

УДК 621.867.82

О.В. Гуцин¹, Р.І. Рыбалко²¹Східно-Український національний університет ім. В. Даля²Приватне виробничо-комерційне підприємство «Фірма «РІФ»**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ АЕРОСУМІШЕЙ
У ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОМУ ПРИСТРОЇ**

У статті розглянуто особливості формування структури аеросуміші у завантажувальному пристрої під впливом повітряних потоків та її течії на ділянці входу в пневматичний трубопровід. Результати досліджень свідчать про перспективність використання дії повітряних променів на сипкий матеріал при розробці нових типів завантажувальних пристроїв для пневмотранспортних установок, що працюють при структурованих режимах течії аеросуміші

Ключові слова: аеросуміш, завантажувальний пристрій, пневмотранспорт, живильник, струмінь, сипкий матеріал.

О.В. Гуцин, Р.И. Рыбалко

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ АЭРОСМЕСЕЙ В
ЗАГРУЗОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ**

В статье рассмотрены особенности формирования структуры аэросмеси в загрузочном устройстве под воздействием воздушных потоков и ее течения на участке входа в пневмотранспортный трубопровод. Результаты исследований свидетельствуют о перспективности использования действия воздушных струй на сыпучий материал при разработке новых типов загрузочных устройств для пневмотранспортных установок, работающих при структурированных режимах течения аэросмеси.

Ключевые слова: аэросмесь, загрузочное устройство, пневмотранспорт, питатель, струя, сыпучий материал.

O. Guschin, R. Rybalko

**INVESTIGATION OF THE FORMATION OF THE STRUCTURE OF AEROSOMESIN THE
LOADING DEVICE**

The features of structure formation of fuel mixture in the boot device under the influence of air flow and its flow at the site entrance of the pneumatic conveying pipeline.

The research results show the availability of the action of the air jets on the bulk material in the development of new types of loading devices for pneumatic conveying systems operating under framed mode aeromixture flow.

Keywords: aerosmese, charging device, pneumatic transport, feeder, jet, the bulk material.

Постановка проблеми. Вивчення режимів руху аеросумішей в пневмотранспортному трубопроводі наочно свідчить, що при режимі руху часток матеріалу суцільним потоком в аерованому стані об'ємна, а, отже, й масова їх концентрація практично досягає своїх граничних значень. Дослідні перевірки довели неприйнятність традиційних завантажувальних пристроїв для установок, працюючих при порційному та хвильовому режимах руху суміші. Тому розробку нових високоефективних енергозберігаючих засобів переміщення сипких матеріалів з використанням нетрадиційних режимів руху аеросуміші в транспортному трубопроводі можна рахувати одним з напрямків подальшого розвитку та удосконалення пневматичного транспорту [1-3]. Трансформація структури течії аеросумішей шляхом керованої генерації вихрових структур дозволяє інтенсифікувати процеси масопереносу [4]. Основою розробки нових типів завантажувальних пристроїв для установок з порційним і хвильовим рухом аеросуміші є використання явища надтекучості сипких матеріалів, що має місце при впливові на них потоків та струменів, ефекту вібрації або об'єднаної дії цих факторів [5, 6].

У живильнику, що досліджується, передача енергії двох додаткових повітряних потоків основному повздовжньому потоку аеросуміші здійснюється шляхом їх турбулентного змішування. Механіка турбулентного змішування для пристроїв із центральним соплом достатньо докладно розглянуто в роботах Абрамовича Г.Н. [7, 8]. Втрати кінетичної енергії при турбулентному змішуванні повітряних потоків для даних типів установок оцінено Соколовим Ю.Я. і Зінгером М.М. в роботі [9]. Питання дослідження кута взаємодії газових потоків при їх змішуванні у кільцевому ежекторі з урахуванням конструктивних і технологічних параметрів розглянуто в роботі [10]. Аналіз виконаних досліджень виявив невивченість даних процесів стосовно завантажувальних пристроїв пневматичного транспорту сипких матеріалів. Дослідження процесів, що протікають в області камери змішування, входження аеросуміші в трубопровід та її руху на початковій ділянці є актуальною задачею. Розширення камери змішування дозволить створити ряд

завантажувальних пристроїв нового типу, що загалом дозволить підвищити ефективність пневмотранспорту сипких матеріалів.

