

ТРАНСПОРТ

УДК 621.694

М. Н. Чальцев, д-р техн. наук

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ КАМЕРНЫХ ПИТАТЕЛЕЙ

Проведен анализ существующего пневмотранспортного оборудования. Дана краткая техническая характеристика камерных питателей различных производителей. Описана конструктивная схема разработанного в Автомобильно-дорожном институте ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» перспективного малогабаритного камерного питателя для действующих систем пневматического транспорта сыпучих материалов, промышленное использование которого на Славянской (Донецкая обл.) и Семипалатинской (Казахстан) теплоэлектростанциях подтвердило его высокую эффективность.

***Ключевые слова:** пневматический транспорт, транспортирование сыпучих материалов, конструкция малогабаритного камерного питателя*

Постановка проблемы

В настоящее время в технологических процессах ведущих отраслей промышленности (металлургической, горнодобывающей, химической, а также в строительстве, энергетике, сельском хозяйстве) широко применяется пневматическое транспортирование сыпучих материалов. Одним из основных звеньев системы пневмотранспорта сыпучих материалов повышенной производительности и дальности подачи является камерный питатель. В нем подготавливается и вводится в материалопровод аэродисперсная смесь, которая затем движется вдоль трубопровода в основном за счет энергии, приобретенной в питателе. В сравнении с другими видами питателей (пневмовинтовые, шлюзовые и т. д.) камерный питатель обладает рядом преимуществ – простотой устройства, экономичностью, отсутствием привода и частей, вращающихся в абразивной среде сыпучего материала. Его конструкция не создает принципиальных ограничений на увеличение давления и концентрации транспортируемого сыпучего материала до требуемого уровня. Но наряду с достоинствами камерный питатель имеет недостатки – цикличность работы, неравномерность выгрузки, значительные габариты по высоте. Дальнейшее развитие техники пневматического транспорта является важной проблемой, в связи с чем возникает необходимость совершенствования этого вида транспорта, в частности – уменьшение габаритов по высоте камерных питателей пневмотранспортных установок.

Анализ исследований и публикаций

Пневмотранспортные установки широко применяются благодаря их высоким эксплуатационным качествам, обеспечению необходимых санитарно-гигиенических условий труда обслуживающего персонала, исключению потерь материала. Решению проблем пневмотранспортного оборудования посвящено значительное число работ исследователей, которые систематизировали и обобщили опыт его создания и эксплуатации – А. Н. Александров, А. А. Воробьев, Н. М. Зингер, М. П. Калинушкин, М. Г. Касторных, Л. С. Клячко, М. А. Коппель, Г. Ф. Косориз, С. И. Криль, А. И. Матвеев, А. Я. Малис, Г. С. Носко, Э. Х. Одельский, З. Э. Орловский, Г. М. Островский, А. С. Роговой, И. С. Сегаль, В. С. Серяков,

А. Е. Смолдырев, С. И. Смольский, Е. Я. Соколов, Б. М. Хрусталеv, М. М. Шапунов, G. E. Klinzing, R. D. Marcus, D. Mills, O. Molerus, A. R. Reed, F. Rizk, L. S. Leung и др. [1–16]. Развитию теоретических основ аэродинамического расчета пневмотранспортных систем и созданию малогабаритных камерных питателей (МКП), которые обеспечили снижение энергозатрат на транспортирование сыпучих материалов потоками воздуха, посвятил свои исследования М. Н. Чальцев [17–20].

Цель исследования

Анализ преимуществ нового типа питателя пневмотранспортных систем – высокопроизводительного малогабаритного камерного питателя, обеспечивающего повышение эффективности пневмотранспортных систем.

Изложение основного материала исследования

Исторически сложилось так, что с увеличением производительности транспортной системы увеличивалась и емкость камерного питателя, его габариты. При эксплуатации однокамерных питателей, которые периодически загружают транспортный трубопровод, после очередной выгрузки материала камерный питатель простаивает столько времени, сколько требуется для перемещения материала вдоль трубопровода от питателя до места назначения. Поскольку длительность транспортирования намного превышает длительность загрузки и разгрузки питателя, то для увеличения производительности установки необходимо увеличить количество материала, транспортируемого в каждом цикле, т. е. увеличить объем камеры питателя.

