

Киреев В.М., канд. техн. наук, доц.,  
Бурьянов И.А., студент,  
Жилина С.С., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ АСПИРАЦИОННОЙ ВОРОНКИ

vit31rus@mail.ru

В данной статье ставится задача определения оптимальной высоты аспирационной воронки, при которой будет происходить минимальный пылеунос в систему аспирации. Как известно, наиболее эффективным способом обеспыливания при перегрузках материалов являются системы аспирации, для работы которых требуется до 20% оборотных средств предприятия. Проводя анализ можно утверждать, что энергоёмкость аспирационных систем, в первую очередь, определяется работой аспирационного укрытия. Одним из перспективных направлений снижения энергоёмкости аспирационных систем, является использование укрытий как первой ступени очистки воздуха. Аспирационная воронка является важным элементом аспирационного укрытия, влияющая на его пылеочистную способность, однако в нормативных документах отсутствуют рекомендации по их проектированию. Представлена наиболее предпочтительная конструкция аспирационного укрытия, использование которой позволяет снижать как концентрацию пыли на выходе, так и требуемые объёмы аспирируемого воздуха. Приведено описание эксперимента, задачей которого являлось определение оптимальной высоты аспирационной воронки. В статье представлены рекомендации, полученные в результате эксперимента, необходимые при конструировании аспирационной воронки укрытия, выступающего в качестве первой ступени очистки воздуха.

**Ключевые слова:** пылевыделение при перегрузках сыпучих материалов, снижение энергоёмкости аспирационных систем, энергоэффективные аспирационные укрытия, высота аспирационной воронки укрытия.

**Введение.** Предприятия, в технологическом процессе которых имеется перегрузка сыпучих материалов, являются мощными источниками пылевых загрязнений атмосферы. На поддержание требуемых ПДК пыли в рабочей зоне и ПДВ на выбросе в атмосферу в разной степени тратятся как основные, так и оборотные средства предприятия, что отражается на их конкурентоспособности.

Для обеспечения требуемых санитарно – гигиенических норм материалов необходимо использовать полный комплекс инженерных систем по борьбе с пылью. Он должен включать в себя аспирацию (местная вытяжная вентиляция), гидросмыв или централизованную вакуумную пылеборку (ЦПУ) и общеобменную вентиляцию. Определяющей из этих систем является система аспирации, от работы которой зависит требуемая производительность всего комплекса обеспыливания. [1] К примеру, производительность системы общеобменной приточной вентиляции определяется производительностью системы аспирации и необходима для того, чтобы компенсировать удаляемые из помещения объёмы аспирируемого воздуха.

Энергоёмкость аспирационных систем обуславливается мощностью, потребляемой вентилятором, которая зависит от объёмов аспирируемого воздуха, перемещаемого по воздуховодам системы, и их гидравлического сопротивления, значительную часть которого (более 50 %) составляют потери давления в циклонах – наибо-

лее распространенных пылеуловителях системы [2]. Также энергоёмкость систем аспирации зависит от затрат на очистку аспирационного воздуха [3].

Построение аспирационных систем, отвечающих санитарным и экономическим нормам, сводится к обеспечению невыбивания пыли из укрытия при минимальном объеме отсасываемого воздуха и минимальной концентрации материала в аспирируемом воздухе [4]. Данные условия работы аспирационной системы возможны только в случае применения грамотно сконструированных аспирационных укрытий [5]. Таким образом, эффективность работы системы аспирации, зависит в первую очередь, от работы аспирационного укрытия, которое предотвращает поступление вредностей в рабочую зону [6].

Наиболее простым из существующих аспирационных укрытий является аспирационное укрытие с одинарными стенками (рис. 2) [7]. Оно представляет собой П-образный металлический кожух, образованный боковыми 7, передней 1 и задней 9 стенками, уплотнённый внизу гибкими вставками из конвейерной ленты 10, 11. Эжектируемый запылённый воздух, который поступает вместе с перегружаемым материалом по желобу 6, удаляется посредством аспирационной воронки 4. Уплотнительные фартуки 2, как правило, дублируются, с целью снижения неплотностей, которые возникают при выходе транспортируемого материала из укрытия.