Метою даної статті є дослідження механіки взаємодії повітряних струменів і формування потоку аеросуміші у живильнику – змішувачі інжекційного типу з додатковим повітряним побудником.

Особливістю конструкції аераційно-ежекційного живильника (рис.1) є використання двох повітряних струменів (горизонтального і похило-вертикального) для створення ефекту надтекучості або псевдозрідження сипкого матеріалу в області камери змушування и формування стійкої структури аеросумішей. В області камери змішування на сипкий матеріал впливають два струменя, що аерують та спрямовують його в транспортний трубопровід із властивістю над сипучості. Один спрямований вздовж осі змішувальної камери і матеріалопроводу, інший під кутом γ до їх повздовжньої осі. Живильний пристрій, що досліджується, складається із завантажувального бункера 1, до якого подається надлишковий тиск через канал 2, камери змішування 3, яка з'єднана з розвантажувальним патрубком 4, стисле повітря потрапляє в живильник крізь горизонтальний 5 та допоміжний нахилений 6 повітряпідвідні патрубки, на кінцях яких встановлено сопла 7. Таким чином, вирішується задача зменшення коефіцієнту внутрішнього тертя сипкого матеріалу та підвищення його рухомості для поліпшення умов його руху в змішувальній камері з метою підвищення продуктивності у порівнянні з існуючим зразком.

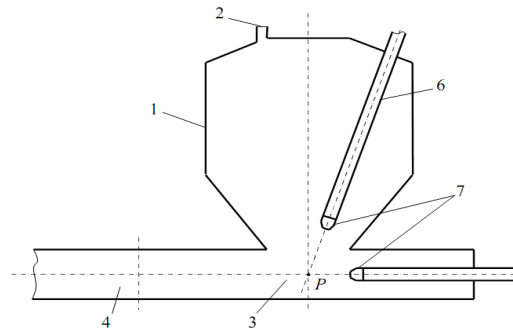


Рис. 1. Схема камерного ежекційного живильника, що обладнаний додатковим повітряним соплом-збудником:

1 – завантажувальний бункер; 2 – канал для надлишкового тиску; 3 – камера змішування; 4 – розвантажувальний патрубок; 5 – горизонтальний повітряпідвідний патрубок; 6 – допоміжний нахилений повітряпідвідний патрубок; 7 – сопла

Робота живильника розглядається як та, що складається з двох послідовних етапів. Перший етап – вихід сипкого матеріалу з бункера, його входження до змішувальної камери. Другий етап – формування аеросуміші в камері змішування двома повітряними струменями та її входження в транспортний трубопровід. Відстань сопла від камери змішування визначається з умови, що при розрахунковому коефіцієнті інжекції кінцевий переріз вільного струменю дорівнює вхідному перерізу камери змішування. Вибір положення робочого сопла визначається двома розмірами вільного струменю (рис.2): довжиною робочого струменю l_{cl} та діаметром вільного струменю d_4 на відстані l_{cl} від вихідного перерізу сопла.

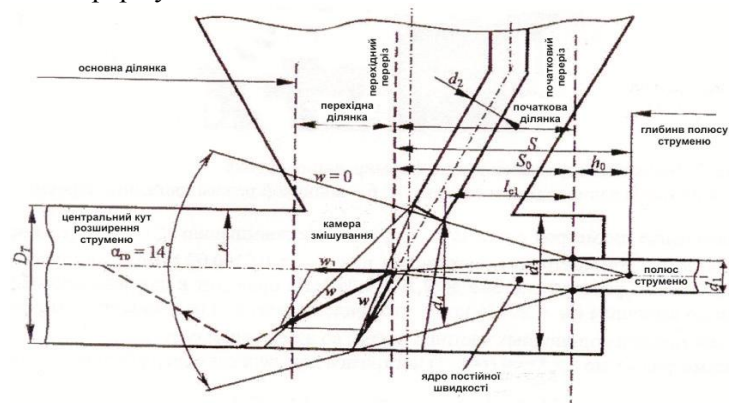


Рис. 2. Схема взаємодії повітряних потоків на ділянці входження аерованого потоку в пневмотранспортний трубопровід

Довжина струменю l_{c1} може бути визначеною наступними наближеними залежностями:

– при коефіцієнті інжекції $u \leq 0,5$, тобто коли вільний струмінь не виходить за межі початкової ділянки:

$$l_{c1} = \left[\sqrt{0.083 + 0.7u} - 0.29 \right] \frac{d_1}{2\alpha}; \quad (1)$$

– при коефіцієнті інжекції $u > 0,5$, тобто коли вільний струмінь включає не тільки початкову, але й частково, основну ділянку:

$$l_{c1} = \frac{0.37 + u}{4.4\alpha} d_1, \quad (2)$$

де d_1 – вихідний діаметр робочого сопла; α – дослідна константа, що знаходиться в межах 0,07-0,09.

Діаметр вільного струменю d_4 на відстані l_{c1} від вихідного перерізу сопла:

$$– \text{при коефіцієнті інжекції } u \leq 0,5 \quad d_4 = 3,4d_1 \sqrt{0.083 + 0.76}; \quad (3)$$

$$– \text{при коефіцієнті інжекції } u > 0,5 \quad d_4 = 1.55d_1(1 + u). \quad (4)$$

Складання двох взаємодіючих струменів представляється як результат складання двох відомих течій [7]. Вектор швидкості \vec{w}_1 нової течії визначається як складання векторів \vec{w}_1 і \vec{w}_2 двох потоків $\vec{w} = \vec{w}_1 + \vec{w}_2$.

Максимальне значення швидкості вздовж осі струменю:

$$w_m = 0.45433 \sqrt{\frac{I_0^2}{\rho^2 v x}}. \quad (5)$$

Експериментально на моделі досліджено: рух сипкого матеріалу в камері змішування при впливові на нього двох повітряних потоків, спрямованих під визначеним кутом один відносно іншого; вплив подачі надлишкового тиску в частину бункеру, що звільняється, на процес витікання; вплив діаметру сопел та місця установки горизонтального та вертикального сопел на процес витікання; змінення масової концентрації в залежності від величини надлишкового тиску; оцінка загальних втрат тиску в завантажувальному пристрої.

Початкові зрушення матеріалу в камері змішування і початковій ділянці трубопроводу спостерігалися при надлишковому тиску 0,01-0,012 МПа. При тиску близько 0,02 МПа має місце стійкий рух аеросуміші. При цьому в безпосередній близькості від камери змішування сипкий матеріал на початковій ділянці трубопроводу рухається у щільному керованому стані (рис.3а), а на деякій відстані – формується стійкий хвильовий рух аеросуміші (рис.3б), що далі переходить в порційний режим.

Збільшення діаметрів сопел d_1 і d_2 призводить до підвищення продуктивності витікання. Масова концентрація досягається при $P_{\text{над.}} = 0,01-0,02$ МПа. Збільшення надлишкового тиску в робочій системі до 0,03-0,04 МПа призводить к падінню масової концентрації до величини ($\mu = 20-25$ кг/м), що свідчить про перехід роботи установки в режим переміщення одиночних часток у польоті в зваженому стані.

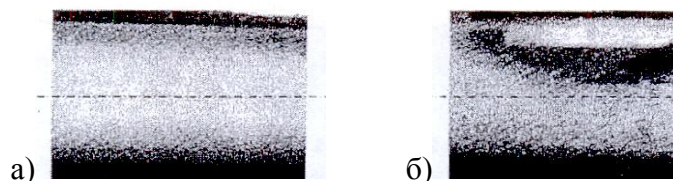


Рис. 3. Рух аеросуміші в зоні формування потоку:
а – у щільному керованому стані; б – хвильовий режим руху аеросуміші

Збільшення діаметрів сопел d_1 і d_2 призводить до підвищення продуктивності витікання. Масова концентрація досягається при $P_{\text{над.}} = 0,01-0,02$ МПа. Збільшення надлишкового тиску в робочій системі до 0,03-0,04 МПа призводить до падіння масової концентрації до величини ($\mu = 20-25$ кг/м), що свідчить про перехід роботи установки в режим переміщення одиночних часток у польоті у зваженому стані.

