

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Директор

_____ О.Ю. Долматов
« __ » _____ 2014 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу
«Оборудование производств редких элементов» для студентов IV
курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология
материалов современной энергетики

Составители: А.С. Кантаев, И.Д. Брус

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 542.2
ББК Л1/7 35

Исследование процесса дозирования порошкообразных материалов: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики / сост. Кантаев А.С., Брус И.Д.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 24 с.

УДК 542.2
ББК Л1/7 35

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов (№43) ФТИ «__» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой ХТРЭ
доктор технических наук,
профессор

_____ *А.Н.Дьяченко*

Председатель

учебно-методической комиссии

Рецензент

Кандидат химических наук

Доцент

Р.И. Крайденко

Цель работы

1. Изучение конструкции дозаторов порошкообразных материалов.
2. Исследование влияния частоты вращения вала шнека на производительность дозатора.

Основы теории

Расход материалов и качество продукции во многих производствах определяются точностью дозирования исходных веществ. В химической промышленности перерабатывается огромное количество веществ, значительно отличающихся по своим свойствам, что и определило разнообразие конструкций дозаторов.

Выбор типа дозатора определяется, главным образом, свойствами дозируемого материала: насыпной плотностью (объемной массой), которая может изменяться от 50 до 3000 кг/м³, размером и формой частиц.

Все дозаторы по принципу действия подразделяются на объемные и весовые. Находят применение и объемно-весовые дозаторы, в которых дозируемый материал отмеривается по объему, а затем его масса доводится до нужной величины на массо-измерительном устройстве.

Объемные дозаторы (питатели). Они просты по устройству и в эксплуатации, однако их применение ограничивается низкой точностью дозирования. Так, для пылевидных материалов ($d < 0,1$ мм) влажность может колебаться от 0 до 18%, а вследствие изменения содержания основного вещества и сыпучести материала ошибка в подаче может составлять 10-50%. Дозаторы данного типа часто используют в тех случаях, когда не требуется высокой точности дозирования: при подаче материалов в сушилки, грануляторы, прокаточные печи, грохоты и т.д.

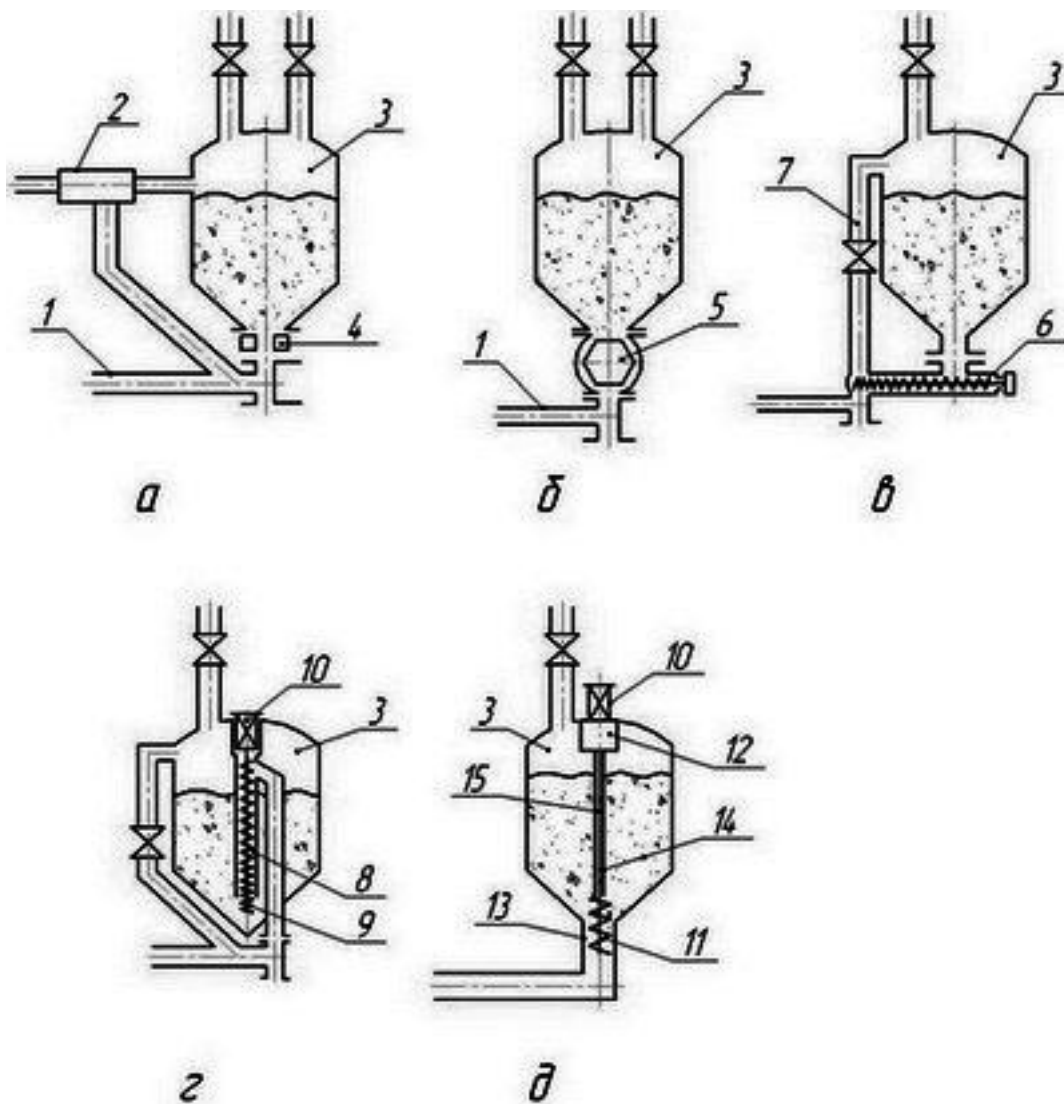
К дозаторам объемного типа относятся ленточные, пластинчатые, винтовые, дисковые, качающиеся и вибрационные дозаторы.