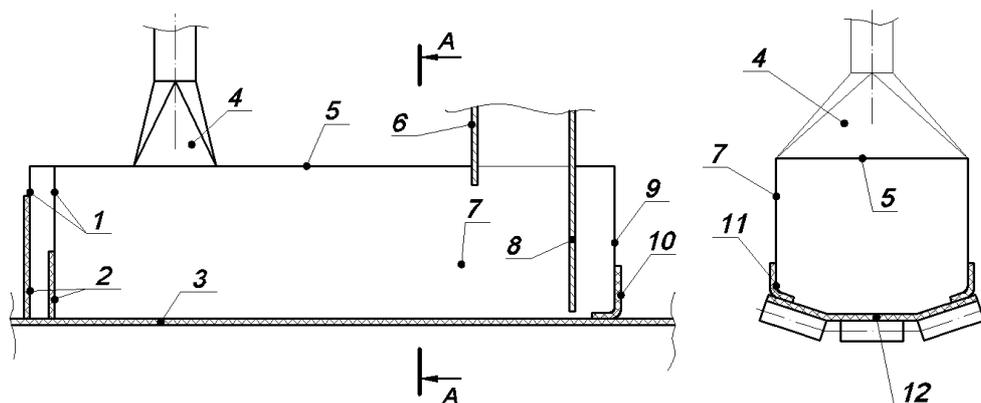


Рис. 1. Конструкция аспирационного укрытия с одинарными стенками: 1 – передняя стенка укрытия; 2 – уплотнительные фартуки; 3 – конвейерная лента; 4 – аспирационная воронка; 5 – верхняя крышка укрытия; 6 – перегрузочный желоб; 7 – боковая стенка; 8 – отбойная плита; 9 – задняя стенка укрытия; 10, 11 – боковые и торцевое уплотнения

Данное укрытие энергоёмко, так как для его работы необходимы повышенные объёмы аспирируемого воздуха и двухступенчатая схема очистки воздуха.

Таким образом, по нашему мнению, наиболее перспективным направлением, позволяющим значительно снизить энергоёмкость аспирационной системы, эксплуатационные расходы, сократить выброс пыли в атмосферу, а также повысить их надёжность является совершенствование конструкции аспирационного укрытия, то есть внедрения его как первой ступени очистки воздуха вместо циклона [8]. Поэтому для осуществления данной возможности необходимо иметь подходящую конструкцию аспирационного укрытия и методику её расчета.

На сегодняшний день существует основополагающая методика, подтвержденная многочисленными экспериментами [7] по определению параметров работы укрытия и определяющая их основные конструктивные особенности, однако имеются ряд моментов, на которые следует обратить внимание.

Проведя литературный обзор, нами было отмечено, что в нормативных документах и технической литературе, в том числе и имеющейся методике [1], нет указаний по конструированию аспирационных воронок. Это можно отнести к существенному недостатку методики расчета укрытий, ведь известно, что унос пыли зависит не от средней скорости всасывания, а от распределения поля скоростей в рассматриваемом сечении.

При уменьшении скорости движения воздуха и обеспечении равномерного поля скоростей в плоскости приемных отверстий аспирационных воронок унос пылевидных частиц в удаляемом воздухе значительно снижается [8]. В результате уменьшается пылевая нагрузка на воздуховоды и пылеуловители и в конечном итоге

снижается концентрация пыли в вентиляционных выбросах. Таким образом, разработка указаний по конструированию аспирационных воронок является весьма актуальной задачей.

Наиболее предпочтительная конструкция укрытия, подходящая для использования в качестве первой ступени очистки воздуха, представлена на (рис. 3) [9]. Данная конструкция отвечает основным переделываемым требованиям: минимальные объёмы аспирации и пылеунос материала, низкая вероятность выбивания пыли в область рабочей зоны, простота конструкции. Характерной отличительной особенностью данного укрытия является наличие угла наклона жёсткой перегородки 6, по отношению к верхней крышке 7, навстречу движению эжекционного потока воздуха. Данное усовершенствование конструкции меняет характер движения двухфазного потока в укрытии, увеличивая эффективность его работы как пылеулавливающей конструкции [6].

Благодаря тому, что на пути движения эжекционного воздуха установлена наклонная жесткая перегородка, возникает дополнительное аэродинамическое сопротивление, которому способствует зона вихреобразования, возникающая в пространстве между верхней крышкой и наклонной перегородкой. В вихре происходит потеря кинетической энергии частиц пыли крупной фракции, что способствует более интенсивному их осаждению в аспирационном укрытии. Помимо образования вихря за счет изменения угла наклона значительно увеличивается и влияние инерционных сил на частицу пыли по сравнению с вертикальной перегородкой. Всё это приводит к значительному снижению концентрации пыли в аспирируемом воздухе [10], [11].

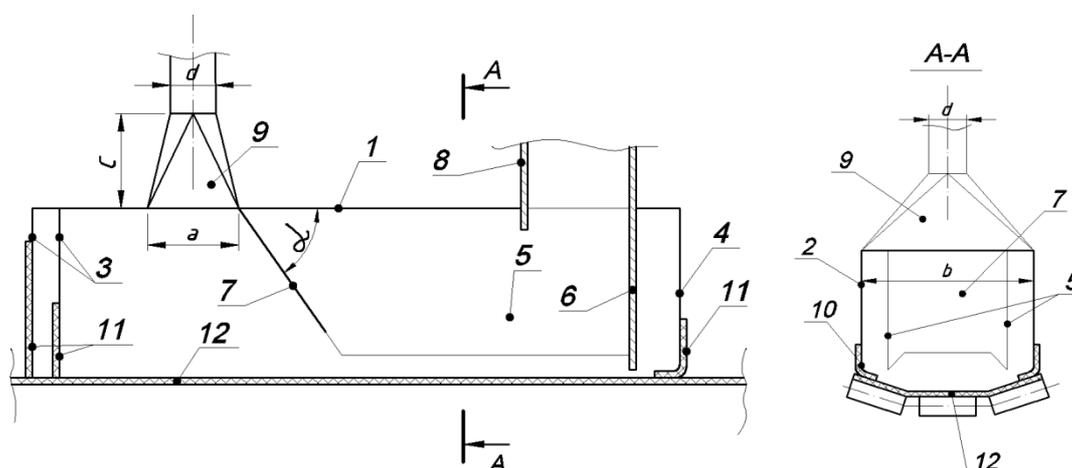


Рис. 2. Разработанная конструкция аспирационного укрытия с двойными стенками и наклонной жесткой перегородкой: 1 – передняя стенка укрытия; 2 – уплотнительные фартуки; 3 – конвейерная лента; 4 – аспирационная воронка; 5 – боковые наружные стенки; 6 – внутренняя, наклонная, жесткая перегородка; 7 – верхняя крышка укрытия; 8 – перегрузочный желоб; 9 – боковые внутренние стенки; 10 – отбойная плита; 11 – задняя стенка укрытия; 12 – боковые и торцевое уплотнения

Таким образом определение высоты аспирационной воронки в рассматриваемом укрытии еще более увеличит его пылеочистную способность, снизив тем самым энергоёмкость системы.

Как было отмечено выше, задачей является определить высоту воронки  $c$  (рис. 2), используя полученные результаты для других типоразмеров укрытий. Это возможно при соблюдении условий подобия. Главным условием подобия аэродинамических процессов является геометрическое подобие, для обеспечения которого размеры должны соответствовать единому масштабу линейных размеров, а так же подобие скоростей в соответствующих точках.

$$M_1 = \frac{l_m}{l_n} \quad (1)$$

где  $l_m$  – размер исследуемой модели;  $l_n$  – соответствующий проектный размер;

Из уравнения постоянства расходов получим:

$$Q_a = V_1 S_1 = V_2 S_2 \quad (2)$$

$$Q_a = V_{вх} S_{вор} = V_{возд} S_{возд} \quad (3)$$

где  $V_{вх}$  – средняя скорость движения запыленного воздуха на входе в аспирационную воронку, м/с;  $Q_a$  – объём аспирации, м<sup>3</sup>/с;  $V_{возд}$  – средняя скорость движения запыленного воздуха в воздуховоде, м/с;

Учитывая (1) запишем

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\pi d^2}{4ab} = m \quad (4)$$

где  $a$  – длина аспирационной воронки (рис. 3), м;  $b$  – ширина аспирационной воронки соответствующая ширине укрытия (рис. 3), м;  $d$  – диаметр воздуховода (рис. 3), м.

