

Автор:  
с 59  
Министерство высшего и среднего специального образования УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Аспирант СОКОЛЕНКО Виктор Никитович

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВОДОВ  
ДОЗАТОРОВ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ  
НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 05.02.02. Машиноведение и детали машин

**АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Перечет 19 84

ОДЕССА — 1974

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

( На правах рукописи )

Аспирант СОКОЛЕНКО Виктор Никитович

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВОДОВ ДОЗАТОРОВ  
СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Специальность 05.02.02. Машиноведение и детали машин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1974

В. В. 12312

ОБЛАД

Уч. Об. 12

Исследование регуляр



v012312

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор МАЛЫЦЕВ В.Ф.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор ВАСИН Г.Г. (Челябинск),  
доктор технических наук, профессор ПЛАТОНОВ П.Н. (Одесса).

Ведущее предприятие - Одесское особое конструкторское бюро средств измерения масс (ОСБ СИМ)

Автореферат разослан 14 III 1974 г.

Защита диссертации состоится 19 IV 1974 г.  
на заседании Совета Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова, г. Одесса, ул. Свердлова, II2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв на реферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направлять в Совет института по адресу: г. Одесса, 270039, ул. Свердлова, II2.

УЧЕБНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА  
КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Л.А. ЗАПОРЖЕЦ

## В В Е Д Е Н И Е

Разработка и внедрение современных средств автоматизации дозирования материалов способствует выполнению задачи, поставленной XXIV съездом КПСС на 1971-1975 г.г. - "Освоить промышленный выпуск средств и комплексных систем автоматизации управления технологическими процессами в металлургической, химической и нефтеперерабатывающей, нефтяной, газовой и угольной промышленности".

Наиболее широкое распространение получили весовые дозаторы непрерывного действия при завешивании материалов, транспортируемых ленточными транспортерами (конвейерные весы).

Одним из главных узлов дозаторов непрерывного действия является привод, от которого в значительной мере зависят качественные характеристики дозаторов. В последнее время в приводах дозаторов получают применение современные бесступенчатые передачи-вариаторы, позволяющие настраивать и поддерживать автоматически работу дозаторов на оптимальных режимах. Значительное распространение в качестве привода дозатора получили механические вариаторы вследствие своей компактности, низкой стоимости, высокого КПД и других преимуществ.

Несмотря на относительно широкое применение вариаторов в дозаторах непрерывного действия, вопросы обоснования рациональности того или иного типа вариатора, требования, предъявляемые к ним, и их динамика в системе дозаторов, а также методы расчета до настоящего времени не получили должного развития.

На основании теоретических и экспериментальных исследований в данной работе была поставлена цель разработать рекомендации по выбору системы привода дозатора непрерывного действия, расчету, проектированию и его совершенствованию.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Анализ бесступенчатых приводов, нашедших применение в конструкциях отечественных и зарубежных дозаторов непрерывного действия.

2. Обоснование требований, предъявляемых к бесступенчатым приводам дозаторов.

3. Исследование динамики вариаторного привода дозатора непрерывного действия как системы с негOLONОМНОЙ СВЯЗЬЮ и определение усилий, действующих на привод дозатора.

4. Экспериментальное определение сил, действующих на привод в результате смещения слоев материала, находящегося в бункере и на транспортной ленте, для материалов различной дисперсности (полиэтилена, песка и цемента).

5. Решение основных вопросов теоретического и экспериментального исследования автоматического привода дозатора непрерывного действия с импульсивным вариатором.

Глава I содержит анализ существующих отечественных и зарубежных регулируемых приводов дозаторов непрерывного действия. Приводятся, разработанные на основании анализа, требования, предъявляемые к регулируемым приводам дозаторов, и обосновывается целесообразность применения импульсивного зубчато-рычажного вариатора.

В автоматических дозаторах непрерывного действия в результате весового контроля материала, проходящего по транспортеру, автоматически поддерживается постоянство его подачи.

Возможность изменения скорости ленты весьма расширяет использование дозатора для материалов с различной объемной массой.

В приводе дозаторов непрерывного действия отечественного производства нашли применение как механические, так и электрические бесступенчатые передачи.

НИКИМПОМ разработан ряд дозаторов типа ДН с регулировкой скорости подачи материала с ленточным или вибрационным питателем.

В дозаторах с ленточным питателем (ДН-4, ДН-15) регулирование скорости ленты осуществляется электроприводом серии ПМУ с диапазоном регулирования 1:10.

В дозаторах ЛВД-20 и С-634 применяется клинорамной вариатор.

В приводе автоматических весовых дозаторов непрерывного действия типа С-781, С-864, СБ-71 используется цепной вариатор с диапазоном регулирования равным 6.

Вариаторы, применяемые в отечественных дозаторах, имеют характерные для своей конструкции существенные недостатки (малый диапазон регулирования, чувствительность к перегрузкам, сложность конструкции), которые ограничивают область их применения.

Из зарубежных дозаторов, в приводе которых применен механический вариатор, следует отметить ленточный гравиметрический дозатор ХАЙ-УЕЙ фирмы "БИФ-ОМЕГА" США с импульсивным кулачковым вариатором.

В английском дозаторе фирмы "СПЕНСЕР-ЭЛЛИОТ" используется шаровый вариатор типа Копп с диапазоном регулирования 8.