Существует несколько типов дозаторов порошкообразных материалов (рисунок 1).

Наиболее простым из дозаторов по конструкции является пневматический (рисунок 1а). Он состоит из бункера 3 с калибрующей вставкой 4 в нижней части, примыкающей к транспортирующему трубопроводу 1. Перепад давления между полостью бункера и транспортирующим трубопроводом, необходимый для обеспечения заданной производительности дозатора, поддерживается регулятором давления 2. Расход материала в таком дозаторе регулируется путем изменения сечения отверстия в калибрующей вставке и перепада давления. Недостатком такого дозатора является зависимость производительности от диаметра отверстия и от величины частиц транспортируемого материала, что в целом значительно усложняет регулирование и поддержание заданной производительности в течение всего периода продувки.

На рисунок 1б представлена конструкция барабанного дозатора, состоящего из бункера 3, барабана 5, приводимого во вращение от регулируемого электродвигателя, и транспортирующего трубопровода 1. Мелкофракционный материал, находящийся в бункере, под действием силы тяжести заполняет щели барабана и при повороте последнего выдаётся порциями в пневмотранспортную магистраль. Главное достоинство барабанного дозатора – жесткая характеристика. На производительность дозатора практически не оказывают влияния изменение перепада давления между бункером и транспортирующим трубопроводом и фракционный состав материала. Производительность определяется частотой вращения барабана. Существенным недостатком барабанного дозатора является дискретность в выдаче реагентов из бункера, что при небольшой длине транспортирующего трубопровода вызывает неравномерность подачи материала, а также повышенная мощность привода из-за расклинивания частиц реагента между корпусом и барабаном.

Более равномерная подача реагента в транспортирующий трубопровод при значительно меньшей мощности привода достигается при использовании винтового дозатора (рисунок 1в), который состоит из бункера 3, транспортирующего винта 6, соединенного с электродвигателем, трубопровода подачи газа 1 и выравнивающего трубопровода. При работе винтовых дозаторов наблюдается неравномерность выдачи реагента, она зависит от частоты вращения и числа заходов нарезки винта.



а – пневматический дозатор, б – барабанный дозатор, в – винтовой дозатор,
г – спиральный дозатор, д – вертикальный дозатор

Рисунок – 1 Основные типы дозаторов порошкообразных материалов

Вертикальный спиральный дозатор (рисунок 1г) состоит из бункера 3, внутрь которого введена труба 8 – корпус дозатора. Рабочий орган дозатора выполнен в виде проволочной спирали 9, непосредственно соединенной с электродвигателем 10. Основное достоинство такого дозатора – высокая степень равномерности выдачи материала из бункера за счет высокой частоты вращения спирали, а также отсутствие редуктора. Недостаток – зависимость производительности от перепада давления в транспортирующем трубопроводе от давления в бункере.

Шнековый дозатор вертикального типа (рисунок 1д) состоит из бункера 3, внутрь которого введена трубка 14, в которой расположен гибкий вал в виде троса для передачи вращательного движения от редуктора 12 шнеку 11. Несколько витков шнека находятся в бункере, а остальная его часть – в направляющей гильзе 13. Привод состоит из двигателя 10 и редуктора. Достоинством данного дозатора является высокая точность дозирования материала и независимость производительности от перепада давления в бункере и направляющем трубопроводе.

Шнековые дозаторы

Шнековые дозаторы представляют собой неподвижные горизонтальные трубы или лотки, внутри которых вращается горизонтальная мешалка, которая имеет вид винта (шнека) и является рабочим органом. Перемешиваемый сыпучий твердый материал приобретает некоторые свойства жидкости; даже если мешалка не имеет винтовых поверхностей, материал транспортируется вдоль оси горизонтального аппарата вследствие выравнивания высоты слоя материала по всем зонам аппарата (подобие растекания жидкости). Вал мешалки крепится с помощью подшипников на торцах трубы. При значительной длине трубы мешалку во избежание ее провисания и заклинивания снабжают промежуточными подшипниками внутри трубы. Отверстия для подачи и выгрузки твердого материала, а также

для подачи и отвода газов могут быть выполнены в любой части реактора, в самом корпусе и в торцах.

Шековые питатели для сыпучих и порошкообразных веществ состоят из следующих основных узлов: транспортирующий механизм с электрическим двигателем, позволяющим изменять частоту вращения шнека, обеспечивающий движение материала через рабочую полость; ограничитель, позволяющий изменять течение потока материала.

