

В. К. БИШИМБАЕВ, С. В. ВИКТОРОВ

ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОИМПУЛЬСНОЙ ПЕРЕГРУЗКОЙ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Пневматическое транспортирование и перевозка порошкообразных и сыпучих материалов из емкостей и цистерн широко используется в различных отраслях промышленности и на транспорте. При этом соответствующие емкости оборудуются системами аэрационных газораспределительных устройств и перегородок для псевдоожижения и побуждения к движению сыпучих материалов к разгрузочным отверстиям емкостей [1].

Большинство известных способов очистки газораспределительных решеток используют пневматическую обратную продувку сжатым газом.

Как правило, применение этих способов способствует кольматации отверстий газораспределительных перегородок при использовании неосущенного сжатого воздуха и требует подачи повышенного удельного расхода газа постоянного давления. В настоящей работе описывается предложенный нами новый способ пневмоимпульсной перегрузки сыпучих и порошкообразных материалов из пневмоцистерн с регенерацией газораспределительных перегородок [2], а также дан анализ физического механизма, лежащего в основе этого способа, и разработан подход к математическому моделированию процесса.

Способ основан на использовании энергий прямой и обратной волн пневматического удара для транспортирования сыпучего и порошкообразного материала в горизонтальном разгрузочном трубопроводе и вертикальной транспортной магистрали [3]. Как показали испытания, применение нового способа позволяет существенно повысить производительность и надежность работы, снизить удельный расход сжатого газа на выгрузку и транспорт сыпучего материала из специцистерн с аэрационным оборудованием. Важным качеством предложенного способа является обеспечение быстродействия и расширение диапазона регулирования импульсными пневматическими ударами в условиях максимального давления выхлопа сжатого газа.

В предлагаемом способе помимо потока сжатого газа постоянного давления, воздействующего

на материал на наклонных тканевых газораспределительных перегородках, на транспортируемый материал в гибком горизонтальном разгрузочном трубопроводе и вертикальной транспортной магистрали воздействуют дополнительными импульсами сжатого газа. Эти дополнительные импульсные пневматические удары производятся одновременно с импульсными пневматическими ударами под наклонные тканевые газораспределительные перегородки пневмоцистерны. При этом чередуют подачу прерывистых потоков сжатого газа постоянного давления с определенным периодом. Регулируя частоту импульсных пневматических ударов, можно добиться транспортирования аэрированной смеси материала по наклонным тканевым перегородкам в пневмоцистерне, горизонтальном разгрузочном трубопроводе и на начальном участке вертикальной транспортной магистрали в режиме резонирования частот.

Внешний вид пневмоимпульсной установки представлен рис. 1.

Принципиальная схема установки показана на рис. 2.

Последовательность этапов рабочего цикла такова.

1. Открывается клапан 1, и сжатый газ, поступая в пространство I, передвигает золотник 2 в крайнее правое положение. В этом положении открываются отверстия 3, и сжатый газ поступает в полость II. Давлением этого газа мембра 4 перекрывает отверстие выхлопной трубы 5.

2. Открывается вентиль 6, и сжатый газ поступает в систему аэрации 7 цистерны 8 и в кольцевой эжектор 15 транспортной магистрали 16. При этом обратный клапан 9 предотвращает создание давления в выхлопной трубе 5.

3. Открывается вентиль 10, и сжатый газ поступает в емкость 11. При этом создается давление в пространстве III. Рост этого давления перед поршнем большего диаметра золотника 2 происходит с определенным запаздыванием по отношению к давлению в емкости 11, что регу-

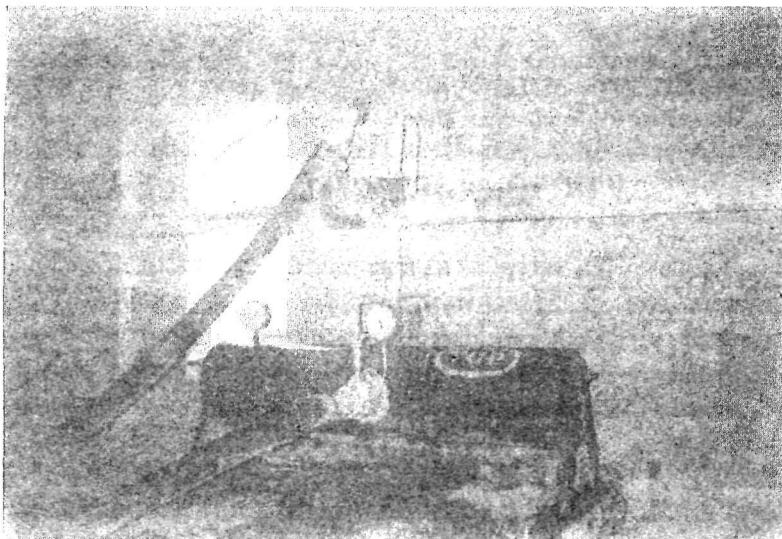


Рис. 1. Внешний вид пневмоимпульсной установки

лируется игольчатым клапаном 12. В определенный момент времени давление на поршень большего диаметра золотника в пространстве III оказывается достаточным для преодоления силы давления в пространстве I. Для регулирования этого этапа предусмотрена возможность создания дополнительного усилия со стороны пружины 13. В следующий момент происходит перемещение золотника в крайнее левое положение.

4. Сжатый газ из пространства II сбрасывается через отверстия 3 и 14 в атмосферу. При этом давлением газа в емкости 11 открывается мембрana 4, и сжатый газ поступает в выхлопную трубу 5. Открывается обратный клапан 9, и газ поступает в систему аэрации 7. Этот этап осуществляется в режиме импульсного пневматического удара, что приводит к быстрому обрушению сыпучего материала по пограничному псевдо-

ожиженному и аэрированному слою. Созданный импульс способствует также дополнительному ускорению аэрированного материала в транспортной магистрали 16.

5. В процессе осуществления этапа 4 резко падает давление в емкости 11, и под воздействием избыточного давления в цистерне 8 возникает обратная волна. Обратная волна действует на сыпучий материал и возбуждает также колебательный процесс на газораспределительной перегородке.

В рассматриваемой системе можно выделить два основных управляемых параметра.

Первый параметр – частота пневматических ударов – регулируется частотой открытия вентиля 10.

Второй параметр – временное запаздывание роста давления в пространстве III – регулируется клапаном 12.

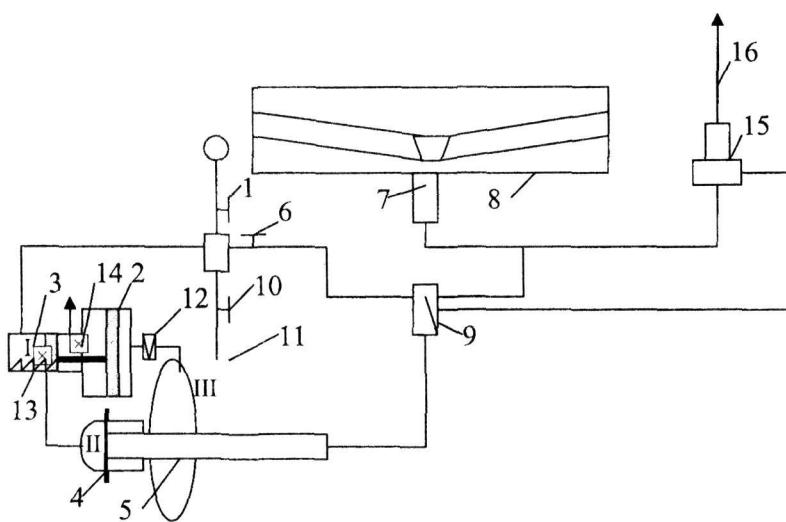


Рис. 2. Принципиальная схема установки пневмоимпульсной перегрузки сыпучих материалов

Колебания в данной системе возникают вследствие параметрического возбуждения, поскольку давление сжатого газа в коллекторе остается постоянным.

Таким образом, возникающие колебания являются параметрическими [4] и могут быть описаны в общем виде с помощью следующего уравнения:

$$\frac{d^2 \Delta P}{dt^2} + \omega_0^2 (1 - \alpha) \Delta P = \beta \Delta P \cos \omega^* t - \gamma \frac{d \Delta P}{dt} + \varepsilon (\Delta P)^3, \quad (1)$$

где ΔP – величина импульса давления в системе; t – время; ω_0 – собственная частота колебаний в системе; ω^* – частота «наведенных» колебаний; α – параметр подстройки; β – коэффициент параметрического возбуждения; γ – коэффициент демпфирования; ε – малый параметр, характеризующий степень нелинейности системы.

Как уже отмечалось, из всех перечисленных параметров управляющими могут считаться по существу два параметра: ω^* – частота «наведенных» колебаний, регулируемых с помощью вентиля 10 и α – параметр подстройки, характеризующий интегральное влияние клапана 12 на запаздывание импульса давления над большим поршнем золотника 2 и пружины 13 на баланс сил, действующих на поршни золотника.

Остальные параметры, присутствующие в уравнении (1), не могут эффективно регулироваться в процессе работы.

Частота собственных колебаний является функцией множества факторов, связанных с конфигурацией системы. В качестве предварительной, начальной оценки можно предложить следующее соотношение:

$$\omega_0 = k \frac{\sqrt{gh}}{L}, \quad (2)$$

где L – характерный продольный размер системы; h – высота слоя материала на перегородке; k – коэффициент, зависящий от насыпной плотности и конфигурации системы.

Оценка величины параметра нелинейности выглядит следующим образом:

$$\varepsilon \sim K \frac{H}{h}. \quad (3)$$

Здесь H – амплитуда возмущенного движения

слоя материала; K – эмпирический коэффициент, определение которого представляет определенные трудности.

Теоретическая оценка коэффициента демпфирования в такой сложной системе также вряд ли возможна. В то же время, его эмпирическое определение не представляет значительных трудностей.

Действительно, по своему смыслу коэффициент γ равен (или пропорционален) обратной величине периода затухания T_{rel} наведенных в системе колебаний:

$$\gamma \sim \frac{1}{T_{rel}}. \quad (4)$$

Аналогичные рассуждений можно провести в отношении коэффициента параметрического возбуждения β . По своему физическому смыслу этот параметр пропорционален ускорению относительного перепада давления в импульсе, т.е. можно записать следующую оценку:

$$\beta \sim \frac{(\Delta P)_{max}}{P_0 T^2}, \quad (5)$$

где $(\Delta P)_{max}$ – амплитуда пневмоимпульса; P_0 – давление в коллекторе сжатого газа; T – полупериод импульса.

Отметим, что вывод уравнения (1) основан на разложении уравнения колебаний общего вида:

$$\frac{d^2 \Delta P}{dt^2} + \Phi(\Delta P) = 0 \quad (6)$$

в ряд Тейлора в окрестности положения равновесия, где $\Phi(\Delta P)$ – возвращающая сила.

Поэтому анализ подобных моделей проводится обычно с помощью асимптотических методов разложения по малому параметру [4, 5]. Применение метода многих масштабов показывает, что при этом в описываемой системе возникают как главный резонанс, наблюдаемый при $\omega^* \approx \omega_0$, так и ряд вторичных резонансов, характерных для нелинейного взаимодействия.

Для упрощения анализа рассмотрим линеаризованную модель ($\varepsilon = 0$) и введем ряд замен переменных для приведения уравнения к безразмерному виду:

$$\tau = \omega_0 t; \quad \omega = \frac{\omega^*}{\omega_0}; \quad \bar{\Delta P} = \frac{\Delta P}{P_0}. \quad (7)$$

Тогда уравнение (1) приобретет вид:

$$\frac{d^2 \Delta \bar{P}}{d\tau^2} + (1 - \bar{\alpha}) \Delta \bar{P} = \bar{\beta} \Delta \bar{P} \cos \omega \tau - \bar{\gamma} \frac{d \Delta \bar{P}}{d\tau}, \quad (8)$$

где $\bar{\alpha}$, $\bar{\beta}$, $\bar{\gamma}$ – пересчитанные с учетом (7) – параметры системы.

К уравнению (8) можно применить методы анализа, развитые в работах [4, 5]. В результате после ряда преобразований нами были получены решения первого $\Delta \bar{P}_1$ и второго $\Delta \bar{P}_2$ приближений в следующем виде:

$$\Delta \bar{P}_1 = A \cos \tau + B \sin \tau, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Delta \bar{P}_2 = & A \cos \tau + B \sin \tau - \bar{\alpha} (A \cos \tau + B \sin \tau) + \\ & + \frac{1}{2} \bar{\gamma} \left[\frac{A \cos(1-\omega)\tau + B \sin(1-\omega)\tau}{\delta_{2,\omega} - (1-\omega)^2} \right] + \\ & + \bar{\beta} (A \cos \tau + B \sin \tau), \end{aligned}, \quad (10)$$

где $\delta_{2,\omega}$ – символ Кронекера, т.е.

$$\delta_{2,\omega} = \begin{cases} 1 & \text{при } \omega = 2, \\ 0 & \text{при } \omega \neq 2. \end{cases}$$

Полная амплитуда возникающих в системе колебаний равна

$$\Lambda = \sqrt{A^2 + B^2}. \quad (11)$$

Более подробный анализ с учетом параметра нелинейности, также преобразованного с учетом соотношений (7), приводит к амплитудному уравнению следующего вида [4]:

$$0,75 \bar{\epsilon} \Lambda^2 = -\bar{\alpha} + \sqrt{0,25 \delta_{2,\omega} \bar{\gamma}^2 - \bar{\beta}^2}. \quad (12)$$

Таким образом, предложенное математическое описание позволяет рассчитывать все основные

характеристики процесса и может быть рекомендовано в качестве базовой модели для проведения численных экспериментов и определения оптимальных значений параметров управления пневмоимпульсной перегрузкой сыпучих материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Островский Г.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности. Л.: Химия, 1984. 104 с.
2. Бишимибаев В.К., Викторов С.В. Предпатент РК 314456. Способ пневмоимпульсной перегрузки сыпучих и порошкообразных материалов из пневмоцистерны с регенерацией газораспределительных перегородок // Бюл. 2003. №4.
3. Викторов С.В. Предпатент РК №14438. Способ пневмоимпульсной перегрузки сыпучих и порошкообразных материалов из пневмоцистерны с регенерацией газораспределительных перегородок и установка для реализации способа // Бюл. 2004. № 6.
4. Шмидт Г. Параметрические колебания. М.: Мир, 1978. 336 с.
5. Найфэ А. Введение в методы возмущений. М.: Мир, 1984. 535 с.

Резюме

Пневматикалық екпіннің тікелей және қайтарма толқынының қуатын қолдануға негізделген газды бөлүші кедерілдері регенерацияланған пневмоцистерналарға күрғак және ұнтақ тәріздес материалдарды пневмоимпульстік тиесіндік жана тәсілі ұсынылады. Пневмоимпульстік тиесін процесін басқарудың математикалық моделі жасалды.

Summary

A new method of pneumoimpulsive transshipping of friable and powder-like materials from pneumatotanks with regeneration of gasdistributive partitions, based on the use of energy of direct and opposite waves of pneumatic impact is suggested. Mathematical model of the process of pneumoimpulsive transshipping management is worked out.

УДК 621.547

Поступила 12.01.08г.