Народное предприятие "Цементанлегенбау" (ГДР) выпускает дозаторы, у которых регулирование производительности осуществляется изменением скорости ленты с помощью бесступенчатого пластинчатого вариатора.

Широкое распространение в дозаторах непрерывного действия зарубежных фирм получил принцип поддержания постоянства производительности с помощью изменения числа оборотов двигателя постоянного тока, применяемого как для изменения скорости транспортер-

ной ленты в процессе дозирования, так и величины открытия заслонки.

Ряд фирм выпускает дозаторы с вибронитателями, в которых постоянство производительности достигается изменением амплитуды колебаний питателя.

Обзор и анализ конструкций дозирующих устройств показывает, что в современных дозаторах сыпучих материалов непрерывного действия используются различные системы регулируемых приводов для изменения величины и поддержания постоянства заданной производительности дозаторов в зависимости как от процесса дозирования, так и от конструктивных особенностей и структурных схем дозаторов.

Процесс непрерывного дозирования и системы дозаторов предъявляют к бесступенчатым приводам ряд требований, основные из которых следующие:

1. Конструкция привода должна обеспечивать возможность автоматической регулировки и дистанционного управления.

2. Автоматический бесступенчатый привод должен обладать необходимым быстродействием.

3. Привод должен быть рассчитан для работы при резком изменении температуры и во взрывоопасной среде.

4. Привод должен обладать необходимой надежностью и долговечностью.

5. Привод должен быть простым по конструкции, дешевым и удобным в эксплуатации.

6. Привод должен обладать достаточной чувствительностью регулирования, обеспечивая простоту исполнительных механизмов промежуточной системы автоматического регулирования.

7. Регулируемый привод дозатора может иметь импульсивность движения при соблюдении равномерности интервалов по времени.

8. Усилия на регулирующем органе и мощность, затрачиваемая на регулировку, должны быть минимальными.

9. Скорость движения ленты дозатора должна обеспечиваться приводом в диапазоне  $0,025 + 1,0$  м/сек.

10. Привод должен обеспечивать стабильную работу дозатора с допустимой погрешностью по производительности.

Проведенный анализ конструкций бесступенчатых передач, применяемых в дозаторах непрерывного действия, показывает, что перспективными для дозирования сыпучих материалов являются импульсивные вариаторы. Вибрации, возникающие в связи с импульсивностью движения выходного вала вариатора, способствуют равномерному выходу материала из бункера на ленту и повышению точности дозирования. Современные импульсивные вариаторы — компактные и надежные в работе, имеют широкий диапазон регулирования. Наиболее совершенными из всех видов импульсивных регулируемых вариаторов являются зубчато-рычажные, обладающие широким диапазоном регулирования  $0 + 1000$ . Они компактны, прочны, могут быть встроены в привод дозатора и просто приспособлены к автоматической регулировке.

Всё это послужило основанием более подробно исследовать в приводе дозатора непрерывного действия импульсивный зубчато-рычажный вариатор с широким диапазоном регулирования.

В главе II изложены исследования динамики вариаторного привода дозатора непрерывного действия, схеме которого представлена на рис. I,

где 1- двигатель; 2-вариатор; 3- регулирующий механизм;  
4- редуктор; 5 - дозатор.

Так как данная система негOLONOMна, то воспользовавшись уравнением Анпеля, составим дифференциальное уравнение движения

$$(J_1 i^2 + J_2) \frac{d\omega_2}{dt} + J_1 i \frac{di}{dt} \omega_2 = i M_D - M_C, \quad (1)$$

где  $J_1$  - момент инерции всех звеньев от двигателя до ведущего вала вариатора;  $J_2$  - момент инерции всех подвижных масс, получающих движение от ведущего вала вариатора;  $i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$  - передаточное отношение угловой скорости  $\omega_1$  ведущего вала к угловой скорости  $\omega_2$  ведомого вала вариатора;  $t$  - время;  
 $M_D$  - движущий момент;  $M_C$  - приведенный момент сопротивления.  
Преобразуем уравнение (1) в уравнение виде

$$\omega_1 (M_D - J_1 \frac{d\omega_1}{dt}) = \omega_2 (M_C + J_2 \frac{d\omega_2}{dt}). \quad (2)$$

Принимая линейной характеристику приводного двигателя

$$M_D = A_1 - B_1 \omega_1$$

и используя экспериментальные данные (гл. III и IV), аппроксимируем с достаточной степенью точности следующие члены уравнения (2):

$$M_C = A - B \cdot \omega_2;$$

$$\omega_2(t) = A_2 + B_2 \sin \beta t,$$

где  $A, B, A_1, B_1, A_2$  и  $B_2$  - постоянные величины;  $\beta$  - частота колебаний.