Графіки, що розглядаються (рис.4), побудовані для двох випадків роботи живильника. Криву 1 отримано для випадку, коли у верхню частину бункеру, що звільнилася, в процесі витікання не

подається стисле повітря, тобто у верхній частині бункера $P_{\text{над}} = 0$ МПа; криву 2 отримано, коли у верхню частину бункеру, що звільняється, подається стисле повітря, тиск якого дорівнює величині надлишкового тиску у робочій системі.

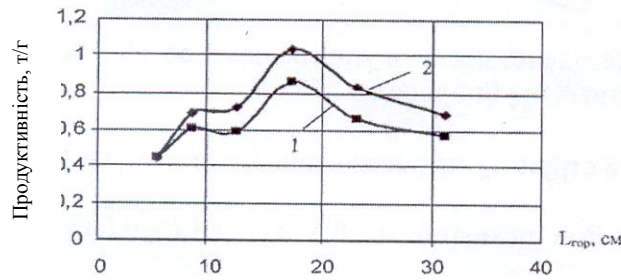


Рис. 4. Вплив $L_{\text{гор}}$ на продуктивність витікання сипкого матеріалу:
1 – $P_{\text{над}} = 0$ МПа; 2 – $P_{\text{над}} = 0,02$ МПа

Графіки (рис.5), побудовані при надлишковому тиску (а – $P_{\text{над}} = 0$ МПа; б – $P_{\text{над}} = 0,02$ МПа) у залежності від відстані установки горизонтального сопла до вісі камери змішування ($L_{\text{гор}}$) для різних діаметрів, носять аналогічний характер. Підтримання $P_{\text{над}} > 0$ зберігає ті ж 15-20% збільшення продуктивності.

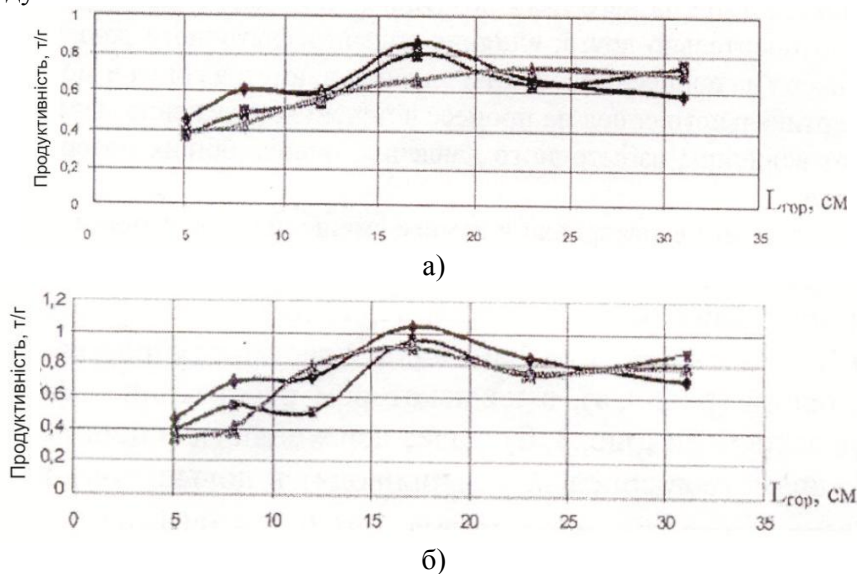


Рис. 5. Змінення продуктивності витікання сипкого матеріалу для різних діаметрів горизонтальних насадок:
а – $P_{\text{над}} = 0$ МПа; б – $P_{\text{над}} = 0,02$ МПа

Аналіз кривих демонструє, що максимальних значень продуктивність досягає при величині $L_{\text{гор}} = 170$ мм від осі камери змішування.

Збільшення діаметрів сопел d_1 і d_2 призводить до підвищення продуктивності витікання. Графік змінення масової концентрації $\mu=f(\Delta P)$ (рис.6) показує, що її максимальне значення для випадку, що розглядається, отримуються при $P_{\text{над}} = 0,01-0,02$ МПа.