Питатели применяются для подачи хорошо сыпучих порошкообразных и зернистых материалов, имеющих размер частиц до 5 мм, влажность до 1,5% и насыпную плотность до 1800 кг/м³.

Конструктивные особенности шнековых дозаторов

При вращении шнека твердый сыпучий материал и перемешивается и транспортируется. Соотношение между скоростью горизонтального движения материала и степенью его перемешивания определяется шагом винта и его формой.

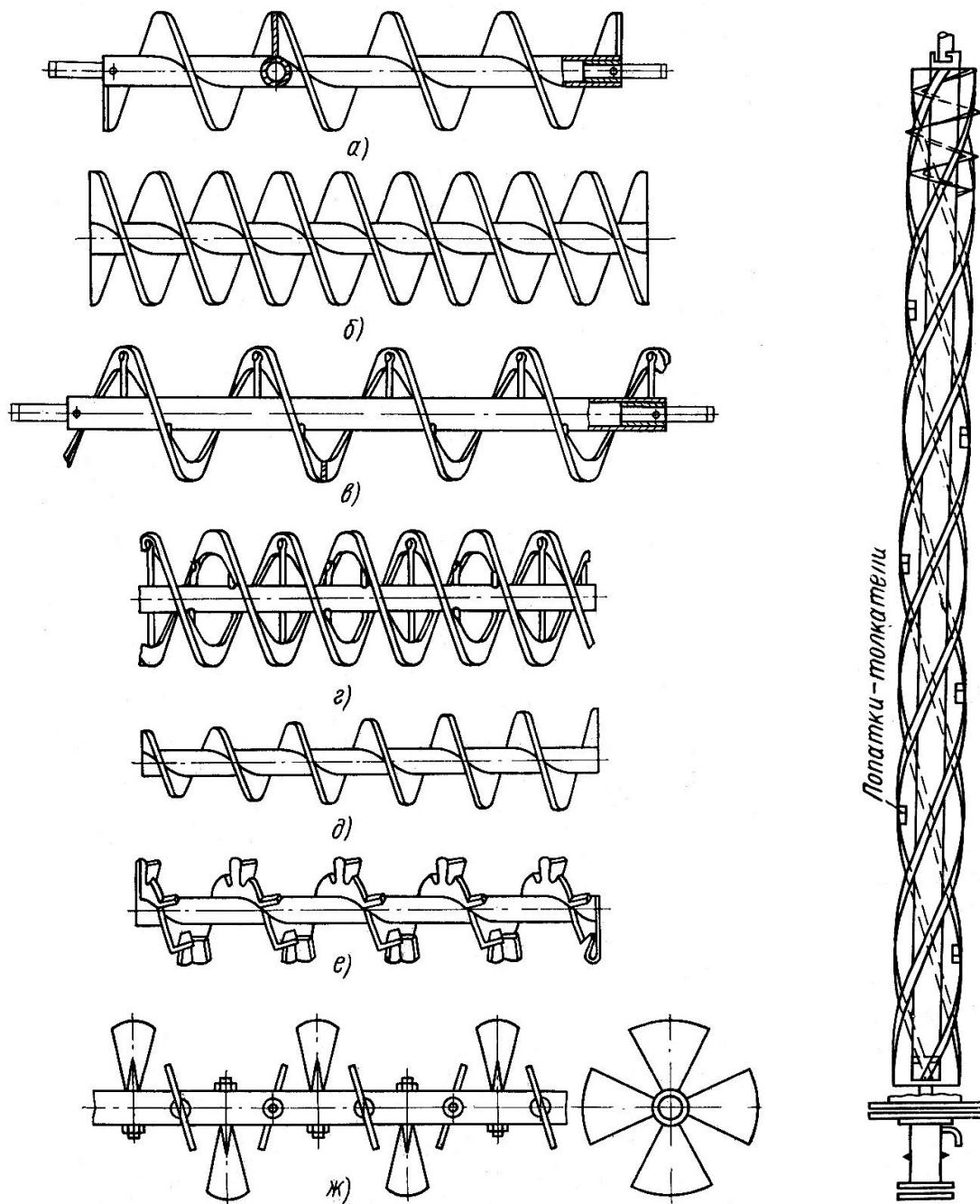
Шнеки по форме делятся на сплошные, ленточные, лопастные, фасонные, зубчатые и другие (рисунок 2). Сплошные и ленточные винты применяют для переработки или транспортирования тонких сыпучих порошков, лопастные мешалки – для кусковых сыпучих материалов. Склонные к налипанию, оплавлению, слеживанию материалы требуют применения более сложных по конструкции мешалок.

В реакторах для восстановления UO_3 до UO_2 и фторирования последнего до UF_4 использовалась мешалка в виде четырехходового ленточного шнека (рисунок 3).

В шнековых дозаторах сплошные многоходовые винты обеспечивают большую равномерность транспортирования материала.

В некоторых аппаратах на выходе твердого материала диаметр аппарата и соответственно диаметр мешалки уменьшают, либо снижают шаг винта, что приводит к образованию подвижной пробки из твердого

материала и изолирует сборник твердого продукта от реакционных газов. При этом усиливается истирание аппарата и загрязнение твердого продукта.