С учётом этой аппроксимации уравнение (2) запишем в виде

$$\frac{dz}{dt} + \alpha z - \beta \sqrt{z} = -f(t) \quad (3)$$

при  $z|_{t=0} = \omega_{10}^2,$

где

$$\alpha = \frac{2B_1}{J_1}; \quad \ell = \frac{2A_1}{J_1}; \quad z = \omega_1^2;$$

$$f(t) = c + n \sin(\beta t + \delta_1) + p \sin(2\beta t + \delta_2);$$

$$c = \frac{2}{J_1} (AA_2 - BA_2^2 - \frac{BB_2^2}{2}); \quad n = \sqrt{n_1^2 + n_2^2};$$

$$\tan \delta_1 = \frac{n_2}{n_1}; \quad n_1 = \frac{2}{J_1} (AB_2 - 2BA_2B_2);$$

$$n_2 = \frac{2}{J_1} \beta J_2 A_2 B_2; \quad p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2};$$

$$p_1 = \frac{\beta J_2 B_2^2}{J_1}; \quad p_2 = \frac{BB_2^2}{J_2}; \quad \tan \delta_2 = \frac{p_2}{p_1}.$$

Для решения нелинейного дифференциального уравнения (3) первого порядка применим метод квазилинеаризации. Повторяя процесс последовательных приближений, получаем рекуррентное соотношение

$$\frac{dz_{n+1}}{dt} = -\alpha z_{n+1} + \frac{\beta}{2\sqrt{z_n}} \cdot z_{n+1} + \frac{\beta\sqrt{z_n}}{2} - f(t), \quad (4)$$

где  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Решение уравнения (4) сводится к последовательному приближению функции  $Z$  при заданном начальном приближении функции  $Z_0$ .

Рекуррентное отношение связи последующего приближения с предыдущим описывается уравнением

$$Z_{n+1}(t) = C_1 e^{-\int_0^t (a - \frac{\beta}{2\sqrt{z_n}}) dt} + e^{-\int_0^t (a - \frac{\beta}{2\sqrt{z_n}}) dt} \times$$

$$\times \int_0^t f_1(\tau) e^{-\int_0^\tau (\frac{\beta}{2\sqrt{z_n}} - a) d\tau} \cdot d\tau, \quad (5)$$

где  $C_1$  - величина, определяемая из начального условия для уравнения (3);  $\tau$  - переменная интегрирования.

Предложенный процесс последовательных приближений  $Z(t)$  обеспечивает квадратичную сходимость, что весьма важно с вычислительной точки зрения.

Так как  $Z = \omega_1^2$ , то для первого приближения после определения  $C_1$  решение уравнения (5) примет вид

$$\omega_1(t) = \sqrt{E - n \sin(\beta t + \delta_1 - \delta'_1) - p \sin(2\beta t + \delta_2 - \delta'_2) + E_1 e^{-(a - \frac{\beta}{2\omega_0})t}}, \quad (6)$$

где

$$E = \frac{\beta \omega_{10} - 2\alpha \omega_{10}}{2\omega_{10} a - \beta} \omega_{10};$$

$$E_1 = \omega_{10}^2 + n \sin(\delta_1 - \delta'_1) + p \sin(\delta_2 - \delta'_2) - E;$$

$$\operatorname{tg} \delta'_1 = \frac{\beta}{a - \frac{\beta}{2\omega_{10}}};$$

$$\operatorname{tg} \delta'_2 = \frac{2\beta}{a - \frac{\beta}{2\omega_{10}}}.$$

На ЭВМ "Проминь-2" по уравнению (6) проведен расчет угловой скорости вала электродвигателя для дозатора средних размеров со следующими данными:

$\omega_0 = 147 \text{ сек.}^{-1}$ ,  $J_1 = 0,0408 \text{ кгм}^2$ ,  $J_2 = 0,0246 \text{ кгм}^2$ ,  $M_c = 2,0 \text{ кгм}$ , электродвигатель типа АОЛЗ-2З-4, мощностью  $N = 1,5 \text{ кВт}$  и номинальным числом оборотов  $n = 1400 \text{ об/мин}$ . По результатам расчета построен график  $\omega_1(t)$  (рис. 2а), из которого видно, что угловая скорость  $\omega_1$  представляет собой периодическую функцию, то-есть ведущий вал вариатора вращается с некоторой неравномерностью.

По данному графику можно оценить соответствие двигателя приводу дозатора. При выполнении условия  $n > \frac{30}{n} \omega_{1 \min}$  двигатель обеспечивает устойчивую работу системы.

Величину  $\omega_{1 \min}$  можно определить непосредственно из графика (рис. 2а) или по экстремальному значению функции уравнения (6). Кроме того, последнее уравнение дает возможность определить коэффициент неравномерности угловой скорости вала электродвигателя.

Для принятой линейной характеристики электродвигателя движущий момент в функции времени определяется уравнением

$$M_d(t) = A_1 - B_1 \sqrt{E - n \sin(\beta t + \delta_1 - \delta'_1) - p \sin(2\beta t + \delta_2 - \delta'_2) + E} e^{-(\alpha - \frac{\beta}{2\omega_0})t} \quad (7)$$

Эту зависимость можно использовать для проверки правильности выбора электродвигателя дозатора по крутящему моменту или по мощности.

Среднеквадратичный эквивалентный движущий момент  $M_{dэ}$  найдется.

$$M_{dэ} = \sqrt{\frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} [A_1 - B_1 \sqrt{E - n \sin(\beta t + \delta_1 - \delta'_1) - p \sin(2\beta t + \delta_2 - \delta'_2) + E} e^{-(\alpha - \frac{\beta}{2\omega_0})t}]^2 dt},$$

где  $t_m$  - период функции  $M_d(t)$ . (8)

Для нормальной работы привода необходимо, чтобы номинальный момент двигателя  $M_{dн}$  был больше эквивалентного, то-есть  $M_{dн} > M_{dэ}$ .

При этом следует заметить, если номинальный момент двигателя значительно больше среднеквадратичного эквивалентного, определенного по формуле (8), то двигатель выбран завышенной мощности.

Возможность применения для дозатора двигателя меньшей мощности может быть решена после определения  $M_{dэ}$  по выражению (8), в котором должны фигурировать величины  $A_1$  и  $B_1$ , найденные из характеристики этого двигателя и сравнения  $M_{dэ}$  с номинальным значением момента выбранного двигателя.

Из уравнения (7) определяем  $M_{d \max}$ , затем находим коэффициент динамичности

$$K_d = \frac{M_{d \max}}{M_{dc}}$$

где  $M_{dc}$  - среднее значение момента движущих сил.

Так как  $M_d$  в процессе эксплуатации дозатора периодически изменяется, то нагруженные элементы привода следует рассчитывать на выносливость. При этом для вычисления параметров цикла напряжений можно использовать уравнение (7), а в случае необходимости и более точные решения на основании соотношения (5).

Для дозатора, с ранее приведенными данными, согласно уравнению (7) построен график  $M_d(t)$  (рис. 2б) и определена величина коэффициента динамичности  $K_d \approx 1,75$ .

Приближенно величина  $M_G$  определялась при  $\omega_1 = const$  и аппроксимации угловой скорости ведомого вала вариатора, определенной экспериментально, выражением

$$\omega_2(\varphi_2) = a_1 + b_1 \sin \nu_1 \varphi_2, \quad (9)$$

где  $\varphi_2$  - угол поворота ведомого вала вариатора;

$a_1$  - величина, относительно которой колеблется угловая скорость  $\omega_2$ ;  $b_1$  - амплитуда колебаний угловой скорости  $\omega_2$ ;  $\nu_1$  - частота.

Момент сил сопротивления на основании экспериментальных данных

$$M_c = d - c\omega_2 = d - c(a_1 + b_1 \sin \nu_1 \varphi_2), \quad (10)$$

где  $c$  - тангенс угла наклона экспериментальной кривой

$M_c = f(\omega_2)$ ;  $d$  - момент сопротивления при пуске двигателя.

Используя уравнения (2), (9) и (10), получим

$$M_G = A_3 \sin(\nu_1 \varphi_2 + \psi_1) + B_3 \sin(2\nu_1 \varphi_2 + \psi_2) + C_3, \quad (11)$$

где

$$A_3 = \frac{1}{\omega_1} \sqrt{(a_1^2 b_1^2 \nu_1^2 J_2^2 + \frac{b_1^3 \nu_1^3 J_2^2}{2})^2 + (b_1 d - 2a_1 b_1 c)^2};$$

$$B_3 = \frac{1}{\omega_1} \sqrt{(a_1 b_1^2 \nu_1^2 J_2^2)^2 + (\frac{b_1^2 c - b_1^3 \nu_1^3 J_2 \cos \nu_1 \varphi_2}{2})^2};$$

$$C_3 = \frac{2a_1 d - (2a_1^2 + b_1^2) c}{2\omega_1};$$

$$\sin \psi_1 = \frac{1}{\omega_1 A_3} (a_1^2 b_1 \nu_1^2 J_2 + \frac{b_1^3 \nu_1^3 J_2}{2});$$

$$\sin \psi_2 = \frac{b_1^2 c - b_1^3 \nu_1^3 J_2 \cos \nu_1 \varphi_2}{2\omega_1 B_3};$$

$\psi_1$  и  $\psi_2$  - начальные фазы.

Используя полученные экспериментальные зависимости при исследовании типичного дозатора непрерывного действия, выпускаемого отечественными заводами, найдены диапазоны изменения величин  $a_1$ ,  $b_1$  и  $\nu_1$ :

$$24,5 < a_1 < 25,5;$$

$$0,75 < b_1 < 1,25;$$

$$10 < \nu_1 < 18$$

и их средние значения  $a_1 = 25$  1/сек,  $b_1 = 1,0$  1/сек,  $\nu_1 = 15$ .

Для ориентировочных расчетов выходная угловая скорость вариатора может быть аппроксимирована линейной зависимостью

$$\omega_2(\varphi_2) = \alpha_2 + \beta_2 \varphi_2, \quad (12)$$

где  $\alpha_2$  - значение угловой скорости  $\omega_2$  в начальный момент рассматриваемого участка;  $\beta_2$  - тангенс угла наклона аппроксимирующей прямой.

На основании уравнений (2), (10) и (12) запишем

$$Mg - A_4 \varphi_2^2 + B_4 \varphi_2 + C_4, \quad (13)$$

где

$$A_4 = \frac{(\beta_2 J_2 - c) \beta_2^2}{\omega_1};$$

$$B_4 = \frac{\beta_2 (2\alpha_2 \beta_2 J_2 + d - 2\alpha_2 c)}{\omega_1};$$

$$C_4 = \frac{\alpha_2 (\alpha_2 \beta_2 J_2 + d - \alpha_2 c)}{\omega_1}.$$

Из выражения (13) найдем

$$Mg_{max} = - \frac{\beta_2^2}{4A_4} + C_4.$$

Используя полученные экспериментальные зависимости, определим диапазоны изменения величин:

$$\frac{\pi}{15} \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{10};$$

$$25,5 \leq \alpha_2 \leq 27;$$

$$14,3 \leq \beta_2 \leq 57,3.$$

Средние значения этих величин будут  $\alpha_2 = 26 \text{ I/сек.}$ ,  $\beta_2 = 30 \text{ I/сек.}$

$$\varphi_2 = \frac{\pi}{11},$$

Для анализа динамики привода дозатора непрерывного действия, проверки его работоспособности на различных режимах и выявления соответствия требованиям, предъявляемым к приводом дозаторов, производим исследование привода на аналоговой вычислительной машине МН-2, используя полученные в результате эксперимента зависимости (гл. III).

За исходное уравнение было принято выражение (I) для идеального вариатора. Сделав такое допущение, мы пренебрегаем скольжением вариатора, которое для исследуемого вариатора лежит в пределах  $\pm 4\%$ .

Моделирование идеального вариатора является приближенным. Поэтому моделирование вариатора явилось промежуточным этапом в создании модели реального привода. В модель идеального привода были введены звенья, учитывающие скольжение вариатора. Эти звенья были реализованы двухпеременным блоком нелинейности - БН2П, в который вводились кривые, характеризующие зависимость коэффициента падения скорости ведомого вала вариатора -  $f$  % от

V. O. 12312

Одесский технический институт  
Библиотечка

нагрузки вариатора и его скорости (при смазке- масло индустриальное 45).

В процессе моделирования регистрировалось поведение системы при возникающих воздействиях по нагрузке и скорости.

1. Производилось плавное уменьшение момента сопротивления  $M_c$  с последующим скачкообразным возрастанием до максимального значения при  $i = const$ .

2. Передаточное отношение вариатора изменялось в пределах от  $\frac{1}{i} = 0,12$  до  $\frac{1}{i} = 0,68$ , обеспечивающих скорости транспортной ленты  $V = 0,025 + 0,16$  м/сек, при фиксированном значении момента сопротивления.

3. Для выявления влияния момента инерции на быстродействие и запаздывание привода, возмущения по моменту сопротивления и скорости производились при моментах инерции  $J_1 = 0,0408 + 0,204 \text{ кгм}^2$

Глава III посвящена экспериментальному определению усилий смещения сыпучих материалов различной дисперсности между слоями при выходе материала из бункера на транспортную ленту.

Как уже отмечалось ранее (гл. II), дозатор непрерывного действия с вариатором представляет собой систему с неголономными связями и описывается дифференциальным уравнением (I) неголономной механики. Для решения данного уравнения необходимо было определить момент сопротивления  $M_c$ , который вследствие влияния на его величину большого числа факторов наиболее достоверно может быть определен экспериментальным путём.

Момент сопротивления, приведенный к ведомому валу вариатора (рис. I), можно представить как

$$M_c = \frac{M_0 + M_T}{\eta_p \cdot i_p}$$

где  $M_0$  - момент сопротивления, определяемый суммой моментов, необходимых для преодоления изгибов транспортной ленты в процессе движения, и моментов от сил трения в кинематических парах системы;  $M_T$  - момент сопротивления от усилия сдвига  $T$ , возникающего в процессе дозирования между слоями материалов в месте выхода его из бункера на транспортную ленту;  $\eta_p$  - КПД редуктора;  $i_p$  - передаточное число редуктора.

Для определения момента  $M_T$ , опытным путем было найдено усилие сдвига слоев  $T$ , для определения которого была разработана методика и создана экспериментальная установка, представленная на рис. 3.

Иследуемый материал засыпается в бункер I с изменяющимся вручную углом наклона боковых стенок 2. Для замера высоты слоя засыпанного материала на лицевой стороне стенки бункера имеется прорезь, в которую вставлена прозрачная линейка 3 с делениями. С помощью заслонки 4 устанавливается необходимая высота материала, подаваемого на транспортную тележку 5. Посредством задатчика скорости 6, соединенного электрически с тиристорным приводом 7 марки ЭТШР, устанавливается необходимая скорость вращения вала электродвигателя 8 марки ЛБСТ. При включении тиристорного привода вращение от электродвигателя через редуктор 9 передается на барабан 10, на который наматывается трос II, соединенный через датчик 12 с транспортной тележкой. Тележка перемещается по цилиндрическим направляющим, концы которых через четыре датчика давления 13 соединены с рамой 14. Датчики давления фиксируют вертикальное усилие, с которым тележка давит на платформу. Для повышения плавности перемещения тележки к ней через блоки подвешивается противовес 15. При работе установки сигналы с датчиков 12 и 13 поступают на

тензоусилитель 16 марки 8АН-4, а затем на осциллограф 17 марки МПО-2, где и фиксируются на осциллограммах.

В качестве дозируемого материала при проведении экспериментов были выбраны материалы различной дисперсности и удельного веса: гранулированный полиэтилен высокого давления в форме цилиндра диаметром равным 3мм, высотой 4мм и удельным весом 0,53 г/см<sup>3</sup>, песок с удельным весом 1,64 г/см<sup>3</sup> и цемент с удельным весом 1,1 г/см<sup>3</sup>.

Опыты производились при следующих интервалах высоты H материала в бункере, высоты h открытия заслонки, скорости V транспортной ленты и угле α наклона стенок бункера:

$$H_1 \div H_4 = 100, 200, 300 \text{ и } 400 \text{ мм};$$

$$h_1 \div h_4 = 20, 40, 60 \text{ и } 80 \text{ мм};$$

$$V_1 \div V_5 = 0,025; 0,04; 0,063; 0,1 \text{ и } 0,16 \text{ м/сек};$$

$$\alpha_1 \div \alpha_4 = 0, 10, 20 \text{ и } 30^\circ.$$

Количество экспериментов для каждого материала установлено методом математической статистики.

По результатам экспериментальных исследований установлены зависимости, показывающие влияние главных конструктивных и эксплуатационных параметров на величину усилия T. С целью использования данных экспериментального исследования при изучении динамики привода по данным опытов для каждого из трех исследуемых материалов были построены графики изменения усилия T:

$$T = f(H) \text{ при } h_1 \div h_4, \alpha_1 \div \alpha_4 \text{ и } V_1 \div V_5;$$

$$T = f(V) \text{ при } H_1 \div H_4, \alpha_1 \div \alpha_4 \text{ и } h_1 \div h_4$$

и найдены следующие аналитические зависимости. Для полиэтилена

$$T = 10K_V - 0,045(h+\alpha) - \frac{1240 - 34\alpha^{0,73}}{H \cdot h^{0,19}}$$

Величина  $K_V$  учитывает скорость транспортной ленты и может быть представлена в виде

$$K_V = -0,18V + 1,048.$$

Для песка

$$T = 25,3 K_V + 0,1(1,6h - \alpha) - \frac{1450 + 6h + 0,7\alpha^{1,47}}{H};$$

$$K_V = -0,5V + 1,006.$$

Для цемента

$$T = 60K_v - \frac{5000}{H};$$

$$K_v = -0,24V + 1,02.$$

Усилие смещения T в общем случае для полиэтилена, песка и цемента можно изобразить как

$$T = A_5 \cdot K_v - B_5(C_5 \cdot h + P_3 \Delta) - \frac{D + mh + E \Delta^n}{h^k \cdot H},$$

где  $A_5, B_5, C_5, P_3, D, m, E, \Delta$  и  $k$  - постоянные величины, определяемые экспериментально.

В главе IV проведены приближенные исследования моделированием промышленного образца дозатора (с ленточным транспортером, производительностью до 8 т/ч) с системой автоматического регулирования (САР) и экспериментальные исследования вариатора в приводе дозатора непрерывного действия.

Задаваясь различными параметрами: скоростью движения ленты, весом материала на ленте, типом и настройками регулятора и, рассматривая резон системы и отработку возмущений, в результате моделирования получены ряд кривых.

Результаты моделирования были использованы при разработке стенда дозатора с импульсивным вариатором, на котором проводились дальнейшие исследования. В качестве дозируемого материала использовался полиэтилен.

Экспериментально определены периодические изменения скорости ведомого вала вариатора на широком диапазоне его регулирования, быстрое действие автоматического привода при изменении производительности за счет изменения высоты  $h$  открытия заслонки бункера и точность дозирования в зависимости от скорости транспортной ленты и высоты  $h$ . В результате проведенных экспериментов были получены динамические параметры системы дозатора непрерывного действия: время запаздывания, постоянная времени автоматической системы, постоянная привода и постоянная времени объекта. Полученные данные позволили оценить время запаздывания каждого узла в общем времени запаздывания всей системы с момента изменения нагрузки на транспортной ленте дозатора.

Для определения равномерности вращения выходного вала вариатора использовались осциллограммы, полученные при определении динамических характеристик автоматического привода дозатора.

Одним из главных требований, предъявляемых к дозаторам непрерывного действия, является точность дозирования. В связи с этим были проведены испытания дозатора методом взятия контрольных проб дозируемого материала по определению относительной погрешности дозирования. На основании экспериментальных данных найдены зависимости относительной погрешности дозирования от скорости движения ленты при различной высоте слоя дозируемого материала. Относительная погрешность дозирования менее 1,5% при допустимых для исследуемого материала высотах ( $h = 20,35$  и  $147$  мм) слоя на транспортной ленте.

Так как наряду с механическим бесступенчатым приводом в дозаторах непрерывного действия нашли применение электрические бесступенчатые приводы серии ПМУ, был рассмотрен привод ПМУ и проведен его сопоставительный анализ с приводом, посредством импульсивного вариатора.

РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. На основании анализа отечественных и зарубежных конструкций вариаторов, применяемых в приводе дозаторов непрерывного действия, разработаны требования, предъявляемые к регулируемым приводам дозаторов.

2. Исследована динамика вариатора дозатора непрерывного действия и составлены дифференциальные уравнения движения по определению движущего момента.

3. Моделированием системы установлено, что:

а) возмущения по моменту сопротивления и по скорости не вызывают ощутимых отклонений скорости импульсивного зубчатого вариатора от заданного значения, т.е. привод обладает достаточной стабильностью;

б) быстродействие вариаторного привода выше, а его запаздывание в несколько раз меньше соответствующих параметров электропривода;

в) динамические свойства привода, реализуемого импульсивным вариатором, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к приводам дозаторов непрерывного действия.

4. Разработаны экспериментальная установка и методика по определению усилий смещения между слоями материалов, находящихся в бункере и на транспортной ленте. Данная конструкция стенда и методика могут быть использованы при определении усилия смещения для различных дозируемых сыпучих материалов.

5. Экспериментально определены усилия смещения сыпучих материалов различной дисперсности (полиэтилена, песка и цемента).

6. Экспериментально установлено, что:

а) Решающим фактором, определяющим нагрузку привода дозато-

ра непрерывного действия, является физическая природа самого материала: его дисперсность, форма частиц, сцепление между ними и т.д.

б) Существенно влияет на нагрузку привода дозатора высота слоя материала в бункере, т.е. усилие смещения с ростом высоты материала в бункере возрастает нелинейно и существует такое значение высоты материала в бункере, превышение которого не вызывает увеличения усилия смещения.

Для поддержания постоянной величины нагрузки привода, а следовательно и точности дозирования, необходимо обеспечить постоянство высоты слоя материала в бункере.

в) С увеличением скорости движения транспортной ленты величина нагрузки привода линейно убывает.

г) Усилие смещения линейно убывает с увеличением высоты слоя материала на транспортной ленте и угла наклона стенок бункера. Влияние этих параметров незначительно отражается на величине нагрузки привода.

7. Полученное в результате проведенных экспериментов выражение нагрузки привода является исходным для проведения анализа динамики системы автоматического дозатора непрерывного действия, привод которого включает вариатор.

8. Моделированием системы автоматического регулирования (САР) установлено, что замкнутая САР дозатора с зубчатом-рычажным импульсивным вариатором устойчива и по своим динамическим качествам (быстродействие, запаздывание, величина перерегулирования) соответствует требованиям, предъявляемым к дозаторам непрерывного действия.

9. Создан экспериментальный стенд и разработана методика по испытанию вариатора в приводе дозатора, согласно которой спрое-

делены динамические характеристики - время запаздывания, постоянная времени автоматической системы, постоянная привода и постоянная времени объекта. Полученные данные позволили оценить время запаздывания каждого звена в общем времени запаздывания всего привода.

10. Использование импульсивного вариатора в качестве регулируемого привода дозатора непрерывного действия для сыпучих материалов дает возможность расширить диапазон эксплуатационных возможностей и повысить точность дозирования. При этом следует учитывать, что на больших оборотах выходного вала вариатора КПД привода при номинальной нагрузке значительно выше, а коэффициент падения скорости меньше, чем при низких оборотах, следовательно целесообразно использовать верхний диапазон регулирования импульсивного вариатора при его общем диапазоне от 0 до 1000 об/мин.

11. Вибрации, возникающие в связи с импульсивностью движения выходного вала вариатора, способствуют равномерному выходу материала из бункера на ленту и повышению точности дозирования.

12. С увеличением скорости транспортной ленты и повышением слоя материала на ней относительная погрешность дозирования уменьшается от 1,5 до 0,4% при высоте слоя материала равной  $20 \pm 147$  мм. В этом случае сила сцепления между материалом на транспортной ленте и в бункере при её движении меньше сказывается на неравномерности движения ленты, а следовательно достигается и меньшая погрешность дозирования.

С целью повышения точности дозирования следует работать при больших слоях материала на транспортной ленте и оптимальных скоростях движения ленты, определенных для каждого конкретного материала.

13. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили обосновать целесообразность применения зубчатого рычажного импульсивного вариатора в приводе дозатора непрерывного действия.

14. Результаты настоящей работы могут быть использованы при конструктивной разработке и проведении динамических и экспериментальных исследований вариаторных приводов дозаторов непрерывного действия.

15. Некоторые результаты настоящей работы используются Одесским особым конструкторским бюро средств измерения масс (ОКБСИМ) при разработке технической документации и проводимых исследованиях дозаторов непрерывного действия.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Соколенко В.Н. и другие. Исследование регулируемых приводов дозаторов сыпучих материалов непрерывного действия. "Автоматизация процессов взвешивания и дозирования". (Материалы научно-технического совещания) ЦНИИТЭИ приборостроения, 1969.

2. Соколенко В.Н. и другие. Экспериментальное определение динамической характеристики автоматического привода дозатора. "Передаточные механизмы". Сборник статей. "Машиностроение". М., 1971.

3. Соколенко В.Н. и другие. Фрикционный многодисковый двухступенчатый вариатор скорости. Авторское свидетельство СССР № 194503. Бюллетень изобретений, № 8, 1967.

4. Соколенко В.Н. и другие. Экспериментальное определение усилий сопротивления в дозаторах непрерывного действия. Тезисы докладов четвертой Всесоюзной научно-технической

конференции по вариаторам и передачам гибкой связью. Одесса, 1972.

5. Соколенко В.Н., Мальцев В.Ф. Исследование динамики вариатора дозатора непрерывного действия. Тезисы докладов первой Всесоюзной научно-технической конференции по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам. Челябинск, 1972.

Кроме того по теме диссертации при участии автора выполнена научно-исследовательская работа (отчеты, фонды ОТИ им. М.В. Ломоносова): "Исследование регулируемых приводов дозаторов смлучих материалов непрерывного действия". Одесса, 1966-1970.

Материалы диссертации доложены на:

1. У-ом научно-техническом совещании по вопросам автоматизации процессов взвешивания и дозирования в различных отраслях народного хозяйства. Одесса, 1967.
2. Ш-ей Всесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью. Одесса, 1968.
3. Научно-технической конференции: "Применение электронных вычислительных машин при расчетах деталей машин". Ленинград, 1971.
4. IV-ой Всесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью. Одесса, 1972.
5. XXXIII-ей научной конференции Одесского Технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова. Одесса, 1972.
6. Первой Всесоюзной научно-технической конференции по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам. Челябинск, 1972.