Для двухкамерного питателя, который подает материал в транспортный трубопровод непрерывно, длительность перемещения транспортируемого материала вдоль трубопровода не является определяющим параметром. Однако в рабочем цикле такого питателя есть свои «простои», связанные с такими вспомогательными операциями, как переключение затворов воздушных клапанов, деаэрация напорных камер. Повышение его производительности осуществляется за счет увеличения объема камер, что способствует уменьшению удельного веса продолжительности вспомогательных операций в общем цикле работы питателя.

Основным техническим параметром, отличающим МКП от обычных питателей, является удельный объем камеры $V_{уд}$:

$$V_{уд} = \frac{V_K}{П} \frac{м^3 \cdot ч}{т},$$

где V_K – объем камеры, $м^3$;

$П$ – производительность питателя, т/ч.

Анализ технических характеристик различных камерных насосов показывает, что для повышения производительности изготовители увеличивают размеры устройств (таблица 1).

При наличии загрузочного бункера высота большегрузного питателя может достигать 5 м и более. С увеличением габаритов питателя растет стоимость его изготовления и монтажа, материалоемкость конструкции. Кроме того, соответственно увеличению размеров питателей по высоте возникает необходимость увеличения высоты производственных зданий и сооружений, длины коммуникаций и т. д.

По данным [16] стоимость камерного питателя увеличивается в зависимости от объема камеры (от 75 285 рос. руб. – при объеме камеры $0,6 м^3$, до 225 855 рос. руб. – при объеме камеры $4 м^3$).

Таблица 1 – Технические характеристики камерных насосов различных производителей

Тип насоса	Фирма-изготовитель	Производительность П, т/ч	Объем камеры $V_K, \text{м}^3$	Удельный объем камеры $V_{уд}, \frac{\text{м}^3 \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	Размер по высоте, м
СБ-33В (1 камера)	ООО «Бецема» Красногорск	16	0,5	0,03	1,5
ТА-23А (1 камера)	–	30	1,5	0,05	2,6
ТА-29 (2 камеры)	–	60	6,3	0,1	4,7
ТА-28 (2 камеры)	–	100	18,6	0,2	5,4
DVF-50 (2 камеры)	Hitachi	50	–	–	3,3
2200-Б (2 камеры)	SKET	60	–	–	5,0

Существуют и другие недостатки камерных питателей, связанные с увеличением его габаритов.

Так, многие исследователи [5, 7, 11] отмечают значительную неравномерность выгрузки большегрузных питателей, что приводит к перерасходу сжатого воздуха и создает опасность возникновения завалов транспортного трубопровода. К тому же, в процессе выгрузки сыпучего материала из камеры большого объема в его массиве образуются свищи и воронки, через которые происходят непродуктивные утечки сжатого воздуха [7, 11]. Также, вследствие хаотического обрушения сводов сыпучего материала в образовавшиеся пустоты, усиливаются пульсации давления и плотности двухфазного потока, создающие опасность завала транспортного трубопровода. В этих условиях на практике приходится увеличивать расход сжатого воздуха свыше нормативных величин, т. е. снижать технико-экономические показатели транспортной системы.

Общим недостатком работы пневмотранспортных систем является также повышенный расход энергии на транспортировку. Удельный расход энергии на единицу массы транспортируемого материала составляет 3–5 кВт ч/т км, что в 3–6 раз превышает соответствующие расходы при механическом транспортировании.

С целью снижения энергетических затрат и достижения стабильности режима работы пневмотранспортных систем в Автомобильно-дорожном институте ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» разработан малогабаритный камерный питатель для пневмотранспортных систем (рисунок 1).



Рисунок 1 – Малогабаритный камерный питатель

От действующих установок он отличается не только габаритами, но и способом управления, который заключается в том, что с помощью датчика уровня задается такая высота засыпки, для выгрузки которой необходимо давление в камере питателя, минимально превышающее потери давления в трубопроводе при установившемся режиме транспортирования [21].

В процессе создания МКП были разработаны новые системы управления питателем, быстродействующие затворы, устройства интенсификации процессов загрузки и разгрузки камеры питателя, которые способствовали обеспечению высокой производительности (авторские свидетельства СССР № 1216099, № 1416403, № 1668257, № 1523809) [22–26].

Малогобаритным камерным питателем НК-5 был успешно заменен пневмовинтовой насос (ПВН) с приводом 200 кВт на Славянской ТЭС в линии подачи угольной пыли от пылеприготовительного цеха на энергоблок. Благодаря этому повысилась надежность работы пневмотранспортной системы.

