

пояснюється більш “вугловата” форма петлі. Запропонований метод дає можливість описати динамічну петлю гістерезису методом поліноміальної регресії для подальшого використання.

Література

1. Баранов Д.С., Карамзин В.Е. О методике измерения давления бетонной смеси на элементы форм. Сб. НИИЖБ Стальные формы для сборного железобетона. М., Стройиздат, 1966.
2. Баранов Ю.О. Создание строительных ударно-вибрационных машин с электромагнитным приводом. Дисс. канд. техн. наук. К., 1994. – 150 с.
3. Баранов Ю.О., Клименко М.О., Басараб В.А. Методика експериментальних досліджень взаємодії середовища з робочим органом ударно-вібраційної площадки. Техніка будівництва №11.К.: КНУБА, 2003.- с. 24-28.
4. Назаренко И.И. Прикладные задачи теории вибрационных систем, К.: І.С.Д.О, 1993.-216с.
5. Назаренко І.І., Баранов Ю.О., Басараб В.А. Експериментальні дослідження взаємодії середовища з робочим органом електромагнітної ударно-вібраційної площадки. Техніка будівництва №14.К.: КНУБА, 2004.- с. 43-47.

УДК 621.867.82

Гущин В.М., Гущин О.В.¹

УПРАВЛЕНИЕ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ СТРУЙНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Введение. Цель исследования. Общеизвестные, хорошо изученные и наиболее широко распространенные пневмотранспортные установки, работающие по принципу перемещения отдельных частиц в полете во взвешенном состоянии, обладают рядом существенных недостатков: относительно небольшая производительность, высокая энергоемкость процесса транспортирования, сложность очистки воздуха, значительный выброс пыли в окружающую среду [1, 2]. Необходимость совершенствования существующих и разработки новых высокоэффективных малоэнергоемких типов пневмотранспортных установок для перемещения сыпучих материалов является актуальной задачей. Интенсификация массопереноса позволяет решить поставленную задачу на качественно новой основе.

Трансформация структуры движения аэросмеси в пневмотранспортном трубопроводе, в том числе пристенного течения, путем управляемой генерации вихревых структур позволяет интенсифицировать процессы массопереноса. Одним из методов интенсификации процессов массопереноса в пневмотранспортном трубопроводе является использование дополнительных воздушных потоков, воздействующих на движущийся в трубопроводе сыпучий материал [3, 4]. Исследования [5, 6] показали достаточно хорошую работоспособность пневмотранспортной уста-

новки, оборудованной дополнительным воздуховодом с верхним расположением воздухоподводящих патрубков. Анализ выполненных исследований показывает, что вопросы рационального размещения воздухоподводящих патрубков, отсюда, управления воздействием дополнительно воздушного потока на движущуюся аэросмесь в пневмотранспортном трубопроводе не исследованы и в литературе не рассматривались.

Целью данной работы является анализ протекающих в пневмотранспортном трубопроводе процессов, управления движением аэросмесей струйным воздействием дополнительных воздушных потоков на перемещаемый материал и выявление оптимальных технических решений применительно к условиям транспортирования сыпучих материалов с разными физико-механическими свойствами.

Результаты исследования. Поставленная цель, в соответствии с блок-схемой самоорганизации режимов движения аэросмесей при пневматическом транспортировании сыпучих материалов [3], достигается созданием завихренности потока, энергетической подпиткой, вибрационным воздействием на сыпучий материал или сочетанием двух и более факторов. Дополнительная энергия может подводиться турбулентностью воздушного потока (непрерывное или импульсное воздействие), изменением энтропии. В

¹ Гущин В.М., канд. техн. наук, доц.; Гущин О.В., канд. техн. наук, Донбасская государственная машиностроительная академия.

турбулизации потока определенную роль играют шероховатость частиц и стенок трубопровода. Колебательные процессы, сопровождающие пневматическое транспортирование, также способствуют турбулизации потока. Особое место занимает вибрационное воздействие на перемещаемый сыпучий материал.

Интенсификация процессов массопереноса в пневмотранспортном трубопроводе достигается увеличением массовой концентрации смеси при одновременном снижении скорости движения сыпучих материалов в аэрированном состоянии (рис. 1). Энергоемкость, отнесенная к единице перемещаемого сыпучего материала, при прочих равных условиях, детерминирована скоростью движения газоматериального потока. Транспортная скорость, в свою очередь, взаимосвязана с режимом движения аэросмеси, что сказывается на энергоемкости процесса транс-

чем при режиме в полете. Частицы разделены и силы межфазного сопротивления уменьшаются, приближаясь к минимальным значениям. Меняется и картина трения сыпучего о стенку трубопровода, изменяя условия псевдооживления. Сформированные волновые и порционные структуры поддерживаются в аэрированном состоянии на всем участке транспортирова-

портирования. Увеличение скорости движения аэросмеси непременно приводит к резкому возрастанию энергоемкости процесса. Поэтому, применительно к рассматриваемым условиям интенсификации повышение скорости движения аэросмесей приводит к тупиковому решению и от него следует отказаться.

Независимо от режима перемещения фаз обобщенный коэффициент сопротивления движению аэросмесей в пневмотранспортном трубопроводе определяется как совокупность сопротивлений трения несущей воздушной среды и твердых частиц о стенку трубопровода, аэродинамического сопротивления воздуха, трения частиц между собой.