а – сплошной одноходовой; б – сплошной двухходовой; в – ленточный одноходовой; г – ленточный двухходовой; д – с переменным диаметром; е – фасонный; ж – лопастной

Рисунок – 2 Шнековые винты

Рисунок – 3
Четырехходовой ленточный шнек

Для переработки пастообразных и склонных к налипанию материалов применяют самоочищающиеся шнеки.

Они могут быть трех типов:

1. Шнеки двухвалковых аппаратов (такие аппараты используются лишь как экструдеры);
2. Шнеки, совершающие помимо вращательного движения и возвратно-поступательное движение вдоль своей оси;
3. Шнеки, совершающие только вращательное движение.

В последних двух случаях внутри корпуса дозатора устанавливают зубья той или иной формы, которые служат для очистки поверхности лопастей (рисунок 3).

Примером аппарата с мешалкой, совершающей возвратно-поступательное движение, является «предсмеситель» швейцарской фирмы «Buss AG» (рисунок 4).

Такие аппараты применяются в различных странах мира при производстве HF из CaF₂ в качестве дозатора смесителя. Лопастни мешалки и зубья расположены так, что при возвратно-поступательном движении не препятствуют вращению вала. Герметизация зоны реакции достигается созданием пробки из твердого материала.

Производительность винтового дозатора рассчитывается по формулам (1) и (2):

$$W = F \cdot S \cdot n \cdot \varphi \cdot C_2 \quad [\text{м}^3/\text{с}] \quad (1)$$

$$G = F \cdot S \cdot n \cdot \varphi \cdot C_2 \cdot \rho_H \quad [\text{кг}/\text{с}] \quad (2)$$

где F - площадь поперечного сечения винта, м^2 ;

для сплошного винта:

$$F = 0,785 \cdot D_{\text{шн}}^2 \quad [\text{м}] \quad (3)$$

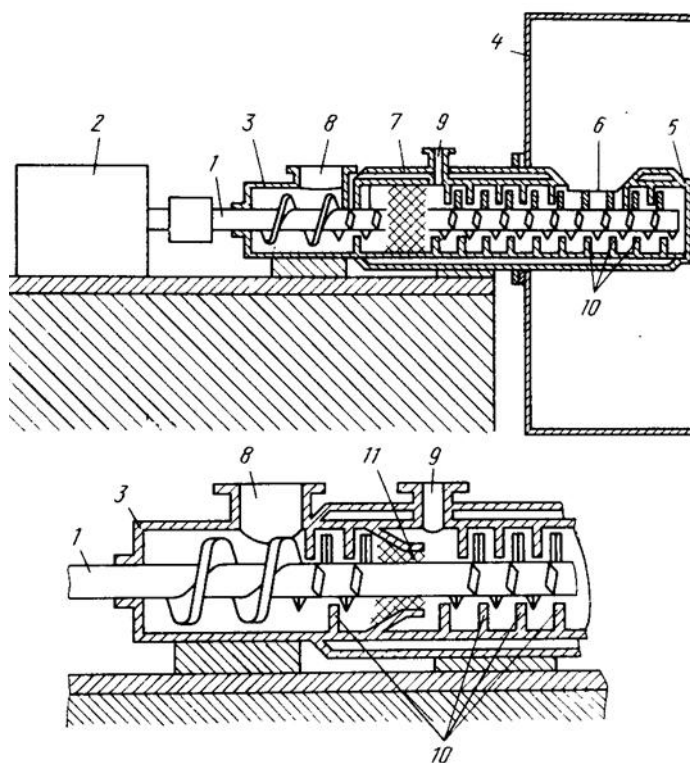
где $D_{\text{шн}}$ – диаметр шнека, [м];

S – шаг винта, [м];

n – частота вращения вала, $[\text{с}^{-1}]$;

φ – коэффициент заполнения конвейера;

C_2 - коэффициент, учитывающий снижение производительности с увеличением угла наклона;
 ρ_n - насыпная масса, [кг/м³].



1 - вал; 2 - электромотор; 3 - корпус узла загрузки; 4 - вращающаяся печь; 5 - торец смесителя; 6 - отверстие для выгрузки; 7 - рубашка; 8 - патрубок для загрузки CaF₂; 9 - патрубок для подачи H₂SO₄; 10 - неподвижные зубья; 11 - пробка из CaF₂

Рисунок – 4 Самоочищающийся шнековый питатель «предсмеситель»

Шаг винта зависит от свойств транспортируемого материала и принимается в пределах $(0,8-1,3) \cdot D_{\text{шн}}$. Чаще всего для хорошо сыпучих грузов $S = D_{\text{шн}}$ для плохо сыпучих и влажных $S = 0,8 \cdot D_{\text{шн}}$.

Производительность наклонных винтовых конвейеров зависит от угла подъема и коэффициента C_2 :

Угол подъема β^0	0	5	10	15	20
Коэффициент C_2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Винтовые конвейеры для вертикального транспортирования имеют специальную конструкцию: винт вращается в трубчатом желобе с большей

скоростью, чем в горизонтальных шнеках. Скорость вращения винта n [с⁻¹] зависит от свойств транспортируемого материала и диаметра винта:

Число оборотов для наклонного шнекового питателя:

$$n_H = n \cdot \frac{A}{\sqrt{D_{\text{шн}}}} \quad (4)$$

Таблица 1 Значения коэффициентов φ , A и γ

Грузы	Коэффициенты		
	φ	A	γ
Легкие и неабразивные (древесная мука и опилки)	0,4	1,08	1,2
Легкие и малоабразивные (мел, асбест, сода, угольная пыль, порошкообразная известь)	0,32	0,83	1,6
Тяжелые малоабразивные (соль, мелкий уголь, гипс, кусковая известь, суперфосфат)	0,25	0,75	2,5
Тяжелые и абразивные (колчедан, огарок, апатитовый концентрат, фосфоритная мука)	0,125	0,50	4,0

Рекомендуемые, значения коэффициентов A и φ приведены в таблице. Мощность привода шнека N дв (Вт) можно рассчитать по приближенной формуле:

$$N_{\text{дв}} = \frac{9,8 \cdot G}{\eta_{\Sigma}} (L \cdot \varphi + H) \cdot \beta_m \quad (5)$$

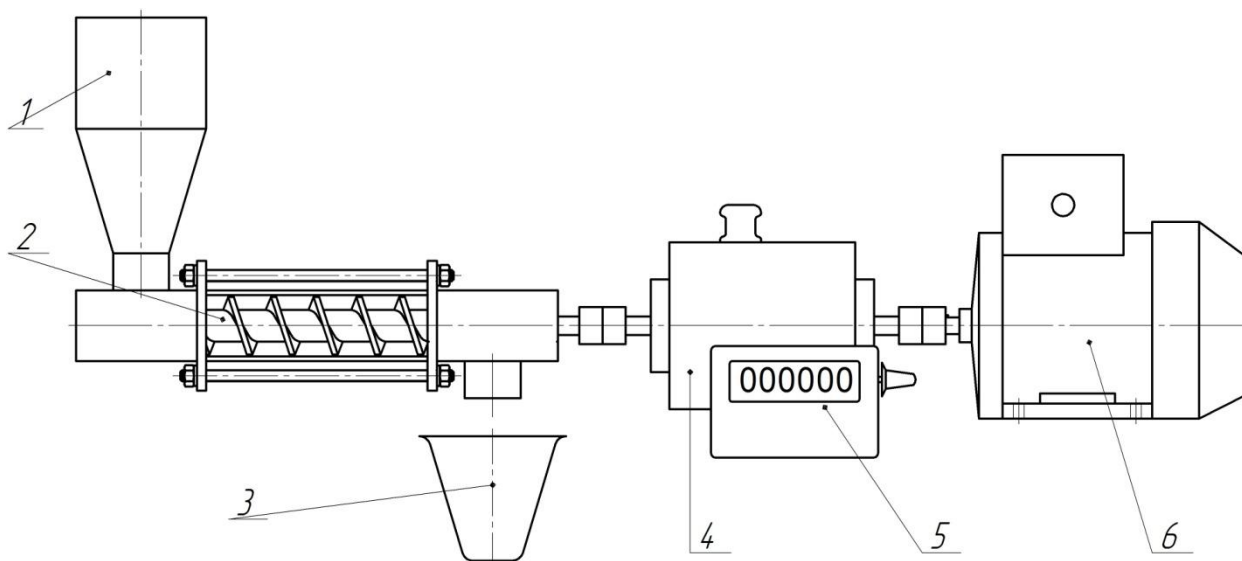
где η_{Σ} – общий КПД двигателя и редуктора; L – горизонтальная проекция пути перемещаемого материала, м; φ – коэффициент сопротивления (таблица №1), H – высота подъема груза, м; β_m – коэффициент запаса мощности.

При заметной разности давлений в бункере и аппарате используют винтовые питатели с переменным шагом винта, благодаря чему создается пробка из уплотненного материала, препятствующая утечке газа. Широкое применение питателя данного типа нашли в системах пневмотранспорта, работающих при давлениях до 0,3 МПа. Материал подается винтом с переменным шагом в приемную камеру, клапан устраняет утечку воздуха при остановке питателя. Из камеры через сопла поступает сжатый воздух для транспортировки материала. Уплотняющее устройство устраняет попадание транспортируемого материала в подшипники. Скорость вращения винта

шнековых питателей для систем пневмотранспорта составляет 16,2 или 24,1 с⁻¹.

Описание конструкции и принципа работы лабораторных установок

Порошкообразный материал загружается в загрузочный бункер (1, рисунок 5) шнекового питателя (2). Сыпучий материал, транспортируемый шнеком, собирается в приемной емкости (3). Число оборотов шнека регулируется механическим редуктором (4) и оборотами электродвигателя (5).



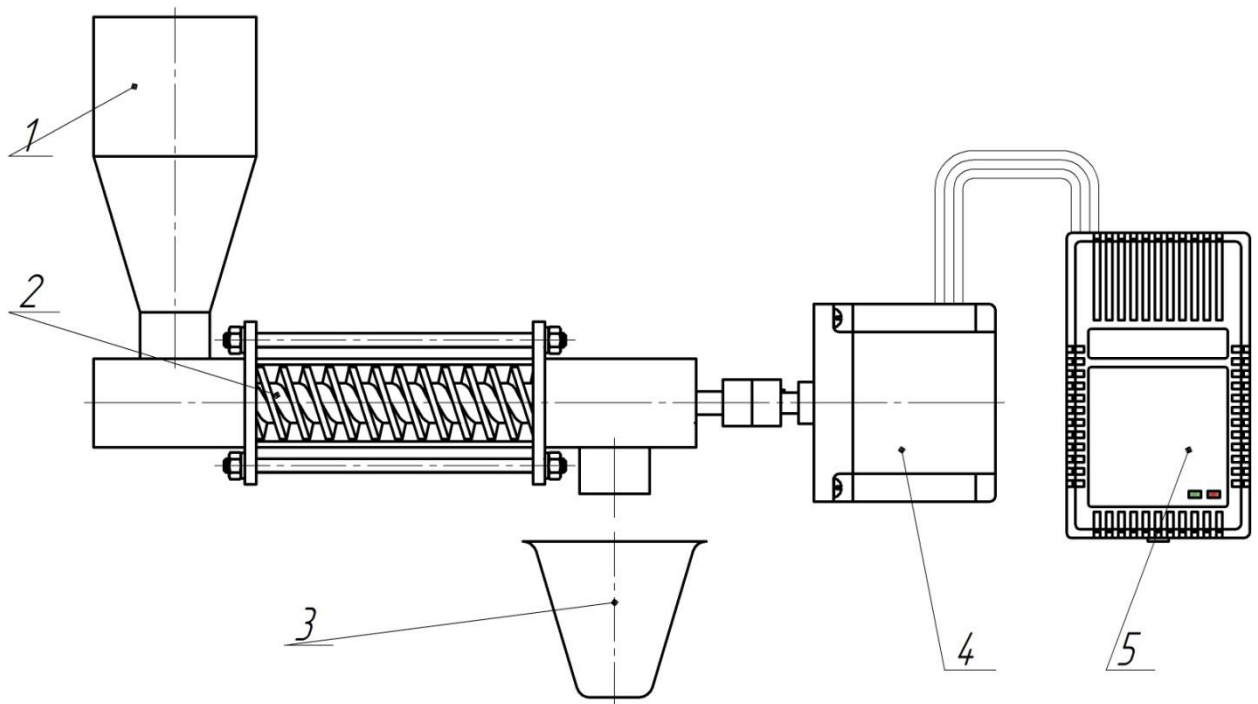
1 – Загрузочный бункер; 2 – Одноходовой шнек; 3 – Приемный бункер;
4 – Редуктор с селектором числа оборотов; 5 – Счетчик числа оборотов;
6 – Электродвигатель

Рисунок – 5 Схема лабораторного однозаходного шнекового питателя

Производительность питателя регулируется изменением частоты вращения транспортирующего шнека путём изменения положения селектора на редукторе (4).

Порошкообразный материал загружается в загрузочный бункер (1, рисунок 6) шнекового питателя (2). Сыпучий материал, транспортируемый шнеком, собирается в приемной емкости (3). Число оборотов шнека

регулируется оборотами шагового двигателя (4), которые задаются блоком управления (5).



1 – Загрузочный бункер; 2 – Двухходовой шнек; 3 – Приемный бункер;
4 – Шаговый двигатель; 5 – Блок управления шаговым двигателем.

Рисунок – 6 Схема лабораторного двухходового шнекового питателя

Производительность питателя регулируется изменением частоты вращения транспортирующего шнека путём установки на блоке управления двигателем (5) числа оборотов (приложение 1).

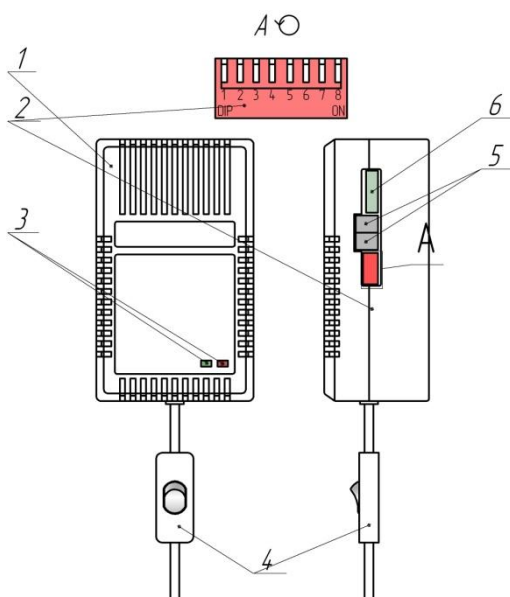


Рисунок – 7 Блок управления двигателем

1 – Корпус;
2 – Переключатель числа оборотов;
3 – Индикаторы аварийности и нормальной работы;
4 – Переключатель электропитания;
5 – Разъем подключения к ЭВМ;
6 – Разъем подключения двигателя

Переключатель числа оборотов двигателя (2) имеет восемь тумблеров помеченных цифрами от 1 до 8. Переключатели от 1 до 5 служат для регулирования числа оборотов двигателя (приложение 1), 6 и 7 его мощности (приложение 2) и 8 для выбора направления вращения (приложение 3).

Индикатор аварийности и нормальной работы (3) состоит из двух индикаторов:

1. Первый горит зеленым светом при нормальной работе двигателя и блока управления двигателем.
2. Второй горит красным светом – свидетельствует об аварии блока управления двигателем или перегрузкой двигателя по мощности.

Ход работы

Вариант 1

1. В работе используем установку, представленную на рисунке 5.
2. Бункер заполнить исследуемым порошкообразным материалом.
3. Определить вес емкости для приема материала.
4. На каждой из 4-х ступеней числа оборотов шнека (установить селектором редуктора) определить производительность питателя за время 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мин и определить число оборотов.
5. На одной из ступеней произвести 4 измерения производительности.
6. Определить ошибку измерения на выбранной ступени.
7. Построить графическую зависимость производительности шнекового питателя от числа оборотов шнека.
8. Провести теоретический расчет производительности питателя в зависимости от числа оборотов и сравнить расчетные данные с практически полученными.

Вариант 2

1. В работе используем установку, представленную на рисунке 6.
2. Бункер заполнить исследуемым порошкообразным материалом.
3. Определить вес емкости для приема материала.

4. На каждой из 4-х ступеней числа оборотов шнека (3, 6, 10, 20 об/мин) определить производительность питателя за время 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мин.
5. Эксперимент начать после выхода двигателя на установленный режим, т.е. после прекращения мигания индикатора.
6. На одной из ступеней произвести 4 измерения производительности.
7. Определить ошибку измерения на выбранной ступени.
8. Построить графическую зависимость производительности шнекового питателя от числа оборотов шнека.
9. Провести теоретический расчет производительности питателя в зависимости от числа оборотов и сравнить расчетные данные с практически полученными.

Содержание отчёта

1. Теоретическая часть.
2. Название и цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Схема экспериментальной установки.
5. Таблица экспериментальных данных.
6. График зависимости производительности от числа оборотов шнекового питателя.
7. Выводы по работе.

Определение погрешностей измерения и расчетов

При обработке экспериментальных данных необходимо правильно оценивать погрешности измерений и расчета.

Экспериментальные установки оснащены измерительными устройствами и приборами, использование которых для измерения того или иного параметра процесса сопряжено с погрешностями. Погрешности могут быть систематическими и случайными. Кроме того, при несоблюдении условий проведения опытов или недостаточном внимании, исполнителя работы могут быть грубые погрешности (промахи). Для оценки точности измерений применяют статистическую теорию ошибок. В частности, удобным вычислительным методом является метод наименьших квадратов. Приведем для примера порядок вычисления погрешностей при прямых измерениях:

1) составить таблицу измерений;

2) найти среднее $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n x_i$ (где n - число измерений в серии (выборке);

x_i - численное значение измеренной величины);

3) найти единичные отклонения $\Delta X_i = X_i - \bar{X}$;

4) проверить согласие с соотношением $\sum_1^n \Delta X_i = 0$ (сумма всех положительных и отрицательных отклонений от среднего должна равняться нулю);

5) вычислить квадраты отклонений $(\Delta X_i)^2$;

6) найти среднее квадратическое отклонение:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta X_i)^2}{(n - 1)}}$$

7) выявить и исключить из таблицы измерений промахи (приблизительно считая промахами измерения, при которых $\Delta X_i > 2S_n$);

8) найти среднее квадратическое отклонение среднего

$$S_{\bar{X}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta X_i)^2}{[n \cdot (n-1)]}}$$

9) задаться значением надежности (доверительной вероятности α -обычно 0,95);

10) выбрать из таблицы коэффициент (критерий) Стьюдента $t_{\alpha n}$ при данных α и n (число выборок может быть как угодно большим, но при проведении лабораторных опытов обычно $n = 5 \div 7$, не менее 4);

Таблица Значение коэффициентов. Стьюдента $t_{\alpha n}$

Доверительная вероятность	ВЫБОРКА									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,7	2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
0,95	12,7	4,3	3,2	2,8	2,6	2,4	2,4	2,3	2,3	2,1
0,99	63,7	9,9	5,8	4,6	4,0	3,7	3,5	3,4	3,3	3,0

11) вычислить погрешность результата измерения

$$\Delta X = \varepsilon_{\alpha} = t_{\alpha n} \cdot S_{\bar{X}}$$

При умножении критерия Стьюдента $t_{\alpha n}$ на $S_{\bar{X}}$ определяют, в каком интервале находится истинное значение измеряемой величины (при отсутствии систематической погрешности). Если желательно получить один и тот же интервал погрешности при измерениях, а значит и одинаковый коэффициент $t_{\alpha n}$, например, 3,1, то при $\alpha = 0,95$ достаточно провести три-четыре измерения, а при $\alpha = 0,99$ - десять.

12) внести в таблицу окончательный результат: $\bar{X} \pm \Delta X$;

13) найти относительную погрешность (в %): $\varepsilon_x = \left(\frac{\Delta X}{\bar{X}}\right) \cdot 100$.

Пример

Определение погрешностей измерения и расчета

1. Произвели измерение величины параметра "X":

15, 18, 14, 16.

