

SAT-1.202-1-RR-07

An Experimental Study of the Basic Characteristics of Pneumatic Inlet Conveyor

Iliia Todorov, Toni Uzunov

Експериментално изследване разхода на енергия на пневматичен транспортър

Илия Тодоров, Тони Узунов

An experimental study of the basic characteristics of pneumatic inlet conveyor: В статията е изследван пневматичен транспортър, последователно свързан с лентов транспортър за пренасяне на насипни товари по затворен контур. Експериментално е установено изменението на производителността на транспортъра, разхода на въздух, мощността при работа с товар, масовата концентрация на системата "товар-въздух" в зависимост от скоростта на въздуха по трасето. Определен е оптимален скоростен режим на работа.

Key words: pneumatic conveyor, bulk cargo, mass concentration, power

ВЪВЕДЕНИЕ

Пневматичните транспортъри са предназначени за пренасяне на единични или прахообразни и зърнести насипни товари по тръбопроводи или жлебове.

Все по-широкото им приложение се обуславя преди всичко от техните предимства, заключаващи се в липсата на теглителни елементи и подвижни работни органи, сравнително опростена конструкция, висока степен на херметичност, висока степен на гъвкавост, охлаждане и проветряване на товарите. Но наред с тези предимства имат основен недостатък - повишена консумация на електроенергия, която зависи основно от разхода на въздух и дължината и вида на участъците на трасето на транспортъра.

В последните години са извършвани редица изследвания свързани с енергийната ефективност при работа на пневматични транспортъри. Авторите в [5, 6] показват, че консумацията на енергия на хоризонтални пневмотранспортъри за товар във вид на гранулирани частици може да се намали в определени скоростни диапазони с около 12 % и 34 %, съответно чрез използване на „меко“ оребвяване на 90 градусовите колена на въздухопроводите или чрез монтиране в тях на направляващ релеф, базиран на дюнния модел (dune model).

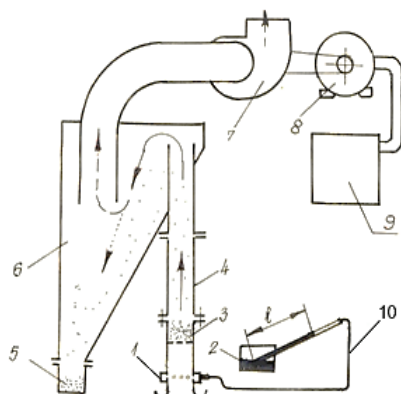
Резултатите от експериментите, описани в [5], са използвани и доразвити в друга разработка [7], където авторите изследват влиянието на дължината на оребвяването върху различните експлоатационни характеристики, включително консумацията на електроенергия.

Разходът на енергия е възприет като основен критерий и в друго изследване от 2010 г. [8]. В него е разработен и опитно потвърден нов симулационен метод, предсказващ консумацията.

Няма данни методът да е приложим за друг тип пневматична система, освен за разгледаната в изследването система с двойнотръбни въздухопроводи с осева симетрия (DTC pneumo-systems).

В [4] е проведено изследване, чрез което е предложена методика за изследване на енергийната ефективност на пневмотранспортиращи процеси, позволяваща количествен и качествен анализ на електропотреблението на осигуряващите ги транспортъри.

Целта на изследването е експериментално установяване изменението на мощността при работа с



Фиг.1 Уредба за определяне скоростта на витаене

товар при различни производителности на транспортъора в зависимост от скоростта на въздуха.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За да се извърши транспортиране на товара е необходимо по трасето на пневмотранспортъора да се поддържа минимална скорост на въздуха, която зависи от т. нар. скорост на витаене.

Скоростта на витаене може да се определи теоретично [1, 3] или експериментално. В настоящото изследване тази скорост е определена опитно с помощта на уредба, представена на фиг.1. Изследваният насипен товар е полиетиленови зърна, които имат форма и размери, съизмерими с тези на леща. Те се зареждат в касета 3 с мрежесто дъно, която от своя страна е поставена във вертикален тръбопровод 4 с прозрачни стени, свързан с обемния отделител 6. В долната част на отделителя е закрепен събирателен съд 5. Въздушният поток се създава от центробежен вентилатор 7, входния отвор, на който е свързан с тръбопровод към горната част на отделителя. Вентилаторът се задвижва от постоянноотокков двигател 8. Скоростта на потока в тръбата се променя чрез безстепенно изменение честотата на въртене на двигателя, посредством постоянноотокова захранваща уредба 9.