При работе пневмотранспортных установок с волновым или порционным движением флюидизированных материалов, изначальные скорости движения аэросмесей на порядок ниже, что достигается дополнительной энергетической подпиткой. Вертикальная составляющая энергетической подпитки направлена на поддержание в аэрированном состоянии перемещаемого объема, горизонтальная – на преодоление сопротивлений движению заданного объема аэрированного материала.

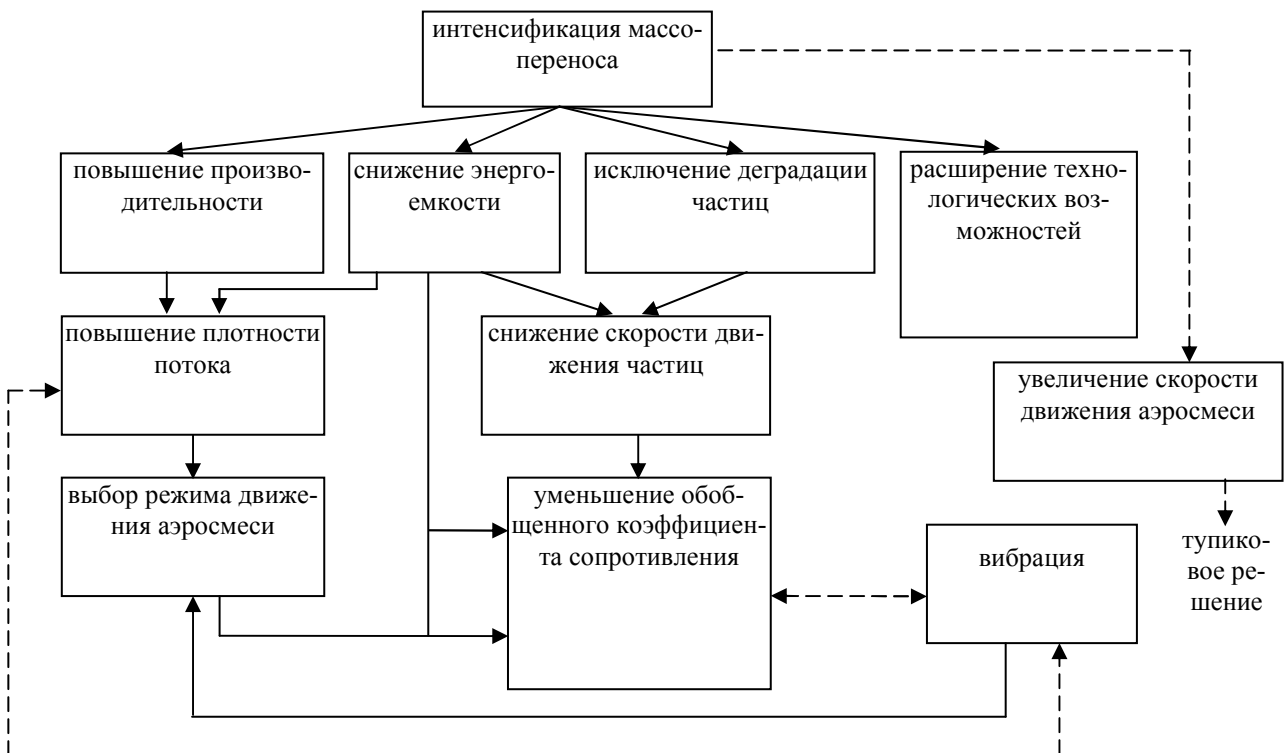


Рис. 1. Управление интенсификацией процессов пневматического транспортирования сыпучих материалов.

Обобщенный коэффициент сопротивления в этом случае становится сопоставимым с

коэффициентом сопротивления движению частиц в полете. Учитывая, что массовая концен-

трация порционного режима на порядок выше, чем в полете, достигается общее снижение энергозатрат. Анализ графиков (рис. 2) показывает, что при скоростях движения в пределах $1 \dots 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, соответствующих волновому и порционному режимам, достигается достаточно высокая концентрация смеси при относительно небольших избыточных давлениях. Удельная энергоёмкость процесса транспортирования становится существенно ниже, чем при режиме движения в полете, что снижает энергоёмкость транспорта. В соответствии с блок-схемой управления движением аэросмеси в пневмотранспортном трубопроводе трансформация структуры пристенного течения аэросмесей путем генерации вихревых структур рассматривается для поступательного режима движения при дополнительном подводе воздушного потока посредством сопел-

побудителей. Сопла-побудители расположены в верхней или нижней части пневмотранспортного трубопровода. Как известно, в этом случае возможны два основных режима движения аэросмеси – волновой и порционный. Рассматривается волновой режим движения аэросмеси при верхнем и нижнем воздействии воздушного потока.

При верхнем воздействии воздушного потока волновое течение аэросмесей может осуществляться в форме кривой приближенной к синусоиде и в этой же форме с движущимся придонным слоем, но усеченной в ее верхней части.

В качестве физической области течения для этого случая принимается канал пневмотранспортного трубопровода, на нижней поверхности которого расположен сыпучий материал со свободной поверхностью волнообразной формы (рис. 3).