При значительно меньших габаритах и стоимости изготовления МКП НК-5 обеспечивает такую же производительность, как и серийные камерные насосы. В сравнении с ПВН в процессе эксплуатации МКП НК-5 существенно снижаются затраты электроэнергии за счет отсутствия силового привода. Технические характеристики малогобаритного камерного питателя НК-5, серийных камерных насосов ТА-29А, а также ранее действующего ПВН приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики камерных насосов

Показатели	Тип насоса		
	НК-5	ТА-29А	ПВН
Производительность, т/ч	60	60	60
Мощность привода, кВт	–	–	200
Затраты воздуха, м ³ /мин	45	58	50
Диаметр трубопровода, мм	300	300	300
Габаритные размеры, мм			
– длина	2400	3700	3000
– ширина	1420	3300	900
– высота	1200	4700	1200
Емкость камеры, м ³	0,8	6,8	–
Стоимость, тыс. рос. руб.	131,58	717,64	1578,95

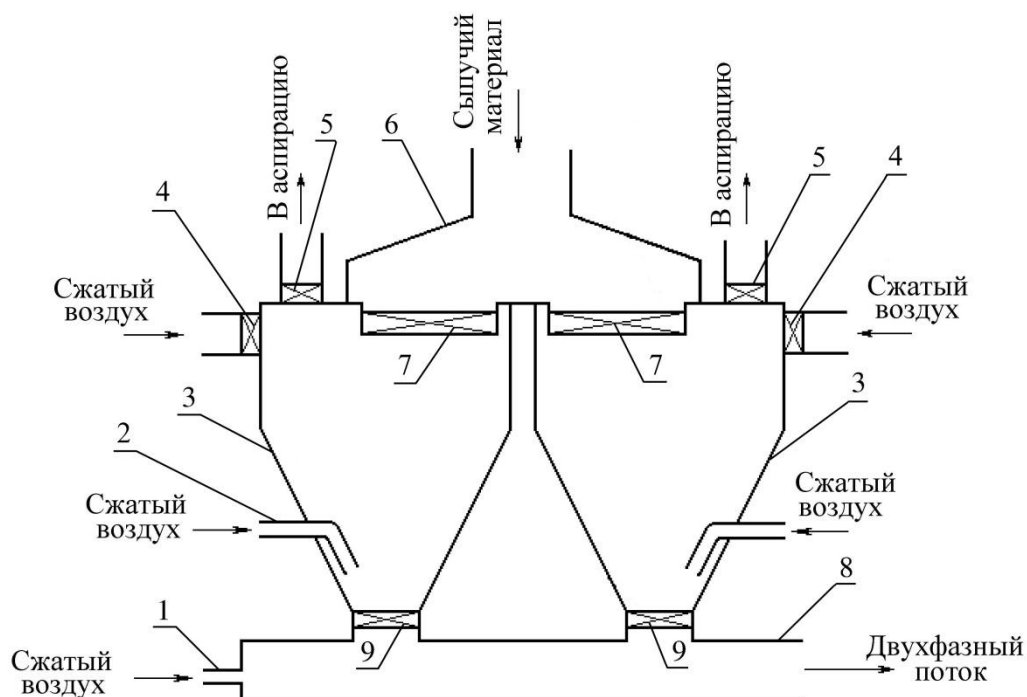
МКП предназначен для использования в двухкамерном исполнении при транспортировании по высоконагруженным и протяженным трассам мелкофракционных сыпучих материалов таких, как цемент, обогащенный каолин, зола, угольная пыль и т. д.

В малогобаритном камерном питателе процесс выгрузки протекает быстро, свищи в массиве сыпучего материала не успевают образоваться, поэтому выгрузка производится сплошным потоком высокой концентрации. По аналогии с поршневым компрессором или гидравлическим насосом малогобаритный камерный питатель способен обеспечить стабильный поток мелкофракционного сыпучего материала в жестко заданном скоростном режиме. Роль поршня в этом случае выполняет одна из фаз транспортногo процесса.

Для МКП $V_{уд}$ составляет не более 0,02 ед., т. е. на порядок ниже, чем для обычных высокопроизводительных питателей. Сохранение высокой производительности МКП достигается за счет соответствующего увеличения частоты переключения операций «загрузка-разгрузка», а также интенсификации процесса загрузки путем применения быстродействующей арматуры, методов вакуумной загрузки и т. д.

Схема двухкамерного питателя представлена на рисунке 2. Две напорные камеры 3 работают поочередно на общий транспортный трубопровод 8 и объединены общим прием-

ным бункером 6. Камеры оборудованы быстродействующими разгрузочными 9 и загрузочными 7 затворами, клапанами подачи сжатого воздуха 4 и сброса давления 5. Сыпучий материал подается в приемный бункер непрерывно и поступает в одну из камер 3 при открытом затворе 7 и клапане 5. Для интенсификации процесса загрузки клапан 5 может быть подсоединен к вакуумной системе аспирации (на рисунке не показана). После загрузки затвор 7 и клапан 5 закрываются, а клапан 4 и затвор 9 открываются, в результате чего камеры 3 наполняются сжатым воздухом, который вытесняет сыпучий материал в транспортный трубопровод 8. Проходные сечения всех клапанов и затворов при этом не должны быть меньше соответствующих размеров арматуры крупногабаритных камерных питателей. В транспортный трубопровод сыпучий материал поступает в смеси с воздухом высокой концентрации. Для доведения концентрации смеси до кондиции, соответствующей условиям транспортирования по трубопроводу, дополнительное количество воздуха вводится в транспортный трубопровод через сопло 1.



1, 2 – сопла, 3 – камеры напорные, 4 – клапаны подачи сжатого воздуха,
5 – клапаны сброса давления, 6 – бункер приемный, 7 – затворы загрузочные,
8 – трубопровод транспортный, 9 – затворы разгрузочные
Рисунок 2 – Схема малогабаритного двухкамерного питателя

Созданные малогабаритные камерные питатели, а также быстродействующая арматура и аппаратура управления к ним, были использованы в действующих системах пневмотранспорта сыпучих материалов:

- на Славянской ТЭС в линии подачи угольной пыли из пылеприготовительного цеха на энергоблок – малогабаритный камерный питатель НК-5 (производительность – 60 т/ч, емкость камеры – 1,25 м³);
- на Семипалатинской ТЭС (Казахстан) в линии удаления золы – камерный питатель НК-3 (производительность – 12 т/ч, емкость камеры – 0,3 м³);
- на Алуштинском ЖСК в линии подачи цемента из силосов в бетонорастворосмесительные установки – камерный насос НК-1 (производительность – 15 т/ч, емкость камеры – 0,3 м³).

Промышленное использование малогабаритных камерных питателей подтвердило их высокую эффективность.

Заключение

Снижение габаритов камерных питателей является одним из перспективных направлений совершенствования пневмотранспортных систем.

Практическая значимость нового типа питателя – высокопроизводительного малогабаритного камерного питателя для пылевидных материалов, заключается в возможности замены им крупногабаритных и пневмовинтовых камерных насосов в действующих системах пневматического транспорта, что позволяет достигнуть стабильности режима работы и повышения производительности пневмотранспортных систем. Капитальные затраты при этом уменьшаются в 2–3 раза, энергетические затраты – на 20–40 %, уменьшается и расход сжатого воздуха.

Список литературы

1. Александров, А. Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях: справочник / А. Н. Александров, Г. Ф. Косориз. – Москва : Лесная промышленность, 1988. – 248 с. – ISBN 5-7120-0038-5.
2. Калинушкин, М. П. Пневматический транспорт в строительстве / М. П. Калинушкин, З. Э. Орловский, И. С. Сегаль. – Москва : Госстройиздат, 1961. – 164 с.
3. Клячко, Л. С. Пневматический транспорт сыпучих материалов / Л. С. Клячко, Э. Х. Одельский, Б. М. Хрусталеv. – Минск : Наука и техника, 1983. – 216 с.
4. Криль, С. И. Критические режимы гидравлического трубопроводного транспорта твердых материалов / С. И. Криль // Гидромеханика. – 1982. – Вып. 45 – С. 88 – 94.
5. Малис, А. Я. Исследование работы камерного питателя / А. Я. Малис, М. Г. Касторных // Труды ВНИИЗ. – 1966. – Вып. 55. – С. 32–63.
6. Пневмотранспортное оборудование: справочник / М. П. Калинушкин, М. А. Коппель, В. С. Серяков, М. М. Шапунов ; под общей редакцией М. П. Калинушкина. – Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. – 286 с.
7. Островский, Г. М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности / Г. М. Островский. – Ленинград : Химия, 1984. – 104 с.
8. Пневмотранспортные установки: справочник / А. А. Воробьев, А. И. Матвеев, Г. С. Носко [и др.] ; под редакцией Б. А. Аннинского. – Ленинград : Машиностроение, 1969. – 200 с.
9. Роговой, А. С. Энергетическая эффективность пневмотранспортных установок / А. С. Роговой // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2018. – № 1(225). – С. 189–196.
10. Смолдырев, А. Е. Гидравлический и пневматический транспорт в металлургии и горном деле / А. Е. Смолдырев. – Москва : Металлургия, 1967. – 368 с.
11. Смольский, С. И. Исследование пневматической выгрузки пылевидных материалов из транспортных резервуаров саморазгружающегося судна : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / С. И. Смольский. – Ленинград : ЛИВТ, 1969.
12. Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. – 3-е изд., перер. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 352 с. – ISBN 5-283-00079-6.
13. Pneumatic conveying of solids. A theoretical and practical approach / G. E. Klinzing, R. D. Marcus, F. Rizk, L. S. Leung // Powder technology series. 2nd Edition: Chapman&HallSuffolk, 1997. – 624 p.
14. Mills, D. Pneumatic Conveying Design Guide / D. Mills. 2nd Edition: Bitterworth-Heineman. – 2004. – 638 p.
15. Molerus, O. Overview: pneumatic transport of solids / O. Molerus // Powder technology. – 1996. – Т. 88, №. 3. – С. 309–321.
16. Reed, A. R. // Powder and Bulk Engineering. – 1990. – 4. – № 3. – P. 35–41.
17. Чальцев, М. Н. Исследования и разработка малогабаритных камерных питателей / М. Н. Чальцев // Научные труды Кременчугского государственного политехнического института. – Кременчуг, КГПИ, – 2000. – Вып. 1(8). – С. 325 – 329.
18. Чальцев, М. Н. Опыт совершенствования пневмотранспортных систем на энергетических предприятиях Донбасса / М. Н. Чальцев, Б. Е. Бугаев // Донбас – 2020: перспективи розвитку очима молодих вчених: матеріали V науково-практичної конференції, 25 – 27 травня 2010 р. – Донецьк : ДонНТУ Міністерства освіти і науки, 2010. – С. 300 – 304.
19. Чальцев, М. Н. Разгрузочные характеристики малогабаритного камерного питателя / М. Н. Чальцев //

Вестник национального технического университета «ХПИ»: сборник научных трудов. Тематический вып. «Динамика и прочность машин». – 2004. – № 20. – С. 133 – 144.

20. Чальцев, М. Н. Совершенствование пневмотранспортных систем для золы и угольной пыли на тепловых электростанциях Донбасса / М. Н. Чальцев, Б. Е. Бугаев // Вісник Східноукраїнського державного університету. – Луганськ, 2000. – № 4(26). – С. 83 – 86.

21. Патент № 19898 UA Україна, МПК В65G 53/04. Постачальник для пневматичного транспортування сипучого матеріалу : № 4837420 : заявл. 23.04.1990 : опубл. 25.12.1997 / М. М. Чальцев, Є. В. Павлов, Б. Є. Бугайов, Г. Г. Вовк ; заявитель Горловский филиал Донецкого политехнического института. – 4 с.

22. А. с. 1216099 СССР, МКИ В65G53/46. Пневмозатвор камерного питателя : № 3820068/27-11 : заявл. 06.12.1984 : опубл. 07.03.1986, Бюл. № 9 / М. Н. Чальцев, Б. Е. Бугаев, В. И. Бабенышев, Е. В. Павлов ; заявитель Горловский филиал Донецкого политехнического института. – 7 с.

23. А. с. 1416403 СССР, МКИ4 В65G53/40. Устройство для загрузки сыпучего материала в пневмотранспортную установку : № 4183987/24-11 : заявл. 23.01.1987 : опубл. 15.08.1988, Бюл. № 30 / М. Н. Чальцев, Б. Е. Бугаев, Л. М. Португальский, В. В. Бражников ; заявитель Горловский филиал Донецкого политехнического института. – 5 с.

24. А. с. 1523809 СССР, МКИ4 F16J15/00. Способ уплотнения : № 4318076/31-29 : заявл. 19.10.1987 : опубл. 23.11.1989, Бюл. № 43 / М. Н. Чальцев, Б. Е. Бугаев, В. И. Бабенышев, Е. В. Павлов ; заявитель Горловский филиал Донецкого политехнического института. – 4 с.