2. Находим среднее значение:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n x_i$$

где n - число измерений в серии;

x_i - численное значение измеренной величины;

$$\bar{x} = \frac{15+18+14+16}{4} = 15,76$$

3. Находим единичные отклонения от среднего значения:

$$\Delta X_i = X_i - \bar{X};$$

$$15-15,75=-0,75$$

$$18-15,75=2,25$$

$$14-15,75=-1,75$$

$$16-15,75=0,25$$

4. Проверяем согласие с соотношением:

$$\sum_1^n \Delta X_i = 0$$

(т.к. сумма всех положительных и отрицательных отклонений от среднего должна равняться нулю);

$$-0,75+2,25-1,75+0,25=0$$

5. Вычисляем квадраты отклонений $(\Delta X_i)^2$:

$$(-0,75)^2 = 0,56$$

$$(2,25)^2=5,06$$

$$(-1,75)^2=3,06$$

$$(0,25)^2=0,0625$$

6. Находим среднее квадратичное отклонение:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta X_i)^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,56+5,06+3,06+0,0625}{3}} = \sqrt{\frac{8,75}{3}} = 1,7$$

7. Выявляем и исключаем из таблицы промахи (приблизительно считая промахами измерения, при которых $\Delta X_i > 2S_n$):

$$(2S_n=2 \cdot 1,7=3,4)$$

$$X_i$$

$$-0,75 < 3,4$$

$$2,25 < 3,4$$

$$-1,75 < 3,4$$

$$0,25 < 3,4$$

8. Находим среднее квадратичное отклонение среднего

$$S_{\bar{X}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta X_i)^2}{[n \cdot (n-1)]}} = \frac{1,7}{\sqrt{4}} = \frac{1,7}{2} = 0,85.$$

9. Задаемся значением надежности (доверительной вероятности α -обычно 0,95);

10. Выбираем из таблицы коэффициент (критерий) Стьюдента $t_{\alpha n}$ при данных α и n (число выборок может быть как угодно большим, но при проведении лабораторных опытов обычно $n = 5 \div 7$, не менее 4); $t_{\alpha n} = 3,2$.

11. Вычисляем погрешность результата измерения:

$$\Delta X = \varepsilon_{\alpha} = t_{\alpha n} \cdot S_{\bar{X}} = 3,2 \cdot 0,85 = 2,72$$

При умножении критерия Стьюдента $t_{\alpha n}$ на $S_{\bar{X}}$ определяют, в каком интервале находится истинное значение измеряемой величины (при отсутствии систематической погрешности). Если желательно получить один и тот же интервал погрешности при измерениях, а значит и одинаковый коэффициент $t_{\alpha n}$, например, 3,2, то при $\alpha = 0,95$ достаточно провести три-четыре измерения, а при $\alpha = 0,99$ - десять.

12. Вносим в таблицу окончательный результат: $\bar{X} \pm \Delta X$,

т.е. $15,75 \pm 2,72$.

13. Находим относительную погрешность (в %):

$$\frac{2,72}{15,75} \cdot 100 = 17,3\%$$

Контрольные вопросы

1. Конструкция и основные узлы шнековых питателей.
2. От чего зависит производительность и мощность питателей и дозаторов для сыпучих веществ?
3. Особенности применения конкретных конструкций питателей и дозаторов.
4. Основные типы шнековых дозаторов.

Литература

1. А.О. Спиваковский, В.К.Дьячков. Транспортируемые машины, М., 1983.
2. Ф.П. Марон, А.В. Кузьмин. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин, Минск, 1977.
3. А.И. Тетеревков, В.В. Печковский. Оборудование заводов неорганических веществ и основы проектирования, Минск, 1981.
4. П.Г. Романов, М.И. Курочкина, Ю.Я. Моджврин, Н.Н. Смирнов. Процессы и аппараты химической промышленности, М., 1989.
5. Раков Э.Г., Хаустов С.В. Процессы и аппараты производств радиоактивных и редких металлов Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1993. – 384 с.
6. Судариков Б.Н., Раков Э.Г. Процессы и аппараты урановых производств / Под ред. Громова Б.В.. – М. : Машиностроение, 1968.
7. <http://www.masters.donntu.edu.ua/2010/fimm/afaunova/diss/index.htm>

Приложение 1. Число оборотов в зависимости от положения переключателя

об/мин	Режим
1	5
2	4
3	5,4
4	3
5	3,5
6	3,4
7	3,4,5
8	2
9	2,5
10	2,4
11	2,4,5
12	2,3
13	2,3,5
14	2,3,4
15	2,3,4,5
16	1
17	1,5
18	1,4
19	1,4,5
20	1,3
21	1,3,5
22	1,3,4
23	1,3,4,5
24	1,2
25	1,2,5
26	1,2,4
27	1,2,4,5
28	1,2,3
29	1,2,3,5
30	1,2,3,4
31	1,2,3,4,5

Приложение 2. Мощность в зависимости от положения переключателя

Мощность, %	Режим
70	6,7
80	6
90	7
100	-

Приложение 3. Направление вращения в зависимости от положения переключателя

Направление	Режим
По часовой	–
Против часовой	8

Для заметок

Учебное издание

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу
«Оборудование производств редких элементов» для студентов IV
курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая
технология материалов современной энергетики

Составители

КАНТАЕВ Александр Сергеевич
БРУС Иван Дмитриевич


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 05.05.2014. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ 1153 Тираж 10 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru