

**Чальцев М. Н., Войцеховский С. В.**

*Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЖЕКТОРА ДЛЯ СБРОСА ВОЗДУХА ИЗ МАЛОГАБАРИТНОГО КАМЕРНОГО ПИТАТЕЛЯ**

*Анализируется возможность применения эжектора для сброса запыленного воздуха из малогабаритного камерного питателя с целью улучшения условий его загрузки и повышения производительности пневмотранспортной системы.*

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

В настоящее время в связи со стоящими перед экономикой задачами по энергосбережению и созданию «экологически чистых» технологий в промышленности на ряде предприятий Украины проводится комплекс работ по модернизации и реконструкции устаревших технологий. При этом особое значение приобретает возможность проведения такой модернизации без значительных капитальных вложений и неизбежной в этих случаях приостановки или снижения уровня производства. Этого можно избежать, если «приспособить» новые разработки к существующим технологиям так, чтобы они вписывались в производственный процесс без значительных переделок оборудования. Для выполнения данного условия зачастую не подходят известные технологии, и возникает необходимость использования нестандартных решений. Это относится и к работам по совершенствованию системы пневмотранспорта угольной пыли на Славянской ТЭС. При ее модернизации на участке транспортирования угольной пыли от пылеприготовительного цеха (ППЦ) к приемному бункеру энергоблока возникла необходимость замены пневмовинтовых насосов на другой тип питателя [1].

В пневмовинтовых насосах подача сыпучего материала из приемного бункера в транспортный трубопровод осуществляется шнеком, вращаемым приводным электродвигателем. Недостатками такого типа питателей являются износ шнека и затраты энергии на его вращение, а также возможность прорыва сжатого воздуха из транспортного трубопровода в бункер, что ухудшает условия загрузки камеры питателя. В настоящее время в новых разработках предпочтение отдается более современным камерным питателям. Однако камерный питатель обладает значительно большими размерами по сравнению с пневмовинтовым насосом и не может его заменить в действующих системах пневматического транспорта без значительных переделок как бункера, так и транспортной линии. Поэтому был сделан выбор в пользу малогабаритного камерного питателя (рисунок 1), который от обычного отличается малым объемом камеры, конструкцией и расположением грузовых клапанов.

Для обеспечения требуемой производительности питателя в 60 т/час при ограниченных размерах камеры необходимо сократить время рабочего цикла, состоящего из загрузки угольной пыли и её выгрузки. Сократить время выгрузки можно за счет повышения давления сжатого воздуха 10, подаваемого в верхнюю часть камеры. Но питание воздухом осуществляется от общей производственной сети, и повысить его давление без установки дополнительных компрессоров невозможно. Что касается длительности процесса загрузки, то его можно сократить путем создания разрежения в камере и улучшения условий поступления угольной пыли из бункера 11. К сожалению, существующая система аспирации воздуха ППЦ не обеспечивает достаточного разрежения, а порой при значительных нагрузках в ней наблюдалось избыточное давление.

В то же время в момент загрузки камерного питателя угольной пылью по параллельной линии в транспортный трубопровод продолжает поступать сжатый воздух 7, необходимый для поддержания процесса транспортирования находящегося в трубопроводе материала.