След пускане на уредбата в действие и постепенно увеличаване на скоростта на въздушния поток товарът над решетката се флуидизира и се наблюдава т.н. “кипящ слой”. Част от частиците товар започват да витаят. При по-нататъшно увеличаване на скоростта те се отнасят първи от въздушния поток към отделителя, а последни напускат пространството над решетката частиците с максимална скорост на витаене. За определяне скоростта на витаене на насипния товар се използва диференциален микроманометър 2, с който се измерва падът на налягането в равнината на колектора 1.

Скоростта на потока в тръбата на уредбата се определя съгласно уравнението на Бернули, от което се получава зависимостта:

$$v = \sqrt{2\Delta p / \rho_g}, m/s \quad (1)$$

където: Δp е падът на налягането в колектора спрямо атмосферното, Pa ;

$\rho_g = 1,2 \text{ kg/m}^3$ – плътността на въздуха.

Падът на налягането от своя страна се определя по зависимостта:

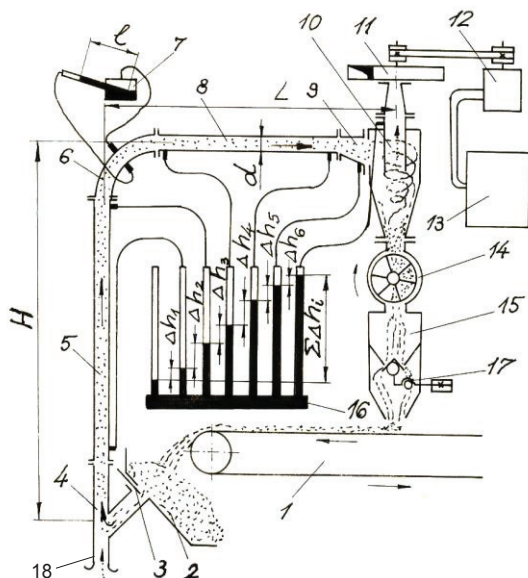
$$\Delta p = \rho_c g l \sin \alpha / 1000, Pa \quad (2)$$

където $\rho_c = 830 \text{ kg/m}^3$ е плътността на спирта в манометъра;

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – земното ускорение;

l - дължината на спиртния стълб, mm ;

$\alpha = 20^\circ$ – ъгълът на наклона на тръбичката на манометъра.



Фиг.2. Пневматична уредба за пренасяне на насипен товар по затворен контур

За изследвания товар е установено, че максималната дължина на спиртния стълб в диференциалния микроманометър, при която се наблюдава витаене на частиците е 12 mm, което съответства на скорост на витаене

$$v_{s \max} = 2,15 \sqrt{l_{\max}} = 7,45, m/s.$$

Уредбата с която се осъществява пренасяне на насипния товар по затворен контур е представена на фиг.2. Пневматичният транспортъор е смукателен тип, работи с ниска концентрация на сместа “товар-въздух” и със свободно подаване на товара. Състои се от захранващо устройство 4, тръбопровод с вертикален 5 и хоризонтален 8 участък, коляно 6, дифузор 9, центробежен отделител 10, шлюзово затварящо устройство 14 и вентилатор 11, задвижван от посто-

яннотоков електродвигател 12 и захранваща уредба 13.

Тръбопроводът е реализиран от стъклени тръби, за да се наблюдава пренасянето на товара.

Пневматичният транспортър образува с лентовия транспортър 1 и бункера 2 затворен контур. Регулирането на масовата производителност на пневматичния транспортър се извършва с помощта на шибър 3.

За измерване скоростта v и разхода на въздух Π_B в транспортъра се използва инерционен дебитомер, при който с помощта на диференциалния микроманометър 7, се измерва падът на налягането между вътрешния и външния радиус на коляното 6. За установяване на зависимостта между пада на налягането и скоростта, инерционният дебитомер предварително е тариран.

Масовата производителност на транспортъра се определя чрез мерен съд 15, снабден със затварящ клапан 17, като се с хронометър се измерва времето t , s , за запълване на съда с определено количество материал с маса m , kg , отчетена по скалата на прозрачната стена на съда.

Пресмятането на производителността се извършва по зависимостта

$$\Pi = \frac{3,6m}{t}, t/h. \quad (3)$$

Загубите на налягане в резултат на съпротивленията в отделните участъци на транспортъра се измерват с воден батериен манометър 16. Разликата в нивата на течността в две съседни тръбички отговаря на загубите Δp_i в дадения участък, а между нулевото ниво на първата тръбичка, свързана с атмосферата и това на последната - на общите загуби в транспортъра $\sum \Delta p_i$, които се изчисляват по формулата

$$\sum \Delta p_i = g \sum \Delta h_i, Pa, \quad (4)$$

където $\sum \Delta h_i$ е разликата в нивата на течността между последната и първата тръбичка на батерииния манометър, mm .

Скоростта v , m/s на въздушния поток се определя чрез отчитане дължината на спиртния стълб на диференциалния микроманометър 7 от фиг. 2, а разходът на въздух Π_B се изчислява по зависимостта:

$$\Pi_B = \frac{\pi d^2 v}{4}, m^3/s, \quad (5)$$

където d , m е диаметърът на тръбопровода.

Масовата концентрация μ на сместа товар-въздух се определя от израза

$$\mu = \frac{\Pi}{3,6 \rho_B \Pi_B}, kg/kg \quad (6)$$

Необходимата мощност P , kW за транспортиране на товаровъздушната смес се пресмята по зависимостта:

$$P = \frac{\sum \Delta p_i \Pi_B}{1000}, kW \quad (7)$$

Опитите са проведени за три различни положения на шибъра 3 от фиг. 2, чрез който се задава производителността на пневматичния транспортър. За всяка производителност се провеждат 5 опити със седемкратна повтаряемост с различна скорост на въздушния поток, която се променя чрез честотата на въртене на вентилатора. Първият опит с най-голяма производителност е с максимална честотата на въртене на вентилатора, а последния е с честота на въртене, която реализира скорост на въздуха, осигуряваща все още устойчиво пренасяне на частиците товар по тръбопроводите на транспортъра. Получените резултати от проведените експерименти са обработени статистически, като в табл.1 са дадени средните стойности на изследваните параметри.

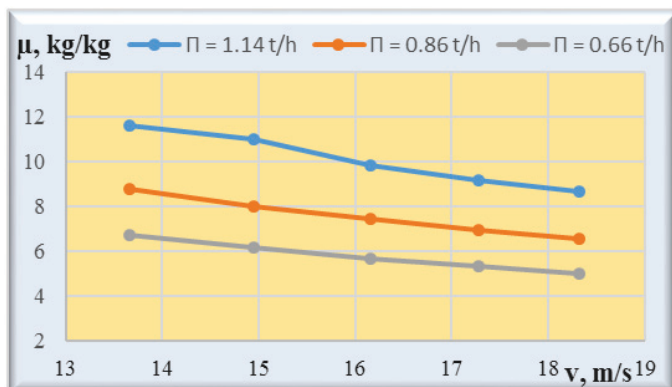
От получените резултати се вижда, че опитите са проведени при скорост на въздуха v в диапазона 13,6 ... 18,3 m/s и спрямо скоростта на витаене $V_{Smax} = 7,45$ m/s е била по-голяма с 1,82 до 2,45 пъти.

В литературни източници [2, 3] се дава, че за устойчива работа на пневмотранспортъра е необходимо $v \geq \xi \cdot v_{smax}$, където коефициента ξ , зависи от концентрацията на сместа μ и приема стойности дадени в табл.2.

Таблица 1

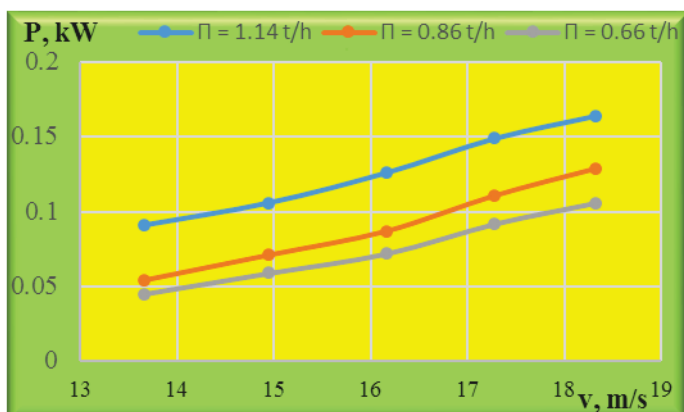
Резултати от проведените експерименти

Параметър		Номер на опита и получени стойности				
		№1	№2	№3	№4	№5
Дължина на спиртия стълб l , mm		45	40	35	30	25
Скорост на въздуха v , m/s		18.32	17.28	16.16	14.95	13.66
Разход на въздух Π_v , m ³ /s		0.0304	0.0287	0.0268	0.0248	0.0227
Производителност $\Pi = 1.14$ t/h	$\Sigma\Delta h_i$, mm	540	520	470	430	400
	P, kW	0.164	0.149	0.126	0.106	0.091
	μ , kg/kg	8.68	9.19	9.85	11	11.62
Производителност $\Pi = 0.86$ t/h	$\Sigma\Delta h_i$, mm	425	385	325	290	240
	P, kW	0.129	0.111	0.087	0.071	0.054
	μ , kg/kg	6.55	6.94	7.43	8.03	8.77
Производителност $\Pi = 0.66$ t/h	$\Sigma\Delta h_i$, mm	350	320	270	240	200
	P, kW	0.106	0.092	0.072	0.059	0.045
	μ , kg/kg	5.03	5.32	5.70	6.16	6.73



Фиг.3 Графични зависимости $\mu=f(v)$

са проведени при скорости на въздуха осигуряващи устойчива работа на пневмотранспортъра. На фиг.4 е представено изменението на необходимата мощност в зависимост от скоростта на транспортиране при различни производителности. От получените графики се вижда, че с увеличаване на скоростта на въздуха, необходимата мощност нараства, като при скорости над 16m/s увеличението е чувствително. Процентната разлика между минималната и максималната



Фиг.4 Графични зависимости $P=f(v)$

Таблица 2

$\mu =$	1	2	10	≥ 16
$\xi =$	1.25	1.5	2.0	$2.5 \div 3$

На фиг.3 са показани графични зависимости на масовата концентрация μ на сместа товар-въздух в зависимост от скоростта на транспортиране, от които се вижда, че μ се променя в границите $5 \div 11.6$ kg/kg. Съгласно табл.2 коефициента ξ е необходимо да бъде със стойности в интервала $1,7 \div 2,1$, което показва, че опитите

стойност на необходимата мощност при малка производителност е над 130 %, а при най-голямата производителност е 80 %. Анализирайки графичните зависимости от фиг.3 и фиг.4 и данните от табл.2 може да се приеме, че за изследвания транспортър оптимален е режимът на работа при скорост на въздуха 14 ... 15 m/s, при който разходът на енергия е с относително ниски стойности, масовата концентрация μ на

сместа товар-въздух е висока и работата на пневмотранспортъора осигурява устойчиво пренасяне на насипния товар.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Експериментално е установено, че необходимата мощност при работа с товар при различни производителности на пневматичния транспортър силно се влияе от скоростта на въздуха, като за изследваните режими промяната е от 80 % до 130 %.

2. Оптимален режим на работа на изследвания пневматичен транспортър, осигуряващ устойчиво пренасяне на насипния товар, минимален разход на енергия и максимална масова концентрация, е при скорост на въздуха 14 ... 15 m/s.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вайсман М. П., Грубиян И. Я. Вентиляционные пневмотранспортные установки. М., Колос, 1984, 367 с.
- [2] Иванченко Ф. К. Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин. Киев, Выща школа, 1988 424 с.
- [3] Красников В. В. Подъемно-транспортные машины. М., Колос, 1981, 263 с.
- [4] Dinolov O., N. Mihailov, L. Mihailov, T. Uzunov. Research methodology for energy-efficiency evaluation in pneumatic-transport processes. IN: Sixth International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, Ruse Bulgaria, "Avangard print" LTD, 2015, pp. 749-754
- [5] Rinoshika A. Self-excited pneumatic conveying of granular particles in various horizontal curved 90° bends. Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 63, 2015, pp. 9–19.
- [6] Rinoshika A., M. Suzuki. An experimental study of energy-saving pneumatic conveying system in a horizontal pipeline with dune model. Powder Technology, vol. 198, 2010, pp. 49–55.
- [7] Yan F., A. Rinoshika. H. Nonaka. An experimental study on a horizontal energy-saving pneumatic conveying system with soft fins. Powder Technology, vol. 217, 2012, pp. 516–522.
- [8] Zhang C., Y. Zhang, D. McGlinchey, Y. Du, X. Wei, L. Ma, C. Guan. Experimental and numerical study on power consumptions in a double-tube-socket pneumatic conveying system. Powder Technology, vol. 204, 2010, pp. 268–272.

За контакти:

Гл. ас. д-р инж. Илия Тодоров Тодоров, катедра "Ремонт, надеждност, механизми, машини, логистични и химични технологии", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082/ 888 664, 888 239, E-mail: itodorov@uni-ruse.bg.

Доц. д-р инж. Тони Иванов Узунов, катедра "Ремонт, надеждност, механизми, машини, логистични и химични технологии", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082/ 888 664, 888 239, E-mail: tuzunov@uni-ruse.bg.