25. А. с. 1668257 СССР, МКИ⁴ В65G53/40. Питатель для пневматической подачи сыпучего материала : № 4739026/11 : заявл. 19.09.1989 : опубл. 07.09.1991, Бюл. № 29 / М. Н. Чальцев, Б. Е. Бугаев, В. Н. Павлюченко, В. А. Педос ; заявитель Горловский филиал Донецкого политехнического института – 6 с.

26. А. с. 1729966 СССР, МКИ В65G 53/40. Питатель для пневматического транспортирования сыпучего материала : 4837420/11 : заявл. 23.04.1990 : опубл. 30.04.1992, Бюл. № 16 / М. Н. Чальцев, Б. Е. Бугаев, Е. В. Павлов, Г. Г. Вовк ; заявитель Горловский филиал Донецкого политехнического института. – 5 с.

М. Н. Чальцев

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

**Повышение эффективности пневмотранспортных систем путем применения
малогабаритных камерных питателей**

Пневмотранспортные установки широко применяются в технологических процессах различных отраслей промышленности благодаря их высоким эксплуатационным качествам, обеспечению необходимых санитарно-гигиенических условий труда обслуживающего персонала, исключению потерь материала.

С целью снижения энергетических затрат и достижения стабильности режима работы пневмотранспортных систем в Автомобильно-дорожном институте ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» разработан высокопроизводительный малогабаритный камерный питатель.

Устройство предназначено для использования в двухкамерном исполнении при транспортировании по высоконагруженным и протяженным трассам мелкофракционных сыпучих материалов, таких как цемент, обогашенный каолин, зола, угольная пыль и т. д.

В малогабаритном камерном питателе процесс выгрузки протекает быстро, свищи в массиве сыпучего материала не успевают образоваться, поэтому выгрузка производится сплошным потоком высокой концентрации. По аналогии с поршневым компрессором или гидравлическим насосом малогабаритный камерный питатель способен обеспечить стабильный поток мелкофракционного сыпучего материала в жестко заданном скоростном режиме. Роль поршня в этом случае выполняет одна из фаз транспортного процесса.

Практическая значимость нового типа питателя – малогабаритного камерного питателя, заключается в возможности замены им крупногабаритных и пневмовинтовых камерных насосов в действующих системах пневматического транспорта, что позволит достигнуть стабильности режима работы ПТС. Капитальные затраты при этом уменьшатся в 2–3 раза, существенно уменьшатся энергетические затраты (на 20–40 %) и расход сжатого воздуха.

**ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЯ
МАЛОГАБАРИТНОГО КАМЕРНОГО ПИТАТЕЛЯ**

M. N. Chaltsev
Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
Efficiency Improvement of the Pneumatic Transport Systems by Using Small-Sized Chamber Feeders

Pneumatic transport units are widely used in technological processes of various industries due to their high functional performance, provision of necessary sanitary and hygienic working conditions for staff, elimination of material losses.

In order to reduce energy costs and achieve stability in the operation of pneumatic transport systems, a high-performance small-sized chamber feeder is developed in the Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University.

The device is designed for use in a two-chamber version when transporting fine fractions of bulk materials such as cement, enriched kaolin, ash, coal dust, etc. along highly loaded and long routes.

In the small-sized chamber feeder the unloading process is fast, in the mass of bulk material holes do not have time to form, therefore, unloading is performed by solid stream of high concentration. By analogy with a piston compressor or a hydraulic pump, a small-sized chamber feeder is able to provide a stable flow of fine-grained bulk material in a strictly specified speed mode. In this case, the role of the piston is performed by one of the phases of the transport process.

The practical significance of a new type of the feeder – a small-sized chamber feeder, lies in the possibility of replacing it with large-sized and pneumatic screw chamber pumps in existing pneumatic transport systems. This will allow to achieve stability of the PTS operating mode. In this case, capital expenditures will decrease by 2–3 times, energy costs (by 20–40 %) and compressed air consumption will substantially decrease.

PNEUMATIC TRANSPORT, BULK MATERIAL TRANSPORTATION, SMALL-SIZED CHAMBER FEEDER CONSTRUCTION

Сведения об авторе:

М. Н. Чальцев

SPIN-код: 2978-2764

Телефон: +38 (071) 331-45-58

Эл. почта: druknf@rambler.ru

Статья поступила 12.11.2019

© М. Н. Чальцев, 2019

Рецензент: Н. И. Мищенко, д-р. техн. наук, проф., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»