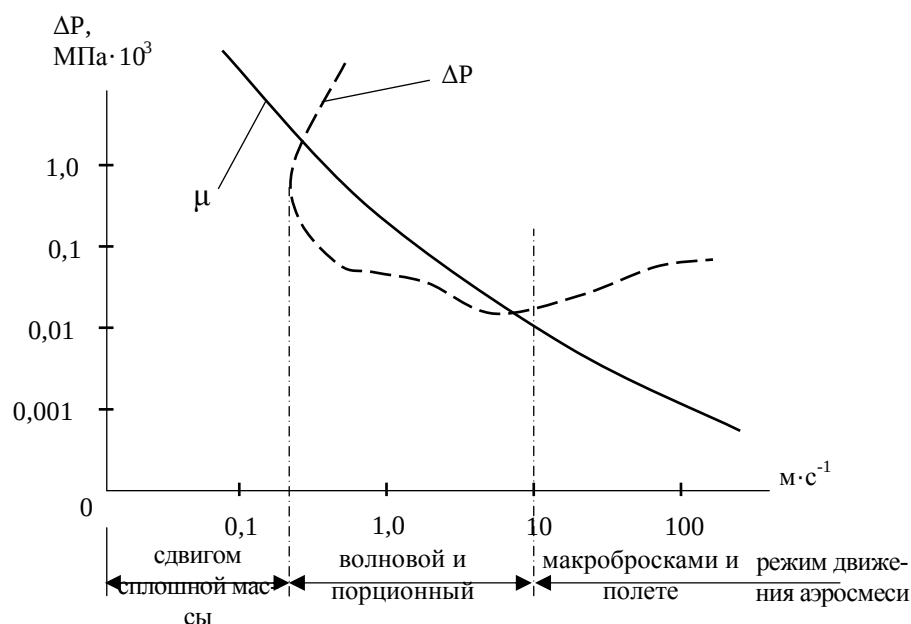


Рис. 2. Избыточные давления (ΔP) в пневмотранспортном трубопроводе и массовая концентрация (μ) в зависимости от режима движения аэросмеси.

В неподвижной системе координат уравнение волнообразной границы имеет вид [7]:

$$y = \ln \left(a \cdot \cos \frac{2\pi}{\lambda} x + \sqrt{b^2 - a^2 \sin^2 \frac{2\pi}{\lambda} x} \right)$$

где λ – безразмерная длина волны; a , b – величины, связанные с амплитудой волны.

Положение профиля определяется координатой его средней точки X_0 и расстоянием H между задней кромкой профиля и вершиной вол-

ны. Предполагается, что в начальный момент времени профиль начинал движение из состояния покоя:

$$t = 0, \quad x_0 = 0, \quad \frac{dx_0}{dt} = 0,$$

$$t > 0, \quad \frac{dx_0}{dt} = U_0.$$

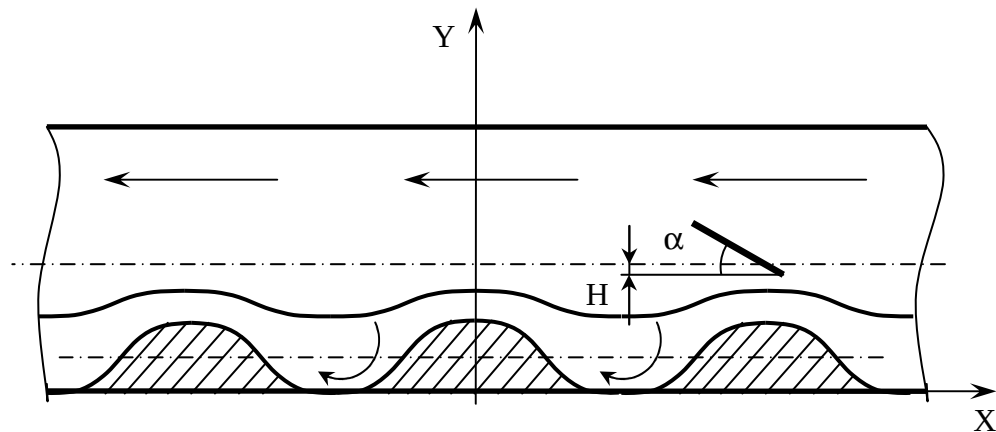


Рис. 3. Схема формирования волновых вихревых структур в пневмотранспортном трубопроводе.

Рассматривая волновой режим движения аэросмеси как неустановившееся плоское движение в неглубоком сосуде большой протяженности с твердым дном $y = -h(x)$ и со свободной граничной поверхностью $y = \eta(x, t)$, для высоты слоя η уравнение движения может быть записано [8]:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} - g \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial \xi}{\partial x} \right) = 0.$$

Для ровного дна ($h = \text{const}$) последнее уравнение приводится к уравнению гиперболического типа

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} - gh \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = 0.$$

Общее решение уравнения выражаются через две произвольные функции

$$\eta = f_1(x - c_0 t) + f_2(x + c_0 t),$$

где $c_0 = \sqrt{gh}$, f_1 и f_2 определяются через начальные и граничные условия.

Последняя зависимость дает решение в виде суммы двух волн движущихся со скоростью $\pm c_0$, а функции f_1 и f_2 определяют форму этой волны.

Скорость распространения возмущений, т.е. волны на свободной поверхности, определяется

$$c = \sqrt{g(\eta + h)},$$

откуда можно сделать вывод, что верхние участки волны, для которых возвышение больше, движутся с большей скоростью, чем нижние.

В рамках теории «мелкой воды» распространение волн для высоты слоя

$\xi = \xi(x, y, t)$, описывается акустическим уравнением

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} - g \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial \xi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial \xi}{\partial y} \right) \right\} = 0,$$

где $h = h(x, y)$ – глубина сосуда.

При воздействии воздушного потока на движущуюся смесь в нижней части пневмотранспортного трубопровода задача может быть рассмотрена как плоская нестационарная задача об истечении воздушной струи из канала в сносный поток (рис. 4, а). Предполагается, что скорость бокового течения U_∞ , а также скорость движения воздуха на большом удалении от выходного сечения ВС являются постоянными. Плотность потока, вытекающего из канала, равна плотности потока в окружающем пространстве. В начальный момент времени $t=0$ течение потока потенциальное и безотрывное. При $t=0$ с острых кромок границы В и С в поток сходят вихревые пелены. Источниками завихренности вследствие отрыва пограничных слоев на стенках АВ и СД пренебрегается. Пренебрегается также генерацией и диссипацией завихренности в трубе. Непрерывный процесс образования вихревых пелен, сходящих с острых кромок, сворачиваются в два «стартовых» вихря (рис. 4, б). Далее вихревые пелены распадаются на отдельные структуры, интенсивность и частота образования которых существенно зависят от относительной скорости движения воздушного потока U_∞ . Отношение скорости потока U_∞ к скорости истечения U_0 определяется параметром

$m = U_{\infty} / U_0$. При малых $m < 0,2$ количество вихревых структур по обе стороны струи примерно одинаково, что позволяет говорить об их парном взаимодействии. Характерной особенностью является переход некоторых вихревых сгустков с «внутренней» границы на «внешнюю» (рис. 4, в). С увеличением скорости сносающего потока $m > 0,3$ частота образования структур на «внутренней» (тыльной по отношению к набегающему потоку) границы струи возрастает и значительно превосходит соответствующую для внешней границы. При $\tilde{U}_{\infty} > 0,5$ период образования вихревых сгустков на «внутренней» границе струи сравним с временем дискретизации. Завихренность, сходящая в поток с кромки накапливается в вихревой области за струей (рис. 4, в) и приводит к искривлению струи. Регулярная структура вихревых сгустков более выражена для внешней струи (рис. 4, в, г) с увеличением скорости потока интенсивность и масштаб вихревых структур на «внешней» границе уменьшается.

Частота образования крупных вихрей изменяется случайным образом в определенном диапазоне. Можно выделить некоторые преобладающие («основные») частоты вихреобразования. Результаты расчетов, выполненные при значении параметра $m = 0,2$, обнаруживают нестационарный характер течения. Ось струи совершает хлыстообразные колебания, причем частота f этих колебаний соответствует числу

Струхала $St = fh / U_0 = 0.01 \div 0.02$. Поле скорости в циркуляционной зоне имеет сложную нестационарную структуру. Ось хлыстообразной струи описывается эмпирической зависимостью [9]

$$y = 1,8x^{0,4} / m^{0,8}.$$

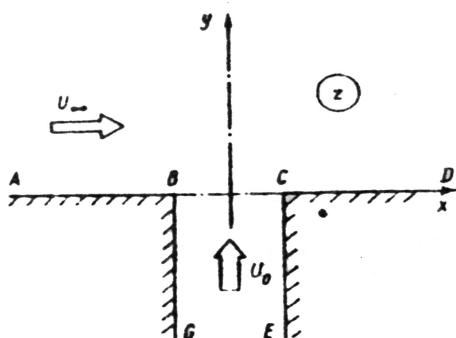
Пульсирующий расход струи существенно влияет на параметры вихревых структур, образующихся на границах струи, в особенности на устойчивость. Пульсирующий расход описывается уравнением

$$Q = Q_0(1 + A \sin \Omega t),$$

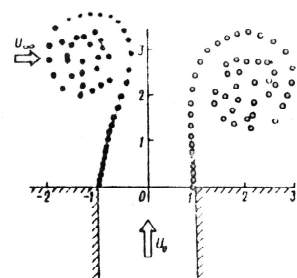
$$Q_0 = 2hU_0, \quad A = 0,05 \dots 0,1.$$

Картина течения зависит от соотношения частоты возмущений Ω к собственной частоте образования вихревых структур в струе Ω / Ω_0 . Если частота возмущений больше основной частоты $\Omega_0: \Omega > 1$, вихревые сгустки, соответствующие колебаниям расхода, существуют непродолжительное время лишь на начальном участке пути. В дальнейшем они объединяются в более крупные структуры с частотой образования $\approx \Omega_0$. При низкочастотных пульсациях расхода $\Omega < 1$ образуются вихревые структуры нескольких масштабов (рис. 4, в, г). Наиболее крупные вихри образуются с частотой $\approx \Omega$. Картина течения показывает, что образующиеся вихревые структуры наиболее устойчивы. Полученные результаты показывают возможные пути управления струйными течениями.

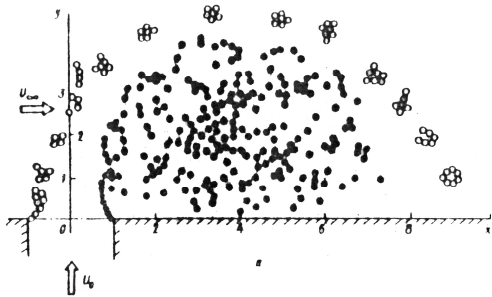
а



б



В



Г

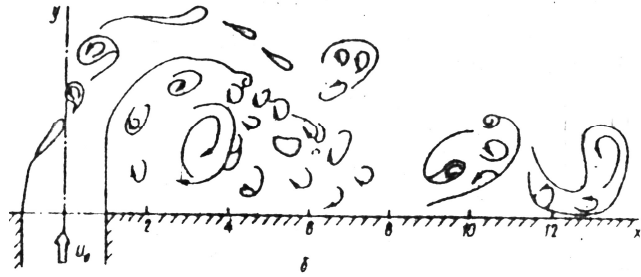


Рис.4. Формирование вихревой структуры при воздействии воздушного потока:
а – истечение струи в сносящий поток; б – образование начальных вихрей;
в, г – развитие картины течения.

Периодическое возбуждение турбулентной струи приводит к изменениям средней скорости и продольных пульсаций скорости вдоль оси струи при низко- и высокочастотном возбуждении. При этом имеет место два эффекта: интенсификация турбулентного перемешивания при низкочастотном периодическом возбуждении и ослабление перемешивания при высокочастотном возбуждении. Существует пороговый уровень амплитуды возбуждения, после превышения которого периодическое возбуждение сказывается на характере течения. Для возбуждения турбулентной струи, описываемого уравнением

$$Q(t) = Q_0 \{1 + A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t + \Delta\varphi)\}$$

характерны два случая:

-низкочастотное возбуждение

$$St_2 = 0,35, St_2 = 0,70, A_1 = A_2 = 0,05, \Delta\varphi = \pi/2$$

интенсифицирует процесс перемешивания, разрушая крупномасштабные сгустки завихренности под действием второй частоты;

- при высокочастотном возбуждении

$$St_1 = 2,0, St_2 = 1,0, A_1 = A_2 = 0,05, \Delta\varphi = \pi/2$$

картина оказывается противоречивой: интенсивность взаимодействия крупных вихрей уменьшается, но происходит не ослабление, а интенсификация перемешивания.

Циркуляция сходящих с крупного цилиндрического сопла кольцевых вихрей и скорость их сноса изменяются во времени по гармоничному закону:

$$\Gamma = \Gamma[1 + A \sin(2\pi ft)];$$

$$U_c = U_0 [1 + A \sin(2\pi ft)].$$

Расчет характеристик периодически возбужденной струи при значениях амплитуды $A = 0,05 - 0,1$ и числа Стухаля

$St_s = f_s d / U_0 = 0,1 \div 2,0$ показал, что

в диапазоне $St_s = 3,0 \div 2,0$ возбуждение с достаточной амплитудой генерирует крупномасштабные вихри в струе. Если $St_s = 3,0$, эти вихри достаточно велики и образуют при $x/d = 2$; При $St_s = 0,5$ большие вихри об-

разуются уже при $x/d = 1$; и сохраняются на

расстоянии нескольких диаметров по потоку. При более высоких частотах ($St_s > 1$) вихри, которые образуются в частоте возбуждения, малы и быстро разрушаются в процессе взаимодействия с другими вихрями. Расчет эжекционных характеристик струи обнаруживает тенденцию: при низкочастотном возбуждении эжекция струи увеличивается, при высокочастотном – уменьшается.

Трансформация структуры пристенного течения аэросмесей осуществляется путем генерации вихревых структур (подвижным рецептором) или, в общем случае, воздействием дополнительно подводимых воздушных струй (рис. 5) Во втором случае система вихрей формируется инъекцией пульсирующих воздушных струй в придонный слой движущейся аэросмеси. Предполагается, что движение начинается в момент времени $t=0$, скорость потока аэросмеси есть величина постоянная $U_\infty = \text{const}$, а воздействие дополнительных воздушных импульсов изменяется по закону, рассмотренным выше. Безразмерное время учитывается следующим образом $\tau = t \cdot U/b$. Функция, отображающая область течения на верхнюю полуплоскость, имеет вид:

$$z = \frac{2b}{\pi} \left[\sqrt{\zeta^2 - 1} - i \operatorname{Ln} \left(\frac{i \pm \sqrt{\zeta^2 - 1}}{\zeta} \right) \right],$$

где b – полуширина канала.

На границах в придонном слое воздушных импульсов образуются когерентные вихревые структуры (рис. 5). Экспериментальные исследования пневмотранспортной установки с порционным и волновым режимами движения аэросмесей показывают, что стационарные режимы их функционирования сопровождаются осцилляционными процессами.

В пневмотранспортном трубопроводе различают колебательные процессы обусловленные структурированным движением аэросмесей, и колебания, вызванные волнами сжатия и разрежения газо-материального потока [10]. В

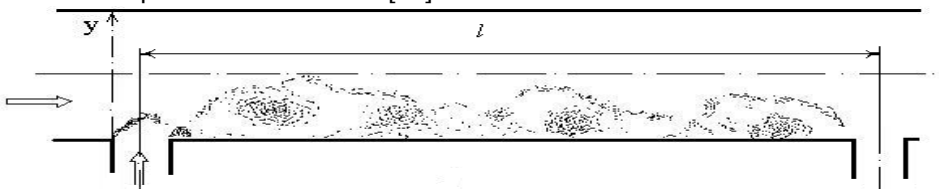


Рис. 5. Вихревая система у нижней стенки трубопровода, генерируемая пульсирующим воздушным потоком.

Структурированное движение аэросмесей в пневмотранспортном трубопроводе сопровождается возбуждением и поддержанием колебаний в пределах отдельно взятой волны или порции. Предположив, что движущийся газоматериальный поток рассматриваемого объема является квазипотенциальным, пренебрегая диссипацией колебательной энергии, поток в пределах отдельной порции или волны, можно рассматривать как автономную консервативную систему. В этом случае, каждая частица аэросмеси, находящаяся в определенном сечении трубопровода (как поперечном, так и продольном) совершает периодические колебания. Следует предположить такую же периодичность процесса и во всей рассматриваемой системе. Иными словами, любое начальное распределение частиц по поперечному и продольному сечениям трубопровода, взятое в любой произвольный момент времени, воспроизводится через период времени

колебательных процессах первого типа на основные колебания накладываются вторичные, частота которых на порядок – два выше частоты основных. Амплитуды в зоне формирования структурированного газоматериального потока превышают величины амплитуды возмущений по трассе. Физико-механические свойства транспортируемых сыпучих материалов, сказываясь на величинах амплитуд возмущений, практически не влияют на характер протекания колебательных процессов. Малые возмущения скорости воздушного потока приводят к существенно большим возмущениям плотности потока в пределах порции или волны, что оказывает положительное влияние на сохранение структуры потока и, в целом, на работоспособность пневмотранспортной установки.

τ. Общая оценка устойчивости колебательного процесса, наблюдаемого в эксперименте [5, 6], осуществляется на базе оценки устойчивости положения равновесия внутренней границы потока.

Квазипотенциальный поток вихревого элемента в сечении трубопровода обладает скоростью U , плотностью ρ и давлением P (рис. 6). Компоненты скорости по осям цилиндрических координат – U_r , U_z , U_n . Уравнение быстрых движений для элементарного объема, прилегающего к внутренней границе потока, записывается [11]:

$$\frac{dU_r}{dt} = \frac{2U_n \varepsilon}{r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (1)$$

где ε – коэффициент интенсивности пульсаций.

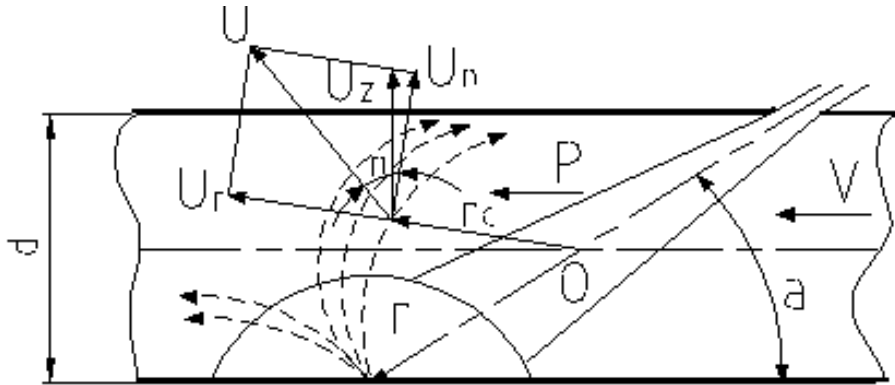


Рис.6. Схема вихрей в зоне дополнительного подвода воздушного потока.

Радиальный градиент давления

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\partial p}{\partial \rho} \frac{\partial \rho}{\partial r} = c^2 \frac{\partial \rho}{\partial r} \quad (2)$$

где c – скорость звука.

Учитывая закон сохранения массы (уравнение неразрывности) элементарного объема $\rho \Delta V = \text{const}$,

$$\frac{\partial \rho}{\partial r} = -\frac{\rho}{\Delta V} \frac{\partial \Delta V}{\partial r} k, \quad (3)$$

где ΔV – элемент объема; k – коэффициент деформации.

$$\Delta V = \frac{1}{2}(r_c^2 - r^2) dz dn. \quad (4)$$

После подстановки уравнение (1) примет вид

$$\frac{dU}{dt} = 2 \left(\frac{\varepsilon U_n^2}{r} - \frac{a^2 r k}{r_c^2 - r^2} \right). \quad (5)$$

Обозначив синус угла закрутки потока на внутренней границе $\sin \alpha_{\text{вн}} = S$,

введя безразмерную координату $\lambda = r/r_c$, последнее уравнение приводится к виду

$$\ddot{r} = \frac{dU_r}{dt} = 2 \frac{U_{\text{вн}}^2 \varepsilon}{r_c} \left[\frac{S^2 \lambda^2}{\lambda^3} - \frac{K \lambda}{M^2 \varepsilon (1 - \eta^2)} \right], \quad (6)$$

где $U_{\text{вн}}$ – скорость потока на внутренней границе; M – число Маха.

Введя безразмерное время в виде выражения

$$\tau = \frac{\sqrt{\varepsilon} U_{\text{вн}} t}{r_c}, \quad (7)$$

получены соотношения

$$\dot{r} = \dot{\lambda} \sqrt{\varepsilon} U_{\text{вн}}; \ddot{r} = \ddot{\lambda} \frac{\varepsilon U_{\text{вн}}^2}{r_c}. \quad (8)$$

При подстановки этих соотношений в уравнение (6), его запись в безразмерном виде

$$\ddot{\lambda} = 2 \left(\frac{\lambda^2 S^2}{\lambda^3} - \frac{A \lambda}{1 - \lambda^2} \right), \quad (9)$$

$$\text{где } A = \frac{k}{M^2 \varepsilon}.$$

Правая часть уравнения (9) обозначена

$$\text{через } \ddot{\lambda} = f(\lambda, A). \quad (10)$$

Устойчивость положения равновесия внутренней границы потока оценивается по методике [12]. При периодическом движении системы определяющие параметры имеют экстремальное значение, т.е.

$$2 \left(\frac{\lambda_{\text{вн}}^2 S^2}{\lambda_{\text{вн}}^3} - \frac{A \lambda_{\text{вн}}}{1 - \lambda_{\text{вн}}^2} \right) = 0. \quad (11)$$

Исходя из того, что в состоянии

$$\text{равновесия величина } S = \frac{2 \lambda_{\text{вн}}^2}{1 + \lambda_{\text{вн}}^2}, \quad (12)$$

параметр A и координата $\lambda_{\text{вн}}$ связываются

$$\text{соотношением } \lambda_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{2 - A}{2 + A}} \quad (13)$$

и параметр A определяется $A = \frac{2(1 - \lambda_{\text{вн}}^2)}{1 + \lambda_{\text{вн}}^2}. \quad (14)$

Устойчивость состояния равновесия определяется знаком производной (10) по λ :

равновесие в точке $\lambda = \lambda_{\text{вн}}$ устойчиво, если

$$f'_{\lambda}(\lambda_{\text{вн}}, L) < 0 \quad \text{и} \quad \text{неустойчиво,}$$

$$\text{если } f'_{\lambda}(\lambda_{\text{вн}}, L) > 0.$$

Приравнявая $\lambda = \lambda_{\text{вн}}$, подставив значения A и S в положение равновесия, устойчивость состояния равновесия

$$f'(\lambda_{\text{вн}}, A) = -B \left(\frac{2 - \lambda_{\text{вн}}^2}{1 - \lambda_{\text{вн}}^4} \right) < 0,$$

где B – константа.

Положение равновесия внутренней границы потока является устойчивым, что подтверждается возможностью реализации движения газо-материального потока в заданном режиме.

Колебательный характер движения потока является присущим ему свойством и влиять на него можно с помощью управляющих параметров [13].

Выводы

Результаты исследований показали:

1. Улучшение технических показателей пневмотранспорта сыпучих материалов может быть достигнуто увеличением массовой концентрации перемещаемых аэросмесей при одновременном снижении скорости их движения. Интенсификация массопереноса достигается созданием завихренности потока, энергетической подпиткой воздействием дополнительных воздушных струй, вибрационным воздействием на сыпучий материал или объединенным действием нескольких факторов.
2. Положительное влияние принудительно созданных вихревых структур на пристенное движение аэросмесей в пневмотранспортном трубопроводе подтверждено результатами стендовых исследований.
3. В пневмотранспортном трубопроводе возникают колебательные процессы, обусловленные структурированным движением аэросмесей, и колебания, вызванные волнами сжатия-разрежения газоматериального потока. Структурированное движение аэросмесей сопровождается возбуждением и поддержанием колебаний в пределах отдельно взятой волны или порции.
4. Шаг воздействия импульсных воздушных струй детерминируется стойкостью формирующихся когерентных вихревых структур, вихревые структуры должны быть стойкими относительно возмущений скорости потока аэросмеси.
5. Колебательный характер движения потока аэросмеси является присущим ему свойством, а влиять на него можно с помощью управляющих параметров.
6. Объяснение явлений, протекающих в пневмотранспортном трубопроводе при движении аэросмесей при нестационарных режимах массопереноса (порционный или волновой) позволяет осуществить ряд новых технических решений.

Литература

1. *Волошин А.И.* Механика транспортирования сыпучих материалов / А.И. Волошин, Б.В. Пономарев – К.: Наукова думка, 2001. – 519 с.
2. *Смолдырев А.Е.* Трубопроводный транспорт / А.Е. Смолдырев. – М.: Недра, 1980. – 293 с.
3. *Гущин В.М.* Нова концепція та її реалізація в розробках високоефективних засобів пневматичного транспортування сипучих матеріалів / В.М. Гущин // *Машинознавство*, 2000, №2(23). - С. 39 – 43.
4. *Гущин В.М.* Современные тенденции совершенствования пневмотранспорта сыпучих материалов / В.М. Гущин // *Автомобильный транспорт*. / ХГАДТУ. – Харьков, 2000. – Вип. 5. Совершенствование машин для земляных работ. С. 33–35.
5. *Гущин О.В.* Пневмотранспорт сыпучих материалов в порционном режиме движения / О.В. Гущин // *Сб. научн. тр. Национальной горной академии Украины*. – Днепропетровск, Навч. книга, 2002, - Т. 2, №13.. – С. 22 – 25.
6. *Гущин О.В.* Экспериментальные исследования массопереноса пневмотранспортной установкой с порционным движением сыпучих материалов / О.В. Гущин // *Наук. вісник будівництва*. – Харків, ХДТУБА – ХОТВАБУ, 2000, - Вип 11. – С. 254 – 260.
7. *Калугин Е.Н.* Течение вязкой несжимаемой жидкости вдоль бегущей волны (численные эксперименты) / В. И. Панчук, Е. Н. Калугин // *Бионика*. – 1970. – Вып. 4. -С. 104 – 110.
8. *Лаврентьев М.А.* Проблемы гидродинамики и их математические модели / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – М.: Наука, 1973. – 416 с.
9. *Белоцерковский С.М.* Моделирование турбулентных струй и следов на основе метода дискретных вихрей / С.М. Белоцерковский, А.С. Гиневский. – М.: Наука, 1995. – 366 с.
10. *Гущин В.М.* Колебательные процессы в пневмотранспортных установках с высокой концентрацией смеси / В.М. Гущин // *Вестн. Нац. техн. ун-та "Харьковский гос. политехнич. ин-т"*. Сб. научн. тр.. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2001. –Вып. 129, Ч.1-С. 248–257.
11. *Карышев Ю.Д.* Дифференциальные уравнения раздельных движений закрученного потока газа / Ю.Д. Карышев // *В кн. Динамика систем, механизмов и машин. Матер. междунаrodn. науч. техн. конф.* – Омск.: Ом ГТУ, 1995. – Кн. №1. – С. 86.

12. Бутенин Н.В. Введение в теорию нелинейных колебаний / Н.В. Бутенин, Ю.И. Неймарк, Н.А. Фурфаев. – М.: Наука, 1976. – 384 с.
13. Хакен Г. Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен. // Пер. с англ. – М.: Наука, 1991. – 204 с.

УДК 624.132

Смірнов В.М., Головань В.П.¹

ОБЕРТАЛЬНИК БУРИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ З ДЕБАЛАНСНИМ ВІБРАТОРОМ ПРОСТОРОВОЇ ДІЇ

Збільшення продуктивності розробки міцних ґрунтів буровими робочими органами стає можливим за рахунок використання нових більш ефективних їх конструкцій.

Одним із методів підвищення ефективності буріння свердловин в будівництві є використання ефективних динамічних робочих органів, в яких руйнування ґрунту проходить під дією зусиль, створених основним приводом бурильної машини, та додаткових динамічних навантажень на робочий орган, створених вібропристроями. Тому загальна сила руйнування ґрунту може розглядатись, як сума імпульсних збуджуючих сил – вертикальної дотичної $F_{ог}$ і відповідних статичних сил, що створюються масою Q_m та приводом робочого органу машини P_m [1].

$$P_N = Q_m \pm F_{ог.}, \quad P = P_m \pm F_{ог.}$$

Ефективність процесу динамічного руйнування ґрунтів пропонується оцінювати величиною відповідних динамічних ефектів [2] в вертикальній $\delta_{е.в.}$ та горизонтальній $\delta_{е.г.}$ площинах

$$\delta_{е.в.} = 1 - \frac{Q_m}{P_n}; \quad \delta_{е.г.} = 1 - \frac{P_m}{P}.$$

Для створення вертикальних та крутильних коливань, що передаються від привода бурильного обладнання робочому органу, необхідно оберտальник об'єднати з дебалансним вібратором відповідної конструкції.

В попередніх розробках [1] наведені конструкції динамічного бурильного обладнання з віброзбудниками вертикальних або крутильних коливань, в яких для одержання зусиль в різних площинах використовують спеціальні гідромолоти з похилими ударними поверхнями. Разом з тим при обертанні дебалансів діють збуджуючі сили в різних напрямках в залежності від фаз обертання, а в більшості конструкцій існуючих дебалансних вібраторів використовуються лише їх вертикальні або горизонтальні складові.

От же, при розробці конструкції динамічного привода бурильного обладнання доцільним є використання дебалансного вібратора просторової дії, який створює в залежності від фаз обертання дебалансів вертикальні та крутильні коливання.

В даній роботі пропонується нова конструкція планетарного обертальника бурильного обладнання об'єднаного з віброзбудником вертикальних та крутильних коливань, який може приводитись до дії одним гідро або електромотором. В залежності від виду ґрунтів обертальник може бути жорстко з'єднаним з бурильним інструментом – для буріння слабких ґрунтів, та через спеціальний вібромолот – для створення пульсуючих ударних зусиль при бурінні міцних ґрунтів.

Схема динамічного бурильного обладнання з віброзбудником вертикальних та крутильних коливань приведена на рис. 1.

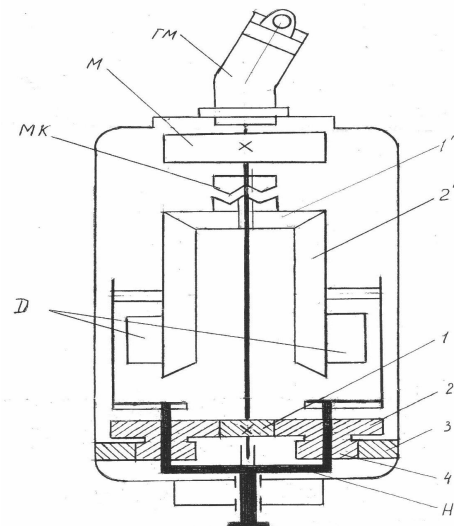


Рис. 1. Схема обертальника бурильного обладнання з дебалансним вібратором вертикальних та крутильних коливань.

Обладнання складається з корпуса К, в якому закріплені гідромотор ГМ, пружна муфта М, планетарна передача, що включає центральне

¹ Смірнов В.М., канд. техн. наук, професор КНУБА; Головань В.П., канд. техн. наук, доцент КНУБА.