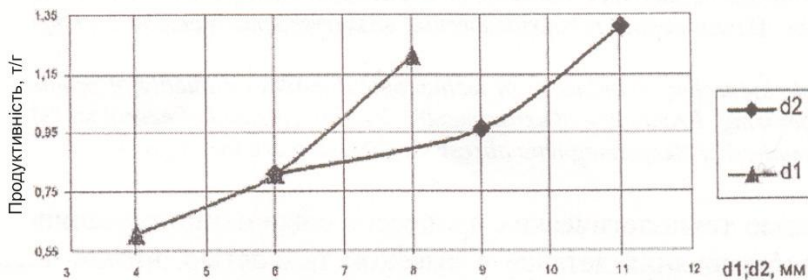


Рис. 6. Вплив діаметру горизонтального (d_1) і (d_2) вертикального сопел на продуктивність живильника при $d_1 = 11$ мм, $d_2 = 8$ мм, $L_{\text{гор}} = 170$ мм, $L_{\text{верт.}} = 0$ мм

Збільшення надлишкового тиску в робочій системі до 0,03-0,04 МПа приводить до падіння масової концентрації до величини $\mu = 20-25$ кг/кг.

Висновки. Дослідження поведінки сипкого матеріалу в камері змішування при впливі на нього двох взаємодіючих повітряних струменів, вплив величини діаметрів сопел (ежекторів) та їх відстань від камери на процес витікання сипких матеріалів з випускного отвору бункера на ділянці його введення в матеріалопровід, показали, що в безпосередній близькості від камери після його виходу в матеріалопровід сипкий матеріал рухається у двох режимах: у щільному аерованому потоці або хвильовому режимі, який далі в трубопроводі трансформується в порційний режим руху. Експериментальні дослідження ежекційного живильника з додатковим повітряним побудником, що виконано на моделі, підтвердили його добру працездатність. Застосування живильників даного типу в нових високоєфективних пневмотранспортних установках з хвильовим та порційним режимами руху аеросуміші дозволить вирішити задачу подальшого розвитку та удосконалення пневмотранспорту сипких матеріалів.

Список літератури.

1. Волошин А.И., Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов / А.И. Волошин, Б.В. Пономарев. – К: Наук. думка, 2001. – 519с.
2. Математическое моделирование на транспорте: процессы и структуры: монография / П.Б. Комов, А.Б. Комов, И.В. Грицук, Ю.В. Прилепский, В.М. Гуцин, Р.И. Рыбалко, В.В. Коломиец. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2012. – 328с.
3. Гуцин В.М. Движение частиц сыпучего материала в пневмотранспортном трубопроводе при вращательном режиме перемещения аэросмесей / В.М. Гуцин, Р.И. Рыбалко, О.В. Гуцин. – Промислова гідраліка і пневматика. – 2011, – №3 (33). – С.41-46.
4. Гуцин В.М. Управление и интенсификация процессов пневматического транспортирования сыпучих материалов струйным воздействием воздушного потока / В.М. Гуцин, О.В. Гуцин. // Теорія і практика будівництва. – 2009, – №5. – С.6-15.
5. Гуцин В.М. Интенсификация процессов пневматического транспортирования сыпучих материалов / В.М. Гуцин. // Промислова гідраліка і пневматика. – 2004, – №2 (4). – С.29-32.
6. Програмний комплекс для досліджень та розробки пневмотранспортних установок з переміщення сипких матеріалів. / Гуцин В.М., Рибалко Р.І., Гуцин О.В. – Св-во про внесення відомостей до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення (Державна служба інтелектуальної власності України). Серія ВР, № 01582.
7. Абрамович Н.Г. Теория турбулентных струй / Н.Г. Абрамович. – М.: Гл. ред. физ-мат. лит-ры., 1984. – 716с.
8. Разумов И.М. Псевдооживление и пневматический транспорт сыпучих материалов / И.М. Разумов. – М.: Химия, 1984. – 346с.
9. Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.Г. Зингер. – М.: Энергия, 1970. – 278с.
10. Пономаренко С.Н., Исследование угла взаимодействия газовых потоков при их смешивании в кольцевом эжекторе / С.Н. Пономаренко // Вісник ДДМА: Краматорськ, 2005, – №2. – С. 174-179.

Рецензент:

Грицук І.В., доктор технічних наук, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна.