                                               | 16                                                    | 1800                                            |
|    | Выход чистого воздуха  | 4,64                 | 60,42                 | -668,41                                            | 2240,82                                               | 1572,41                                         |
|    | Линия смешения потоков | 4,64                 | 47,77                 | -800,10                                            | 1523,12                                               | 723,02                                          |
|    | Начало диффузора       | 4,64                 | 59,53                 | -1470,24                                           | 2156,84                                               | 686,60                                          |
|    | Выход                  | 4,64                 | 27,7                  | 0                                                  | 500                                                   | 500                                             |
| 3. | Вход грязного воздуха  | 2                    | 4,3                   | 0                                                  | 11,09                                                 | 11,09                                           |
|    | Вход чистого воздуха   | 2,15                 | 2,56                  | 1196                                               | 4                                                     | 1200                                            |
|    | Выход чистого воздуха  | 4,15                 | 55,2                  | -856,17                                            | 1867,73                                               | 1011,56                                         |
|    | Линия смешения потоков | 4,15                 | 47,8                  | -1002,76                                           | 1526,07                                               | 532,31                                          |
|    | Начало диффузора       | 4,15                 | 59,5                  | -1774,96                                           | 2280,78                                               | 505,82                                          |
|    | Выход                  | 4,15                 | 27,7                  | 0                                                  | 500                                                   | 500                                             |

Таблица 3

**Значения коэффициентов эжекции установки**

| №  | Расход грязного воздуха $G_g$ , кг/с | Расход чистого воздуха $G_c$ , кг/с | Коэффициент эжекции $\beta$ |
|----|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. | 2                                    | 2,4                                 | 1,2                         |
| 2. | 2                                    | 2,64                                | 1,32                        |
| 3. | 2                                    | 2,15                                | 1,08                        |

Таблица 4

**Потери полных давлений на участках эжекторной установки**

| №  | Участок                                                                | Потери полного давления, $\Delta P$ , Па |
|----|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1. | Напорный трубопровод (от входа до выхода грязного воздуха)             | 193                                      |
|    | Всасывающего воздуховода (от входа грязного воздуха до линии смешения) | 74,81                                    |
|    | В диффузоре                                                            | 59,36                                    |
| 2. | Напорный трубопровод (от входа до выхода грязного воздуха)             | 227,59                                   |
|    | Всасывающего воздуховода (от входа грязного воздуха до линии смешения) | 70,55                                    |
|    | В диффузоре                                                            | 186,6                                    |
| 3. | Напорный трубопровод (от входа до выхода грязного воздуха)             | 188,44                                   |
|    | Всасывающего воздуховода (от входа грязного воздуха до линии смешения) | 79,56                                    |
|    | В диффузоре                                                            | 5,82                                     |

По заданному давлению на входе чистого воздуха (табл. 2) по справочнику проектировщика подбирается вентилятор. В проведенных численных экспериментах могут использоваться вентиляторы моделей В-Ц14-46-4-04 и В-Ц4-70-4-01.

Коэффициент  $\beta$  получился немного больше единицы, что говорит о достаточно эффективной работе эжекторной установки. В случае  $\beta > 1$  очищение грязного воздуха

происходит за счет подмешивания значительного количества чистого воздуха. Оптимальный коэффициент эжекции лежит в пределах 0,5-1, что соответствует высокому КПД эжекционной установки. На рис. 3 представлена качественная картина распределения скоростей и давлений в эжекторе.

Полученные в расчете значения скоростей в характерных сечениях эжекторной установки хорошо согласуются со значениями, приведенными в справочнике проектировщика.

### 5. Заключение

1. В работе выполнено численное исследование течения воздуха в эжекторной установке низкого давления. Определены изменения давлений, скоростей и расходов на входе и выходе эжектора низкого давления и потери давлений на разных участках эжектора.

2. Был определен коэффициент эжекции  $\beta$ , он получился немного больше единицы, что говорит о достаточно эффективной работе эжекторной установки. Правильно рассчитанный коэффициент эжекции существенно увеличивает энергоэффективность системы вентиляции помещения.

3. Полученные в статье результаты могут быть рекомендованы к расчету при проектировании эжекторных установок промышленных систем вентиляции, в том числе по найденным потерям давления подбирается оптимальный режим работы вентилятора.

### Список библиографических ссылок

1. Naoto Shinomiya., Satoru Takada., Tomoaki Ushio. Study on ventilation in high-rise building based on pressure differences measured at elevator doors // *Energy Procedia*. 2015. Vol. 78. P. 2712–2716.
2. Wahyu Sujatmiko, Hermawan K. Dipojono, Nugroho F. X., Soelami Soegijanto. Natural ventilation and temperature conditions in some high-rise building flats in Bandung and Jakarta in perspective of adaptive thermal comfort // *Procedia Environmental Sciences*. 2015. Vol. 28. P. 360–369. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.07.045.
3. Ali Shafiei Fini, Ali Moosavi. Effects of «wall angularity of atrium» on «buildings natural ventilation and thermal performance» and CFD-model // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 121. P. 265–283. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.12.054.
4. Шонина Н. А. Вентиляция для многоэтажных жилых зданий // *АВОК*. 2013. № 6. С. 22–37.
5. Модульная вытяжная система вентиляции высотных и промышленных зданий : пат. 113818 Рос. Федерация. № 2011142710/12 ; заявл. 21.10.2011 ; опубл. 27.02.2012. Бюл. № 6. 14 с.
6. Боломатов В. Н. Особенности проектирования вентиляции производственных цехов // *АВОК*. 2020. № 1. С. 46–51.
7. Живов А. М., Nielsen Peter V., Riskowski Gerald, Шилькрот Е. О. Системы вытесняющей вентиляции для промышленных зданий: типы, область применения, принципы проектирования // *АВОК*. 2001. № 5. С. 36–47.
8. Ватузов Д. Н., Пуринг С. М. Методика подбора и расчета аппаратов очистки воздуха // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2016. № 2 (23). С. 14–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.3.
9. Осипов Э. В., Осипова Л. Э. Расчет эжекционной системы аспирации воздуха с помощью универсальной моделирующей программы CHEM CAD // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. № 9 (17). С. 221–223.
10. Osipov E. V., Telyakov E. Sh., Sadykov K. S. Optimal design process of a steam jet vacuum system for a hydrocracking unit // *Chemical and petroleum engineering*. 2016. Iss. 52. P. 339–343. DOI: 10.1007/s10556-016-0196-3.
11. Telyakov E. S., Osipov E. V., Bugembe D. Reconstruct a vacuum column injector system using computer modeling. Part 1 // *Hydrocarbon processing*. 2018. № 10 (97). P. 83–87.
12. Telyakov E. S., Osipov E. V., Bugembe D. Reconstruct a vacuum column injector system using computer modeling. Part 2 // *Hydrocarbon processing*. 2018. № 11 (97). P. 61–64.

13. Хоперсков А. В., Шафран Ю. В., Бутенко М. А. Численное моделирование вентиляционных течений в промышленных помещениях // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 2 (6). С. 98–102.
14. Пастухова Л. Г., Плешков С. Ю., Жаровцева О. А., Шаркунова Е. Д. Численное моделирование вентиляции цеха чугунного литья // Научный Альманах. 2015. № 12-2 (14). С. 134–139.
15. Зиганшин А. М., Батрова К. Э., Гимадиева Г. А. Численное определение характеристик течения через последнее боковое отверстие в воздуховоде // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 7 (715). С. 53–65.
16. Wei Xiong Chen, Chen Xi Huang, Yu Ping Bai, Dao Tong Chong, Jun Jie Yan, Ji Ping Liu. Experimental and numerical investigation of two phase ejector performance with the water injected into the induced flow // International journal of advanced nuclear reactor design and technology. 2020. Vol. 2. P. 15–24. DOI: 10.1016/j.jandt.2020.01.001.
17. X. Yang, X. Long, X. Yao. Numerical investigation on the mixing process in a steam ejector with different nozzle structures // International journal of thermal sciences. 2012. Vol. 56. P. 95–106. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2012.01.021.

**Varsegova Evgeniya Vladislavovna**

candidate of physical-mathematical sciences, associate professor

E-mail: evarsegova@yandex.ru

**Osipova Liliya Eduardovna**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: osipovalilija@mail.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Osipov Eduard Vladislavovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: eduardvosipov@gmail.com

**Kazan National Research Technological University**

The organization address: 420015, Russia, Kazan, Karl Marx st., 68

**Numerical simulation of air flows in a low-pressure ejector system****Abstract**

*Problem statement.* Production processes are accompanied by the release of flammable, explosive, and substances that are hazardous to health of workers, the composition and volume of which is determined by the production technology. Industrial ventilation systems move large volumes of air, purify the air from various pollutants, or dilute the concentration of harmful substances to the maximum permissible concentration values. It is rather difficult to single out typical solutions for the construction of industrial ventilation systems. CFD-modelling methods can help in their design, in particular, when determining the patterns of operation of ejection systems in paint booths.

The purpose of this work is numerical simulation of air flows in a low-pressure ejector system for industrial ventilation systems, where the aspirated air contains flammable, explosive, and abrasive impurities.

*Results.* For the given airflow rates, the values of velocities, and pressure losses in different sections of the ejector at different ejection coefficients  $\beta$  are determined. The  $\beta$  coefficient turned out to be slightly more than one, which indicates a very efficient operation of the ejector system. In the case of  $\beta > 1$ , the purification of dirty air occurs by mixing a significant amount of clean air.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is in the possibility of using numerical modeling in the design of low-pressure ejector systems when the optimal operating mode of the fan is selected based on pressure loss.

**Keywords:** industrial ventilation, ejector system, ejection coefficient, numerical study, pressure loss.

**For citation:** Varsegova E. V., Osipova L. E., Osipov E. V. Numerical simulation of air flows in a low-pressure ejector system // *Izvestiya KGASU*. 2020. № 4 (54). P. 96–103.

### References

1. Naoto Shinomiya, Satoru Takada, Tomoaki Ushio. Study on ventilation in high-rise building based on pressure differences measured at elevator doors // *Energy Procedia*. 2015. Vol. 78. P. 2712–2716.
2. Wahyu Sujatmiko, Hermawan K. Dipojono, Nugroho F. X., Soelami Soegijanto. Natural ventilation and temperature conditions in some high-rise building flats in Bandung and Jakarta in perspective of adaptive thermal comfort // *Procedia Environmental Sciences*. 2015. Vol. 28. P. 360–369. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.07.045.
3. Ali Shafiei Fini, Ali Moosavi. Effects of «wall angularity of atrium» on «buildings natural ventilation and thermal performance» and CFD-model // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 121. P. 265–283. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.12.054.
4. Shonina N. A. Ventilation for multistory residential buildings // *AVOK*. 2013. № 6. P. 22–37.
5. Modular exhaust ventilation system for high-rise and industrial buildings : patent 113818 of the Rus. Federation. № 2011142710/12 ; decl. 21.10.2011 ; publ. 27.02.2012. Bull. № 6. 14 p.
6. Bolomatov V. N. Features of the design of production shops ventilation // *AVOK*. 2020. № 1. P. 46–51.
7. Zhivov A. M., Nielsen Peter V., Riskowski Gerald, Shilkrot E. O. Displacement ventilation systems for industrial buildings: types, scope, design principles // *AVOK*. 2001. № 5. P. 36–47.
8. Vatzov D. N., Puring S. M. Methodology for the selection and calculation of air purification devices // *Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arkhitektura*. 2016. № 2 (23). P. 14–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.3.
9. Osipov E. V., Osipova L. E. Calculation of the ejection system of air aspiration using the universal modeling program CHEM CAD // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. № 9 (17). P. 221–223.
10. Osipov E. V., Telyakov E. Sh., Sadykov K. S. Optimal design process of a steam jet vacuum system for a hydrocracking unit // *Chemical and petroleum engineering*. 2016. Iss. 52. P. 339–343. DOI: 10.1007/s10556-016-0196-3.
11. Telyakov E. S., Osipov E. V., Bugembe D. Reconstruct a vacuum column injector system using computer modeling. Part 1 // *Hydrocarbon processing*. 2018. № 10 (97). P. 83–87.
12. Telyakov E. S., Osipov E. V., Bugembe D. Reconstruct a vacuum column injector system using computer modeling. Part 2 // *Hydrocarbon processing*. 2018. № 11 (97). P. 61–64.
13. Khoperskov A. V., Shafran Yu. V., Butenko M. A. Numerical modeling of ventilation flows in industrial premises // *Yuzhno-Sibirskiy nauchnyy vestnik*. 2014. № 2 (6). P. 98–102.
14. Pastukhova L. G., Pleshkov S. Yu., Zharovtseva O. A., Sharkunova E. D. Numerical simulation of iron casting workshop ventilation // *Nauchnyy Almanakh*. 2015. № 12-2 (14). P. 134–135.
15. Ziganshin A. M., Batrova K. E., Gimadieva G. A. Numerical determination of flow characteristics through the last lateral opening in the air duct // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo*. 2018. № 7 (715). P. 53–65.
16. Wei Xiong Chen, Chen Xi Huang, Yu Ping Bai, Dao Tong Chong, Jun Jie Yan, Ji Ping Liu. Experimental and numerical investigation of two phase ejector performance with the water injected into the induced flow // *International journal of advanced nuclear reactor design and technology*. 2020. Vol. 2. P. 15–24. DOI: 10.1016/j.jandt.2020.01.001.
17. X. Yang, X. Long, X. Yao. Numerical investigation on the mixing process in a steam ejector with different nozzle structures // *International journal of thermal sciences*. 2012. Vol. 56. P. 95–106. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2012.01.021.