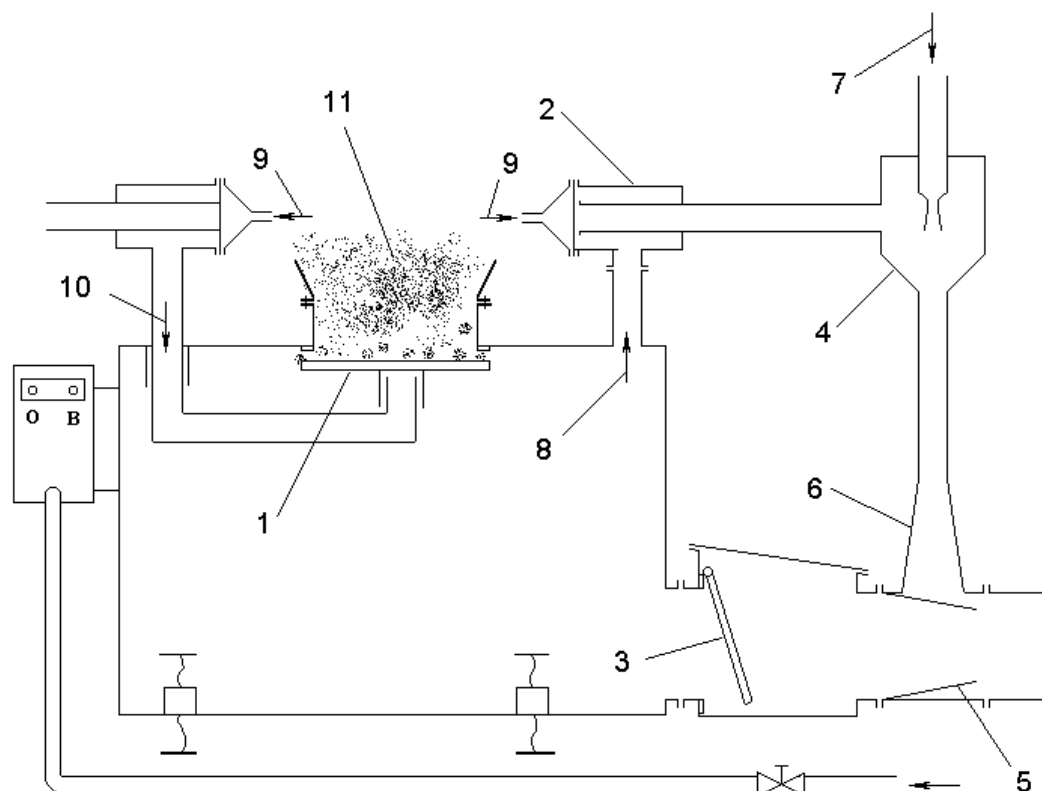


Рисунок 1 – Схема камерного питателя с эжектором для сброса воздуха:  
 1 – клапан загрузочный, 2 – клапан сброса воздуха, 3 – клапан разгрузочный, 4 – эжектор,  
 5 – завихритель, 6 – диффузор, 7 – рабочий поток, 8 – инжектируемый поток, 9 – сигналы  
 управления, 10 – основной поток при выгрузке из камеры, 11 – бункер

Установка в эту линию эжектора 4 перед транспортным трубопроводом позволила создать разрежение и сброс в трубопровод пыльного воздуха, вытесняемого из камерного питателя при его загрузке. При этом решилась задача не только улучшения условий загрузки материала в независимости от состояния цеховой системы аспирации, но и улучшилось экологическое состояние всей пневмотранспортной системы, поскольку вся угольная пыль в конечном итоге попадает в трубопровод и не загрязняет атмосферу.

Эжекторы в камерных питателях для сброса воздуха в процессе деаэрации в транспортный трубопровод применялись и ранее (например, насос западногерманской фирмы «КлаудиусПетерс») [2]. Отличие предложенной нами схемы от известных состоит в том, что из-за ограниченности габаритов камерного питателя по высоте не представлялось возможным конструктивно выполнить соосно эжектор и трубопровод (для этого пришлось бы поднять питатель, и уменьшить уже существующий небольшой объем камеры). Такая схема использования эжектора может быть реализована, если нет ограничений по высоте питателя. В связи с тем, что ось эжектора и трубопровода образовывали угол близкий к  $90^\circ$ , пришлось решать дополнительные вопросы, связанные с устранением негативного влияния пересечения основного потока в трубопроводе и потока от эжектора на параметры транспортирования, а также увеличением абразивного износа трубопровода.

## РАЗРАБОТКА ЭЖЕКТОРА

При разработке эжектора для сброса воздуха из камерного питателя в транспортный трубопровод необходимо было учитывать то, что по условиям эксплуатации давление воздуха определялось существующей системой подготовки воздуха ППЦ и ограничивалось максимальным значением в 0,25 МПа. Поэтому степень расширения рабочего потока в

эжекторе была небольшая ( $< 3,5$ ), что на много ниже, чем у существующих промышленных образцов (порядка 10 и выше). Максимальное же значение степени сжатия рабочего и инжектируемого потоков составляло 1,5, что определило цилиндрическую форму камеры смешения, которая дает наибольшую степень восстановления давления по сравнению с камерами другого профиля. Кроме того, поскольку камерный питатель работает в циклическом режиме, то давление инжектируемого (сбрасываемого из камеры) потока периодически изменяется от максимального значения до атмосферного и ниже, что также отличается от режима эксплуатации большинства стандартных эжекторов. С учетом конструктивных особенностей расчетной схемы эжектора и рабочих характеристик входящего и инжектируемого потоков был разработан простейший эжектор со следующими исходными данными:

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| – расход рабочего воздуха (при атмосферном давлении) | $G_a = 2700 \text{ м}^3/\text{ч};$ |
| – расход инжектируемого потока (при 90 циклах в час) | $G_u = 500 \text{ м}^3/\text{ч};$  |
| – давление (абсолютное) перед эжектором              | $p_p = 0,35 \text{ МПа};$          |
| – давление (абсолютное) инжектируемого потока        | $p_u = 0 \dots 0,35 \text{ МПа};$  |
| – давление (абсолютное) на выходе эжектора           | $p_c = 0,2 \text{ МПа};$           |
| – средняя температура                                | $T = 373^\circ \text{ К};$         |
| – показатель адиабаты                                | $k = 1,4;$                         |
| – диаметр транспортного трубопровода                 | $D = 300 \text{ мм}.$              |

При расчете геометрических параметров эжектора использовалась методика, предложенная в [3]. Минимальный коэффициент инжекции из расчета требуемой производительности должен составлять

$$u_{\min} = \frac{G_u}{G_a} = \frac{500}{2700} = 0,19.$$

При расчете струйных аппаратов удобно использовать газодинамические функции, связывающие приведенную изоэнтропную (адиабатическую) скорость потока газа с его термодинамическими параметрами. Под приведенной изоэнтропной скоростью понимается отношение скорости газа при его адиабатном течении к критической скорости:

$$\lambda = v_u / a, \quad (1)$$

где  $v_u$  – изоэнтропная скорость, м/с;

$a$  – критическая скорость, м/с.

Функция  $\bar{P}$  – относительное давление, т.е. отношение статического давления  $\delta$  изоэнтропно движущегося газа в данном сечении к давлению торможения  $\delta_i$ :

$$\bar{P} = \frac{p}{p_o} = \left( 1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (2)$$

1. Расчет цилиндрической камеры смешения (рисунок 2) выполнен согласно зависимостям:

– критическая скорость воздуха

$$a_* = \sqrt{2RT \frac{k}{k+1}} = \sqrt{2 \cdot 287 \cdot 373 \frac{1,4}{2,4}} = 353 \text{ м/с};$$

– относительное критическое давление

$$\bar{P}_* = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \left( \frac{2}{2,4} \right)^{1,4} = 0,528;$$

– относительное выходное давление в камере смешения

$$\bar{P}_c = 0,8 \frac{p_c}{p_p} = 0,8 \frac{2}{3,5} = 0,457;$$

– отношение площадей критического сечения и потока на выходе камеры смешения

$$q_c = \sqrt{\frac{k+1}{k-1}} \left( \frac{\bar{P}_c}{\bar{P}_*} \right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{1 - \bar{P}_*^{\frac{k-1}{k}}}; \quad (3)$$

– значение коэффициента инжекции на предельном режиме

$$u_{np} = \frac{\frac{p_u}{p_c} \frac{1}{q_c} - \frac{p_u}{p_p} \frac{1}{q_p}}{1 - \frac{p_u}{p_c} \frac{1}{q_c}}; \quad (4)$$

– уточненное значение отношения критического сечения и потока на выходе камеры смешения равно

$$q_c = \frac{u_{np}}{\frac{p_u}{p_c} \frac{(1 + u_{np})}{q_u} - \frac{p_u}{p_p} \frac{1}{q_p}}. \quad (5)$$

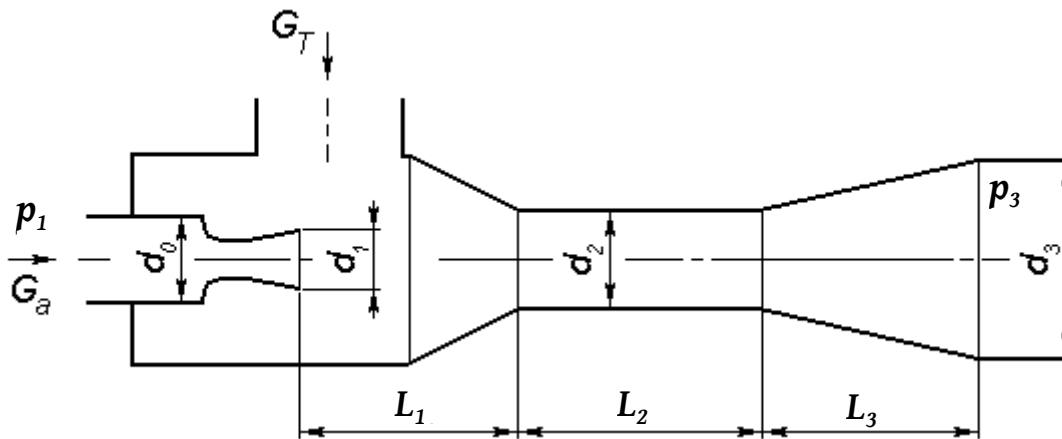


Рисунок 2 – Расчетная схема эжектора

Расчет произведен методом последовательных приближений по формулам (3)–(5) до тех пор, пока значение  $q_c$  не достигает точности 0,001. Незвестные значения функций  $q_u$  и  $q_p$  определяются по известным значениям  $q_c$  с использованием формул (1) и (2). Расчет был реализован численными методами с применением ЭВМ. В результате расчетное значение предельного коэффициента инжекции составило 0,22, что превышает минимально допустимый, полученный из расчета требуемой производительности эжектора (4).

После этого определяется площадь выходного сечения камеры смешения:

$$F_2 = \frac{4G_c a_*}{k \bar{P}_* p_c q_c}.$$

## 2. Расчет сопла:

– относительное рабочее давление  $\bar{P}_p = \frac{P_{амм}}{P_p} = \frac{1}{3,5} = 0,286;$

– площадь входного сечения  $F_0 = \frac{G_p \bar{P}_p}{v_u \rho_{air}};$

– площадь выходного сечения  $F_1 = \frac{G_a a_*}{k \bar{P}_* P_p} \sqrt{\frac{k+1}{k-1}} \left(\frac{\bar{P}_p}{\bar{P}_*}\right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{1 - \bar{P}_p^{\frac{k-1}{k}}}.$

## 3. Расчет диффузора и геометрических размеров эжектора

– входной диаметр диффузора  $d_2 = \sqrt{\frac{4F_2}{\pi}};$

– выходной диаметр диффузора  $d_3 = D = 0,3 \text{ м};$

– длина диффузора  $L_D = \frac{(D_3 - D_2)}{2 \operatorname{tg} 6^\circ};$

– длина камеры смешения  $L_c = 6D_2;$

– диаметр провода  $d_0 = \sqrt{\frac{4F_0}{\pi}}.$

По расчетным данным спроектирован и установлен на камерный питатель для сброса запыленного воздуха эжектор 4 (рисунок 1). Для уменьшения негативного влияния потока на выходе из эжектора на транспортный поток в трубопроводе применен диффузор эжектора щелевого типа 6 с тангенциальным входом в кольцевой завихритель 5. Поскольку запыленный воздух на выходе из эжектора имеет высокую скорость и, следовательно, способствует повышенному абразивному износу стенок завихрителя, то для уменьшения износа использовался метод, который широко применяется в пневмотранспорте для защиты колен транспортного трубопровода [4]. С этой целью в нижней части завихрителя выполнен пылеулавливатель карманного типа (на рисунке не показан), в котором скапливающаяся пыль предохраняет стенки трубопровода от износа.

За счет установки эжектора удалось создать отрицательное давление в камере питателя в момент загрузки угольной пылью, максимальное значение которого достигало 20 кПа. Благодаря этому время загрузки сократилось с 18 до 8 секунд, т.е. более чем в два раза, а общая производительность камерного питателя возросла почти в 1,5 раза. Кроме того, использование схемы камерного питателя совместно с эжектором делает ее независимой от состояния цеховой системы аспирации, которая зачастую не справляется с большим количеством источников пыли. Соответственно уменьшается количество пыли, которая через систему аспирации выбрасывается в атмосферу, поскольку вся угольная пыль, поступающая в камерный питатель, в конечном итоге сбрасывается в транспортный трубопровод. Данная схема может быть рекомендована к применению на малогабаритных камерных питателях, в которых первостепенное значение имеют компактность и низкая металлоемкость конструкции наряду с высокой производительностью. В тех же случаях, когда габариты питателя не играют такой существенной роли, целесообразно эжектор для сброса запыленного воздуха помещать под камерой, совмещая ось эжектора с осью трубопровода. Таким образом легче решить проблему износа трубопровода и повышения производительности эжектора.

## ВЫВОДЫ

1. Создан малогабаритный камерный питатель, предназначенный для замены пневмовинтовых насосов в действующих пневмотранспортных системах без существенных капитальных затрат.

2. Установка эжектора для сброса запыленного воздуха из камерного питателя в транспортный трубопровод в процессе загрузки позволила сократить время загрузки в 2,25 раза, а весь рабочий цикл, включающий загрузку и разгрузку, более чем в 1,5 раза.

3. Совместная работа камерного питателя с эжектором исключила необходимость в аспирации и, тем самым, снизила уровень загрязнения окружающей среды по сравнению с показателями эксплуатации обычной схемы камерного питателя. Кроме того, такая схема позволяет применять камерный питатель в тех случаях, когда отсутствует возможность использования системы аспирации, либо в тех случаях, когда ее работа ненадежна. Тем самым повышается надежность работы такой схемы, поскольку она не зависит от внешних составляющих.

Перспективами дальнейших исследований в данном направлении могут быть исследования по взаимовлиянию эжектора и транспортного трубопровода на их рабочие характеристики в зависимости от степени загрузки и концентрации транспортируемого материала, их влияние на производительность малогабаритного камерного питателя, а также разработка и совершенствование методик и конструктивных решений по снижению абразивного износа пневмотранспортных систем и повышению их надежности и долговечности.

#### *Библиографический список*

1. Разработка и внедрение малогабаритного камерного питателя для пылеприготовительного цеха (ППЦ) Славянской ТЭС: отчет о научно-исследовательской работе № 2000 – 355. – Горловка: АДИ ДонНТУ, 2003. – 87 с.  
Razrobotka i vnedreniyemalogabaritnogokamernogopitatelyadlyapyleprigotovitelnogotsekha (PPTs) Slavyanskoy TES (Development and Implementation of the Small Sized Blow Tank for the Dust Preparation Workshop (DPW)of the Slavyanskaya Thermal Power Station): otchet o nauchno-issledovatel'skoyrabote № 2000 – 355.– Gorlovka ADIDonNTU, 2003. – 87 s.
2. Малевич И. П. Транспортировка и складирование порошкообразных строительных материалов/ И.П. Малевич, В. С. Серяков, А. В. Мишин. – М.: Стройиздат, 1984. – 184 с.  
Malevich I. P. Transportirovka i skladirovaniyeporoshkoobraznykhmaterialov (Transportation and Warehousing of Powdery Substances) / I. P. Malevich, V. S. Seryakov, A. V. Mishin. – M. Stroyizdat, 1984. – 184 s.
3. Соколов Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер.– М.: Энергия, 1970. – 288 с.  
Sokolov E. Ya. Struynye apparaty (Jet Devices) / E. Ya. Sokolov, N. M. Zinger. – M.: Energiya, 1970. – 288 s.
4. Смолдырев А. Е. Трубопроводный транспорт / А. Е. Смолдырев. – М.: Недра, 1980. – 296 с.  
Smoldyrev A. E. Truboprovodnyi transport (Pipeline Conveying) / A. E. Smoldyrev. – M.: Nedra, 1980. – 296 s.