Таким образом, проведя численный эксперимент на модели укрытия, мы сможем использовать полученные результаты на других типоразмерах укрытий, при соблюдении условия(4).

Для решения поставленной задачи нами было принято решение использовать моделирование процессов движения двухфазного потока в укрытии и аспирационной воронке с помощью программного комплекса объёмного моделирования SolidWorks и приложение к нему COSMOSFloWorks [12].

В основе COSMOSFloWorks, как и любой другой расчетной методики, лежит, во-первых, математическая модель рассчитываемых физических процессов и, во-вторых, способ решения поставленной математической задачи. Работа программы основана на решении уравнения Навье-Стокса, описывающего в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии исследуемой среды. Для дискретизации дифференциальных уравнений в COSMOSFloWorks используется метод конечных объемов. В основе метода лежит дискретизация объекта с целью решения уравнений механики сплошной среды в предположении, что эти соотношения выполняются в пределах каждой из элементарных областей. Эти области называются конечными элементами. Соответственно, дискретизация непрерывной математической модели состоит в том, что значения физических переменных рассчитываются (и хранятся) только в центрах расчетных ячеек, а на гранях этих ячеек рассчитываются потоки массы, импульса, энергии, необходимые для расчета этих значений.

Проведение численного эксперимента было направлено на определение оптимальной высоты аспирационной воронки, при которой будет

происходить минимальный пылеунос в аспирационную сеть с соблюдением условия невыбивания воздуха из укрытия. Численный эксперимент проводился при начальных условиях характерных для узлов перегрузки строительных материалов, при конструктивных параметрах:

$$m = \frac{S_{\text{вор}}}{S_{\text{возд}}} = \frac{V_{\text{возд}}}{V_{\text{вх}}} = 14,1 \quad (5)$$

Частичные графические результаты эксперимента представлены на (рис. 3).

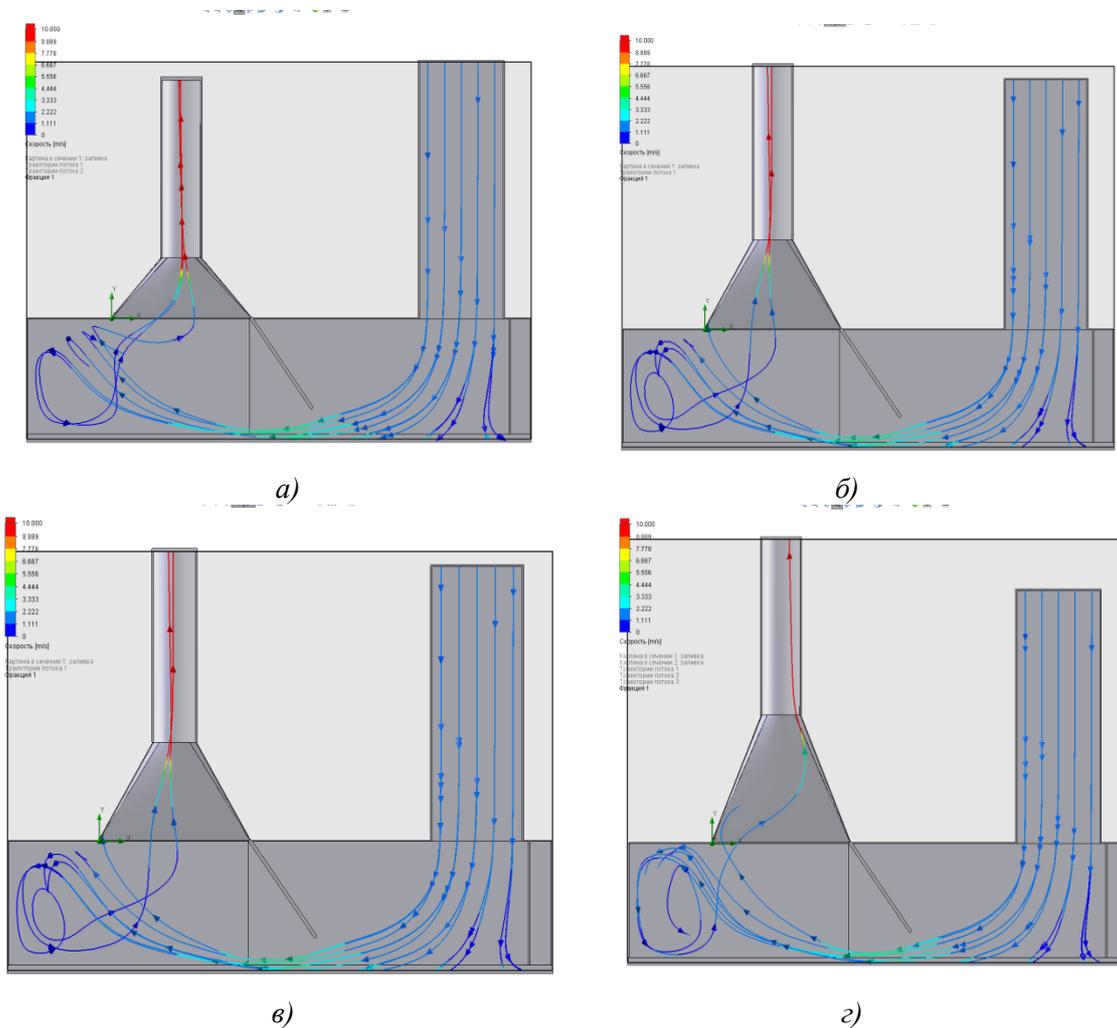


Рис. 3. Траектории движения частиц пыли в рассматриваемом аспирационном укрытии а) с высотой воронки 200 мм; б) с высотой воронки 300 мм; в) с высотой воронки 400 мм; в) с высотой воронки 500 мм;

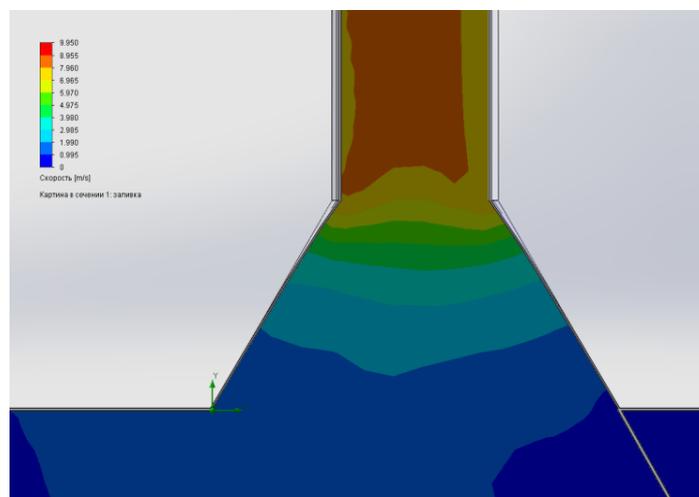


Рис. 4. Пример распределение поля скоростей в аспирационной воронке полученное при помощи численного эксперимента

После обработки результатов эксперимента нами было получено оптимальное значение высоты аспирационной воронки:

$$h=2,7d \quad (6)$$

Высоту аспирационной воронки было принято определять в зависимости от диаметра воздуховода  $d$ , соблюдая тем самым необходимые требования подобия процессов.

Таким образом, конструируя аспирационную воронку предварительно определив значения объёмов аспирации  $Q_a$ , и исходя из этого подобрав наиболее подходящий диаметр, необходимо определить значение длины аспирационной воронки из (4):

$$a = \frac{pd^2}{4mb} = \frac{pd^2}{56,4b} \quad (7)$$

а затем определить высоту аспирационной воронки.

**Заключение.** В результате проведенного анализа экспериментальных данных нами было установлено, что при соотношении диаметра воздуховода к длине воронке  $d/a=0,3$  оптимальная высота аспирационной воронки должна составлять  $h=2,7d$ .

**Выводы.** Таким образом, нами были получены данные, необходимые при конструировании аспирационной воронки укрытия, выступающего в качестве первой ступени очистки воздуха. Полученные данные позволяют уменьшить концентрацию пыли на выходе аспирационного укрытия, изменить её дисперсный состав, снизив тем самым энергоёмкость системы аспирации в целом.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Киреев В.М., Гольцов А.Б., Минко В.А. Расчет и разработка аспирационных укрытий мест перегрузок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №3. С. 114–117.
2. Киреев В.М. Повышение энергоэффективности систем аспирации при перегрузке сыпучих материалов // XXI научные чтения: юбилейная международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. С. 59–63.
3. Киреев В.М. и др. Разработка конструкций аспирационных укрытий и методов их расчета на предприятиях стройиндустрии // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.1. С.214–219.

4. Киреев В.М., Гольцов А.Б., Киреев В.М., Феоктистов А.Ю. Исследование конструкции аспирационного укрытия для применения в стеснённых условиях // Экология промышленного производства. 2013. №1 (81). С. 2–5.

5. Бурьянов И.А. Разработка и исследование работы энергоэффективного аспирационного укрытия // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 996–1000.

6. Жилина С.С. Перспективы снижения энергоёмкости систем аспирации // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 1058–1062.

7. Минко В.А. Комплексное обеспыливание производственных помещений при транспортировании и механической переработке сыпучего минерального сырья: дисс. .... докт. техн. наук. БТИСМ им. И.А. Гришманова. Белгород, 1988. 513 с.

8. Киреев, В.М. Совершенствование конструкций аспирационных укрытий с целью снижения запылённости при перегрузке формовочных масс в литейных цехах: дисс. ... канд. техн. наук. БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2013. 203 с.

9. А. с. <sup>(19)</sup> RU<sup>11</sup> 97438<sup>13</sup>U1 Российская Федерация, 51 МПК E21F 5/00 (2006.01). Аспирационное укрытие мест перегрузки сыпучего материала. Киреев В.М. и др, заявка 2010114489/03 заявл. 12.04.2010; опубл. 10.09.2010, Бюл. №25.- 2 с.

10. Киреев В.М. и др. К вопросу совершенствования аспирационных укрытий // Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: междунар. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. С. 234–236.

11. Киреев В.М., Минко В.А. Разработка аспирационных укрытий и инженерной методики их расчёта // Безопасность труда в промышленности, 2013. №2. С. 42–46.

12. Киреев В.М., Минко В.А., Логачёв И.Н. Использование программных комплексов при исследовании работы аспирационных укрытий // Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: междунар. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. С. 45–49.

---

**Kireev V.M., Buryanov I.A., Jilina S.S.****DETERMINATION OF THE HEIGHT OF THE SUCTION FUNNEL**

*This article deals with the problem of determining the optimal height of the suction funnel, when there will be minimal dust discharge in the aspiration system. As you know, the most effective method of dust control during overload materials is aspiration systems which require up to 20% of company's current assets. Conducting the analysis it can be argued that the energy consumption of vacuum systems, primarily determined by effect of the suction cover. One of the promising areas for reducing energy intensity of vacuum systems is the using of shelters as a first stage of air cleaning. Aspiration funnel is an important element of the suction cover which affects the ability of the trapping plants, but in the regulations there are no recommendations for their design. Presented the preferred design of the suction cover which allows to reduce the concentration of dust at the output and the required amount of air is aspirated. There is the experiment description, the aim of which was to determine the optimal height of the suction funnel. The article presents the recommendations resulting from the experiment necessary in constructing of the suction funnel of the shelter, acting as the first stage of air cleaning.*

**Key words:** *Dust pollution during transshipment of bulk materials, reducing energy consumption of vacuum systems, energy-efficient suction cover, the height of the suction funnel.*

---

**Киреев Виталий Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

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

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

E-mail: vit31rus@mail.ru

**Бурьянов Иван Александрович**, студент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

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

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

E-mail: Buryanov.vanya@yandex.ru

**Жилина София Сергеевна**, студент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

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

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

E-mail: Sofyjilina@gmail.com