

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ТРАНСПОРТНОГО ЗАПІЗНЮВАННЯ У ПНЕВМОТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

О. С. Назарова

Запорізький національний технічний університет
вул. Жуковського 64, 69063, м. Запоріжжя, Україна, E-mail: nazarova16@gmail.com

В. І. Бондаренко

Запорізький національний технічний університет
вул. Жуковського 64, 69063, м. Запоріжжя, Україна, E-mail: kafedra_eapu@zntu.edu.ua

І. А. Мелешко

Запорізький національний технічний університет
вул. Жуковського 64, 69063, м. Запоріжжя, Україна, E-mail: iameleshko@gmail.com

У пневмотранспортних системах (ПТС) на час транспортного запізнювання впливає досить велика кількість електромеханічних параметрів. Тому з метою вивчення цього явища проведено пасивний експеримент на виробничому обладнанні. На ділянці пневмотраси від камерного живильника до прийомного бункера встановлено два манометра, за допомогою яких проведено вимірювання тиску на вході і виході цієї ділянки. Визначено величину падіння тиску і час реакції системи на ці зміни. Розраховано швидкість суміші повітря з глиноземом, яка забезпечить мінімальний робочий тиск у системі, необхідний для уникнення завалів. Отримані дані можна використовувати при розробці системи автоматичного керування ПТС для мінімізації впливу транспортного запізнювання на перехідні процеси ПТС, підвищення енергоефективності системи і зменшення матеріальних витрат, пов'язаних із усуненням завалів.

Ключові слова: пневмотранспорт, запізнювання, система автоматичного керування, сипкі матеріали.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Пневматичний спосіб транспортування сипких матеріалів широко розповсюджений на підприємствах металургійної, гірничої, енергетичної, хімічної промисловості, у агропромисловому комплексі і будівництві. Трубопровідний транспорт складає 30% усіх промислових транспортних робіт, що обумовлює його ефективність [1].

Пневмотранспортні системи (ПТС) мають переваги порівняно з іншими транспортними системами, а саме, використання незначних площ для розміщення трубопроводів і обладнання, можливість автоматизації процесів транспортування, застосування дистанційного керування, можливість переміщення сипких матеріалів зручною для виробництва траєкторією, забезпечення захисту навколишнього середовища, покращені санітарно-гігієнічні умови праці обслуговуючого персоналу [2]. Посеред вад ПТС слід виділити запізнювання реакції системи на зміну тиску і, як наслідок, завалів пневмотранспортної труби, що супроводжується зупинкою технологічного процесу, простоям обладнання і значними матеріальними витратами. Одним із шляхів уникнення завалів є забезпечення підвищення тиску у пневмотрасі, що є більш енергоємним. Іншим шляхом є розробка систем керування, які забезпечать стабілізацію тиску на вході і виході пневмотраси.

Тому дослідження явища запізнювання реакції системи на зміну тиску у пневмотрасі з метою підвищення енергоефективності систем автоматичного керування ПТС є актуальним.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Аналіз виконаних досліджень ПТС показав досить високий ступінь вивчення гідродинаміки двофазного середовища в умовах пневматичного транспорту [2], вибору пневмотранспортних машин і облад-

нання, забезпеченню надійності конструкції трубопроводів [3]. Певні позитивні результати досягнуті при підвищенні тиску несучого газу [4] шляхом створення зворотної лінії трубопроводу, що додатково живить повітрям компресор, а також підвищення ефективності роботи ПТС за допомогою ультразвукової технології [5]. Досить докладно розглянуто процеси, що впливають на енергетичну ефективність різних ПТС, систематизовано і узагальнено досвід створення цих систем [1]. Однак недостатньо досліджені процеси, пов'язані із запізненням реакції системи на зміну тиску у пневмомагістралі, що досить важливо при розробці систем автоматичного керування ПТС, особливо при їх великій продуктивності і протяжності, зокрема, між різними цехами.

Тому метою роботи є дослідження впливу явища запізнювання на систему пневмотранспорту сипких матеріалів, що дозволить підвищити енергоефективність ПТС та знизити вірогідність виникнення завалів.

При проектуванні нових і модернізації існуючих ПТС необхідно враховувати змінювання електромеханічних параметрів роботи обладнання при пуску або інших перехідних режимах, найбільш небезпечних з точки зору можливості виникнення завалу у пневмотрасі. Усунення можливості зупинки сипучих матеріалів у пневмотранспортних трубопроводах шляхом значного підвищення тиску на вході в пневмотранспортну магістраль призводить до надмірних витрат стисненого повітря і значного зниження рентабельності виробництва, що використовує пневмотранспорт [6]. З огляду на чинники високої вартості енергоносіїв і великі обсяги виробництва при транспортуванні сипких матеріалів, актуальним завданням є підвищення ефективності роботи пневмотранспортних систем, а також зниження питомих

витрат стисненого повітря при транспортуванні сипких матеріалів. Тому є досить важливим аналітично прогнозувати змінювання електромеханічних параметрів ПТС, вибирати на підставі виконаних розрахунків більш раціональне обладнання і задавати оптимальні режими транспортування.

З метою дослідження явища запізнювання реакції системи на зміну тиску у пневмотранспортній магістралі проведено пасивний фізичний експеримент на ПАТ «ЗАЛК», де об'єктом дослідження була частина пневмотраси (рис. 1) від камерного живильника (КЖ) до прийомного бункера (ПБ) електролізного цеху.

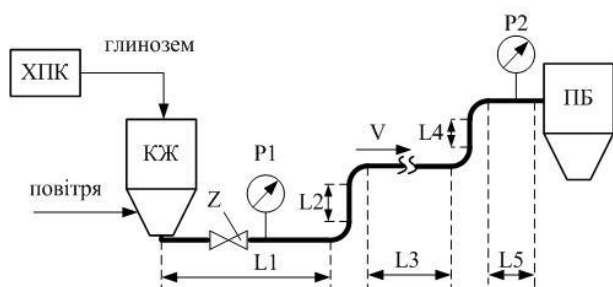


Рисунок 1 – Структурна схема експериментальної ділянки ПТС

З холодильника печі кальцинації (ХПК) глинозем завантажується через отвір в камерний живильник. Поворотом засувки подачі стисненого повітря від центрального колектора, регулюється надходження матеріалу в транспортну магістраль, контролюється при цьому тиск на манометрі (P1), тиск нагнітання від колектора стисненого повітря і витрата глинозему.



Рисунок 2 – Експериментальні дані: тиск на вході (1) і виході (2) пневмотранспортної системи



Рисунок 3 – Втрати тиску між входом і виходом пневмотранспортної системи

Засувкою (Z) регулюється подача суміші у пневмотранспортну магістраль.

В ході експерименту було здійснено 42 вимірювання тиску на вході в ПТС біля камерного живильника манометром P1 і на виході пневмотраси біля прийомного бункера манометром P2. На рис. 2 наведені результати вимірювання, за якими встановлено, що розбіг втрати тиску сягає $2,45 \cdot 10^5$ Па (рис. 3). Система керування повинна своєчасно компенсувати втрату тиску в пневмотранспортній магістралі, за для уникнення завалу, зупинки процесу транспортування сипких матеріалів і закупорки систем пневмотранспорту. Згідно технологічного процесу тиск на виході системи повинен бути не менше $2 \cdot 10^5$ Па.

Для забезпечення зазначеної умови визначено необхідну швидкість суміші повітря з глиноземом на виході пневмотраси V , м/с за рівнянням (1).

$$V = \alpha \cdot \sqrt{\gamma} + \beta \cdot L_e^2, \quad (1)$$

де $\alpha = 10$ – коефіцієнт, що враховує геометричні розміри частинок глинозему; $\beta = 0,00005$ – коефіцієнт, що враховує зміни питомої ваги повітря в пневмотранспортній магістралі; $\gamma = 3,5$ т/м³ – питома вага частинок глинозему, L_e – еквівалентна довжина пневмотраси.

$$L_e = L_g + L_v + L_p, \quad (2)$$

де L_g – загальна довжина горизонтальних ділянок пневмотраси (3); L_v – загальна довжина вертикальних ділянок пневмотраси (4); L_p – загальна довжина поворотів пневмотраси (5).

$$L_g = L_1 + L_3 + L_5, \quad (3)$$

де $L_1 = 37$ м, $L_3 = 259$ м, $L_5 = 24$ м.

$$L_v = L_2 + L_4, \quad (4)$$

де $L_2 = 9,5$ м, $L_4 = 5,9$ м.

$$L_p = n_{90} \cdot k_{90}, \quad (5)$$

де $n_{90} = 4$ – кількість поворотів на 90° за умови, що радіус повороту дорівнює 5,1 м; $k_{90} = 8$ м – довжина одного повороту.

Тоді $L_g = 320$ м, $L_v = 15,4$ м, $L_p = 32$ м, $L_e = 367,4$ м. Для розрахунку еквівалентну довжину пневмотраси прийнято $L_e = 370$ м.



Рисунок 4 – Час реакції системи на зміну тиску

Підставивши в (1) отримані числові значення швидкість суміші повітря з глиноземом на виході пневмотраси $V = 25,553$ м/с.

Інтервал між вимірами часу складав від 6 до 10 хвилин, з урахуванням часу завантаження-вивантаження камерного живильника і щільності матеріалу. На рис. 4 наведені результати вимірювання часу реакції системи на зміни тиску. Вимірювання здійснювались з моменту підвищення тиску в камерному живильнику і до вирівнювання тиску в прийомному бункері, так званий, час запізнювання, який необхідно враховувати при розробці системи автоматичного керування ПТС сипких матеріалів.

ВИСНОВКИ. В результаті проведених досліджень розраховано швидкість суміші повітря з глиноземом $V = 25,553$ м/с, яка необхідна для забезпечення мінімального тиску на виході пневмотраси. Було виявлено, що наявність втрати тиску на виході ПТС зменшує енергоефективність системи в цілому, а також може призвести до появи завалів. Для мінімізації цих втрат при розробці системи автоматичного керування ПТС необхідно враховувати час транспортного запізнювання, що дозволить стабілізувати тиск на виході системи, тим самим зменшити енерговитрати і матеріальні витрати, пов'язані із уникненням завалів.

THE RESEARCH OF TRANSPORT DELAY OCCURRENCE IN PNEUMATIC TRANSPORT SYSTEM OF THE BULK MATERIALS

O. Nazarova, V. Bondarenko, I. Meleshko

Zaporizhzhia National Technical University
st. Zhukovskiy, 64, 69063, Zaporizhzhia, Ukraine

A large number of parameters affects on magnitude of transport delay in pneumotransport systems (PTS). Therefore, in order to study this phenomenon, a passive experiment on the production equipment was conducted. Two manometers are installed on the section of the pneumatic tracks from the chamber feeder to the receiving bunker, with the help of which measure the pressure at the entrance and exit of this site. The value of the pressure drop and the system response time to these changes are determined. The speed of air mixture mixing with alumina is calculated, which will provide the minimum working pressure in the system necessary to avoid blockages. The obtained data can be used in the development of the automatic control system of the PTS, to minimize the impact of transport delay on the electromechanical processes of the PTS, increase energy efficiency of the system and reduce the material costs associated with the removal of blockages.

Key words: pneumatic transport, transport delay, automatic control system, bulk materials.

REFERENCES

1. Rogovoj, A. S. (2016) *Energeticheskaja effektivnost pnevmotransportnykh ustanovok* [Energy efficiency of pneumatic conveying systems], Visnik Skhidno-ukrainskogo natsionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalia, no 1 (225), pp.189-196.
2. Ostrovskiy, G. M.(1984), *Pnevmaticheskii transport sypuchikh materialov v khimicheskoi promyshlennosti* [Pneumatic transport of loose materials in the chemical industry], Himija, Leningrad, Russia.
3. Fabio Novelli and Mike Weyandt "A quick look at pneumatic conveying system basics", available at: https://www.powderbulk.com/wp-content/uploads/2014/05/pbe_20100301_0030.pdf

ЛІТЕРАТУРА

1. Роговой А.С. Энергетическая эффективность пневмотранспортных установок // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2016 – № 1 (225). – С. 189-196.
2. Островский Г. М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности. – Л.: Химия, 1984. – 104 с.
3. Fabio Novelli and Mike Weyandt. A quick look at pneumatic conveying system basics [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.powderbulk.com/wp-content/uploads/2014/05/pbe_20100301_0030.pdf
4. Тимошенко В.И. Пневмотранспорт сыпучих материалов с повышенным давлением несущего газа / В. И. Тимошенко, Ю. В. Кнышенко // Наука та інновації. 2013. – Т. 9. – № 1. – С. 5-17.
5. Воронкин П. А. Повышение эффективности работы пневмотранспортной установки с помощью ультразвука / П. А. Воронкин, В. П. Тарасов // Известия вузов. Пищевая технология, 2010. - №5-6. – С. 71-74.
6. Тарасов В. П. Расчет пневмотранспортных установок / В. П. Тарасов, А. А. Глебов, А. Э. Гейнеман // Известия вузов. Пищевая технология, 1999. - №2-3. – С. 77-81.

4. Timoshenko, V. I. and Knyshenko, Ju. V. (2013) *Pnevmotransport sypuchikh materialov s povyshennym davleniem nesushchego gaza* [Pneumotransport of bulk materials with increased pressure of the bearing gas], Nauka ta innovatsii. Vol. 9, no 1, pp.5-17.
5. Voronkin, P. A. and Tarasov, V.P. (2010) *Povyshenie effektivnosti raboty pnevmotransportnoi ustanovki s pomoshchiu ultrazvuka* [Increasing the efficiency of the pneumotransport unit using ultrasound], Izvestija vuzov. Pischevaja tehnologija, no 5-6, pp.71-74
6. Tarasov, V. P., Glebov, A. A. and Gejneman, A. E. (1999) *Raschet pnevmotransportnykh ustanovok* [Calculation of pneumatic conveying systems], Izvestija vuzov. Pischevaja tehnologija, no 2-3, pp. 77-81.