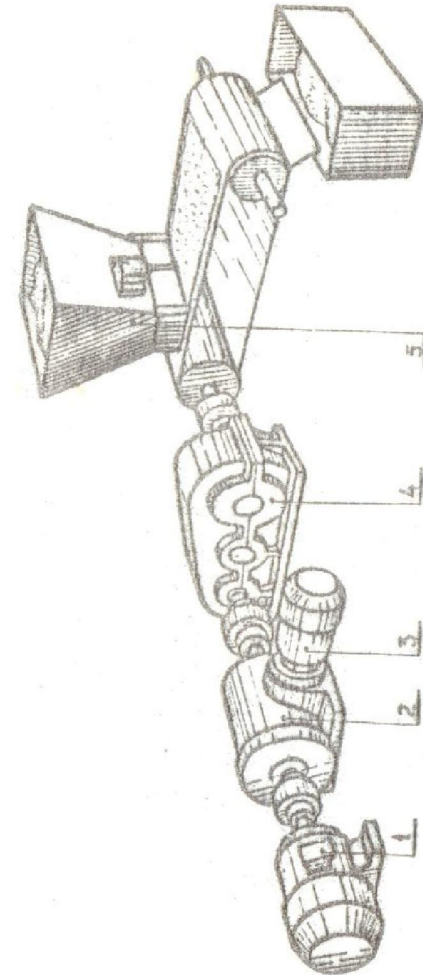
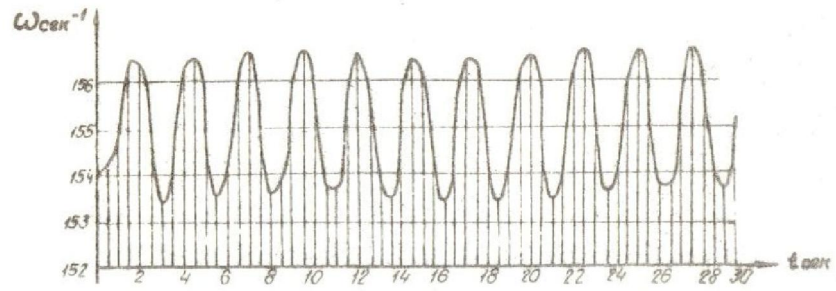
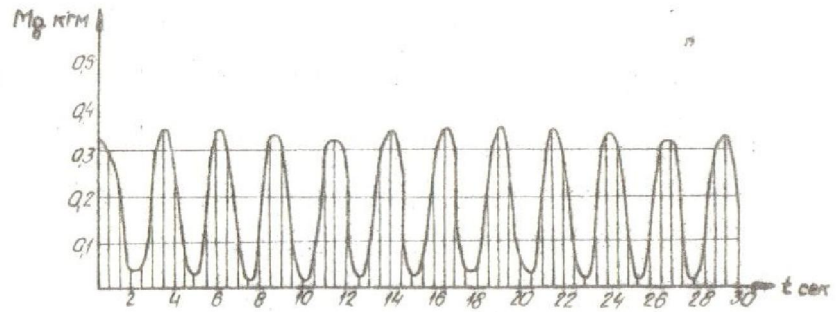


Рис. I



а)



б)

Рис. 2

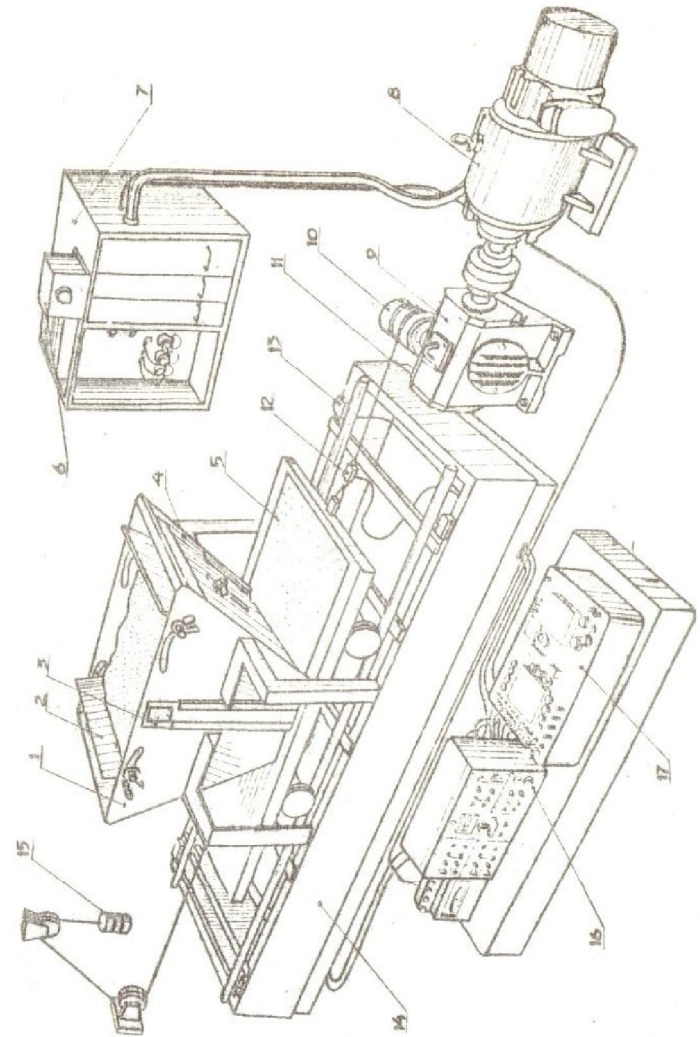


Рис. 3