

68  
Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи


Коробченко Леонид Семенович

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ  
ОРТОГОНАЛЬНЫХ ИНЕРЦИОННЫХ ИМПУЛЬСАТОРОВ  
В ДВУХПОТОЧНОМ ВИБРОПРИВОДЕ РАБОЧЕЙ  
МАШИНЫ

(Специальность 05.02.02 -  
"Машиноведение и детали машин")

Автореферат диссертации на  
соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск  
1976



Работа выполнена на кафедре "Теория механизмов и машин"  
Челябинского политехнического института имени Ленинского ком-  
сомола.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
Г.Г.Васин.

Официальные оппоненты- доктор технических наук, профессор  
В.Ф.Мальцев;  
кандидат технических наук,  
доцент Р.Н.Болдырев.

Ведущее предприятие - Ижевский ордена Ленина, ордена  
Красного Знамени, ордена Трудового  
Красного Знамени машиностроитель-  
ный завод.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " ноября 1976 г.

Защита диссертации состоится " \_\_\_\_ " декабря 1976 г.,  
в 15 часов, на заседании Специализированного совета № 2 по  
присуждению ученой степени кандидата технических наук  
Челябинского политехнического института имени Ленинского  
комсомола ( 454044, г. Челябинск-44, проспект им. В.И. Ленина, 76 ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ин-  
ститута.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересую-  
щихся темой диссертации, принять участие в заседании Специ-  
ализированного совета или прислать свои отзывы в двух  
экземплярах, заверенных печатью, по адресу: 454044, г. Челя-  
бинск, проспект им. В.И. Ленина, 76, Специализированный совет №2.

Ученый секретарь  
Специализированного совета № 2  
кандидат технических наук,  
доцент

*В.Ф. Мальцев*

А.И. Варанкин



Актуальность. Для интенсификации технологических процессов, выполняемых рабочими машинами в последнее время начинают находить применение вибрационные методы воздействия на обрабатываемую среду.

Такое вибрационное воздействие может осуществляться с помощью инерционно-импульсных механизмов, вводимых в кинематические приводы рабочего инструмента технологических машин.

Для дальнейшего увеличения производительности технологических процессов и снижения нагруженности элементов виброприводов исследователями предлагаются новые структурные схемы механических вибраторов - инерционных импульсаторов. Для правильного проектирования и применения предлагаемых инерционных импульсаторов необходимы исследования динамики этих механизмов.

Вопросы разработки новых компактных структурных схем инерционных импульсаторов, обладающих широким спектром динамических характеристик и исследования динамики этих механизмов в виброприводах рабочих машин имеют весьма большое научное и прикладное значение. Эти вопросы исследования включены в координационный план НИР АН СССР на 1976 - 1980 гг. по проблеме "Теория машин и систем машин".

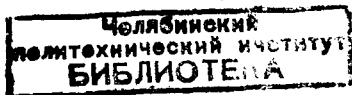
Цель работы. Разработке новых структурных схем инерционных импульсаторов для обеспечения вибрационных воздействий на обрабатываемую среду рабочими машинами, созданию научно обоснованной методики динамического расчета этих механизмов, экспериментальному исследованию динамической нагруженности предлагаемых виброприводов и посвящена данная диссертация.

Основные задачи. В настоящей работе решались следующие основные задачи:

1. Обзор и анализ существующих конструкций инерционно-импульсных механизмов и их областей применения.

2. Обоснование выбора рациональных новых структурных схем пространственных ортогональных импульсаторов на основе исследования динамики обобщенной схемы пространственного инерционного импульсатора.

3. Исследование динамических характеристик предложенных шести схем пространственных ортогональных инерционных импульсаторов в двухпоточном виброприводе рабочей машины с вращающимся активным рабочим органом.



4. Исследование нагруженности основных кинематических пар пространственных ортогональных инерционных импульсаторов.

5. Разработка инженерной методики расчета предлагаемых схем импульсаторов в виброприводе рабочей машины.

6. Экспериментальное исследование динамической нагруженности основных элементов пространственных импульсаторов в виброприводе рабочей машины и оценка перспективности их применения (на примере камерезной машины СМ-177А).

Общая методика выполнения работы. Для исследования динамики пространственных инерционных импульсаторов применяются дифференциальные уравнения движения Лагранжа II рода, решения которых получены на режимах равномерной и неравномерной угловых скоростей инструмента, постоянного и переменного моментов сопротивлений. На основе полученных результатов выполнено теоретическое исследование динамической нагруженности основных элементов импульсаторов в виброприводе рабочей машины.

Для проверки корректности сделанных допущений, оценки перспективности применения пространственных ортогональных импульсаторов в виброприводе рабочей машины проведены экспериментальные исследования.

Научная новизна. Предложены новые структурные схемы и разработана методика динамического расчета семейства инерционных механизмов - пространственных ортогональных импульсаторов. На основании общей методики определения значений динамических параметров систем с различными схемами пространственных импульсаторов предложен инженерный способ расчета этих схем в виброприводе рабочей машины.

Практическая ценность. Получены зависимости, позволяющие исследовать влияние различных параметров системы на ее динамические свойства и проектировать новые виброприводы рабочих машин с пространственными импульсаторами. Произведена оптимизация некоторых метрических параметров предлагаемых схем импульсаторов. Предложена инженерная методика расчета схем пространственных ортогональных импульсаторов в виброприводе машины с вращающимися активными рабочими органами.

Создана рабостоспособная конструкция двух схем пространственных ортогональных импульсаторов для виброприводе рабочей машины и экспериментально доказана перспективность применения этих

механизмов для некоторых машин с вращающимся рабочим органом.

Реализация результатов исследования и использование пространственных ортогональных импульсаторов в опытно-промышленном двухпоточном виброприводе серийной камерезной машины СМ-177А в производственных условиях Коелгинского мраморно-го карьера (Челябинская обл.) показало снижение удельной энергоемкости процесса резания мрамора и уменьшение тягового усилия подачи инструмента в I, I + I,5 раза. Оценена перспективность применения пространственных ортогональных импульсаторов в приводе камерезной машины.

Апробация работы: Основные положения исследования докладывались на:

1. У Всесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью, Одесса, 1972.

2. I Всесоюзной научно-технической конференции по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам, Челябинск, 1972.

3. I научно-технической конференции молодых ученых Урала, Свердловск, 1972.

4. У Всесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью, Одесса, 1976 г.

5. Челябинском филиале семинара по ТММ при АН СССР, 1973-76 гг.

6. Научно-технических конференциях Челябинского политехнического института, 1973-76 гг.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации автором опубликовано 20 работ, из них 7 авторских свидетельств.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, содержит 117 страниц основного текста, 1 таблицу и 47 рисунков. В списке литературы представлено 102 наименования литературных источников.

В первой главе обзор и анализ специальной литературы показал, что интенсификация процесса обработки различных технологических сред может осуществляться применением в кинематических цепях приводов рабочих машин с вращающимся рабочим органом возбуждателей знакопеременных динамических моментов-инерционных импульсаторов.

Механические генераторы крутильных колебаний рабочих органов технологических машин-импульсаторы имеют более высокий КПД, проще в изготовлении и эксплуатации, чем гидравлические, пневматические, или электрические возбудители импульсов динамического воздействия на обрабатываемую среду.

Для создания динамического вращающего момента на инструменте рабочей машины могут применяться инерционно-импульсные механизмы различных схем. Наиболее перспективными является импульсаторы планетарно-дифференциального типа, как наиболее компактные, обладающие высоким КПД.

В настоящее время рядом исследователей успешно показана возможность применения в приводах рабочих машин импульсаторов, выполненных по плоской схеме (движение центра масс неуравновешенного груза происходит по центроиде) с полигармоническим характером динамического момента на выходном элементе импульсатора.

Однако полигармонические плоские импульсаторы сравнительно велики в радиальном направлении, так как для создания на выходном элементе каждой гармоники динамического вращающего момента требуется наличие в схеме отдельного сателлита с неуравновешенным грузом, вращающимся на отдельной оси.

Кроме того, наличие в схеме нескольких сателлитов различного диаметра, зацепляющихся друг с другом, конструктивно сложно и ведет к уменьшению КПД привода в целом.

В инерционных импульсаторах, выполненных по плоской схеме, как моногармонических, так и полигармонических, динамический вращающий момент создается от центробежных сил при вращении неуравновешенного сателлита в плоском движении, что создает повышенную нагруженность элементов.

Во второй главе работы с целью устранения перечисленных недостатков предлагается новая структурная схема инерционных импульсаторов, которая может быть включена в виброприводы рабочих машин.

Обобщенная схема такого инерционного импульсатора, названного пространственным представлена на рис.1.

Показано, что на основании решения дифференциальных уравнений движения обобщенной схемы пространственного инерционного импульсатора:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} (b_{11} \dot{\theta} - b_{12} \dot{\varphi}) &= M_{\theta} - M_{\varphi}; \\ \frac{d}{dt} (b_{22} \dot{\varphi} - b_{12} \dot{\theta}) - 0,5 (b'_{11} \dot{\theta}^2 - 2 b'_{12} \dot{\theta} \dot{\varphi} + b'_{22} \dot{\varphi}^2) &= M_{\varphi} \lambda \end{aligned} \right\}$$

имеется возможность создания на выходном элементе такого импульсатора одним неуравновешенным грузом полгармонического динамического вращающего момента.

Кроме того, возможно создание динамического вращающего момента статически уравновешенным грузом, за счет разности осевых моментов инерции самого грузового звена:

$$M_{\theta} = A (J_y - J_x) \cdot \sin 2\varphi \cdot \sin^2 \alpha,$$

где  $A$  - постоянный коэффициент, зависящий от параметров импульсатора,

$X, Y$  - оси, неподвижно скрепленные с грузовым звеном.

Это позволит снизить динамическую нагруженность оси  $Z$ .

Максимальный динамический момент при этом создается импульсатором, у которого угол  $\alpha$  равен  $90^\circ$ .

Вследствие этого автором были предложены схемы пространственных ортогональных инерционных импульсаторов (ПОИ), включенных в вибропривод рабочих машин, у которых угол равен  $90^\circ$  (рис.2).

Схема вибропривода-двухпоточная для обеспечения первым потоком мощности переносного технологического движения инструмента, вторым - относительного знакопеременного, реализуемого ПОИ на инструменте вследствие наличия упругого элемента 5.

В работе исследовались три возможных варианта потока мощности через импульсный механизм (рис.2):

1) ведущий элемент - центральное колесо I, ведомый - центральное колесо 4 (схема 1).

2) ведущий элемент - центральное колесо I, ведомый - водило 3 (схема 2).

3) ведущий элемент - водило 3, ведомый - центральное колесо 4 (схема 3).

Для каждой из разновидностей схем исследовалось два варианта применения сателлита 2 - с неуравновешенным грузом и с уравновешенным (рис.3).

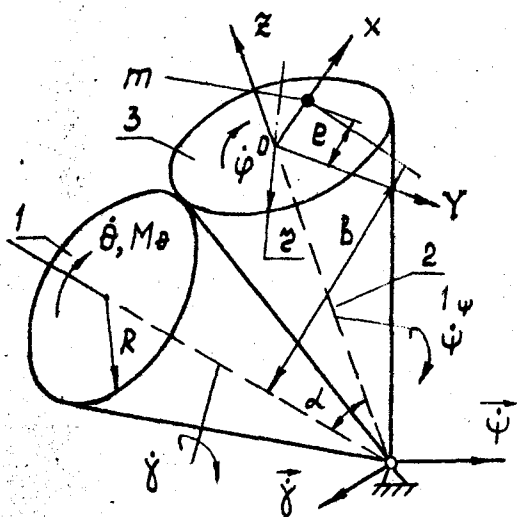


Рис.1.Обобщенная схема пространственного инерционного импульсатора

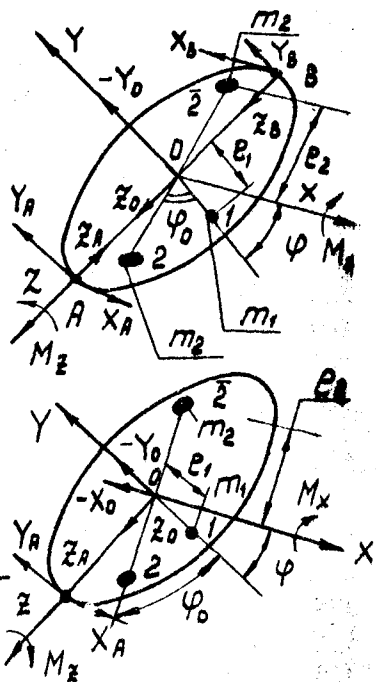


Рис.3.Неуравненные и уравненные грузовые звенья импульсатора

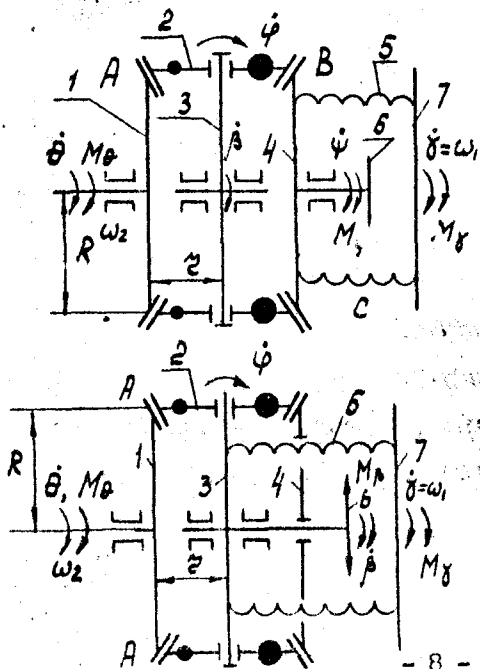


Рис.2.Расчетные схемы пространственных ортогональных инерционных импульсаторов в виброприводе рабочей машины



Для получения выражений динамических характеристик, создаваемых пространственными виброприводами рабочей машины были составлены системы нелинейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами для каждой из исследуемых схем виброприводов вида:

$$\left. \begin{aligned} [a_{11} - \nu \cos 2(\varphi - \varphi_1)] \ddot{\beta} + (a_{12} - \cos \varphi) \ddot{\varphi} + 2\nu \sin 2(\varphi - \varphi_1) \dot{\beta} \dot{\varphi} + \sin \varphi \dot{\varphi}^2 = \\ = M\theta - M\psi + c(\gamma - \beta - \lambda \varphi); \\ (a_{12} - \cos \varphi) \ddot{\beta} + a_{22} \ddot{\varphi} - \nu \sin 2(\varphi - \varphi_1) \dot{\beta} = -M\theta - \lambda - M\psi - \lambda + \lambda c(\gamma - \beta - \lambda \varphi); \\ a_{33} \ddot{\gamma} = M\gamma - c(\gamma - \beta - \lambda \varphi), \end{aligned} \right\}$$

где  $a_{ij}$ ,  $\nu$  - линейные и нелинейные коэффициенты, зависящие от параметров вибропривода.

Исследуются выражения динамических характеристик виброприводов  $M\psi = f(t)$ ,  $M\theta = f(t)$ ,  $M\beta = f(t)$  для шести вариантов схем пространственного вибропривода на режимах равномерного и неравномерного вращения выходного элемента привода, при постоянном и переменном моменте сопротивления на рабочем органе.

В наиболее общем случае момент сопротивления на инструменте выражается, как  $M\psi = M_0 + k \cdot \psi$  или  $M\beta = M_0 + k\beta$ .

Допуская, также, что угловые скорости вращения приводных двигателей постоянны, после дифференцирования, упрощения и линеаризации уравнений движения получим упрощенное уравнение движения системы для принятых допущений:

$$a\ddot{x} + 4\lambda^2 k \dot{x} + 4\lambda^2 c x = 0,125\nu(3\dot{\theta}^2 + 2\dot{\gamma}\dot{\theta} - \dot{\gamma}^2) \sin 2(\varphi - \varphi_1) - 0,125(\dot{\gamma} - \dot{\theta})^2 \lambda^{-1} \sin \varphi - 2\lambda(M_0 + k\dot{\gamma} + c\varphi_0).$$

Выражения для динамических вращающих моментов на инструменте  $M\psi$ ,  $M\beta$  и относительных угловых перемещений, скоростей и ускорений рабочего органа  $X$ ,  $\dot{X}$ ,  $\ddot{X}$  тогда будут:

$$\begin{aligned} M\psi = & a(\dot{\gamma} - \dot{\theta})^2 a_5 \lambda^{-3} [A \cos 2(\varphi - \varphi_1) + B \sin 2(\varphi - \varphi_1) + \\ & + a(\dot{\gamma} - \dot{\theta})^2 a_{125} \lambda^{-3} [C \cos \varphi + D \sin \varphi] + 2\lambda k \{ (\dot{\gamma} - \\ & - \dot{\theta}) \lambda^{-1} [A \sin 2(\varphi - \varphi_1) - B \cos 2(\varphi - \varphi_1)] + (\dot{\gamma} + \dot{\theta}) a_5 \lambda^{-1} [C \sin \varphi - \\ & - D \cos \varphi] \} + 2\lambda c [-A \cos 2(\varphi - \varphi_1) - B \sin 2(\varphi - \varphi_1) - C \cos \varphi + D \sin \varphi] \\ & + (3\dot{\theta}^2 + 2\dot{\gamma}\dot{\theta} - \dot{\gamma}^2) a_{125} \lambda^{-1} \nu \sin(\varphi - \varphi_1) - (\dot{\gamma} - \dot{\theta})^2 a_{125} \lambda^{-2} \sin \varphi, \\ X = & A \cos 2(\varphi - \varphi_1) + B \sin 2(\varphi - \varphi_1) + C \cos \varphi - D \sin \varphi, \end{aligned}$$

где

$$A = \frac{-4\lambda^2 \kappa \cdot a^{-1} (\dot{\gamma} - \dot{\theta}) \cdot \lambda^2 + 0,125 (3\dot{\theta}^2 + 2\dot{\gamma}\dot{\theta} - \dot{\gamma}^2) \nu}{[4\lambda^2 \kappa \cdot a^{-1} (\dot{\gamma} - \dot{\theta})^2 \lambda^{-2}]^2 + 16\lambda^4 \kappa^2 a^2 (\dot{\gamma} - \dot{\theta})^2 \lambda^{-2}};$$

$$B = \frac{[4\lambda^2 \kappa \cdot a^{-1} (\dot{\gamma} - \dot{\theta}) \cdot \lambda^{-1}] [3\dot{\theta}^2 + 2\dot{\gamma}\dot{\theta} - \dot{\gamma}^2] \cdot 0,125 \nu}{[4\lambda^2 \kappa \cdot a^{-1} (\dot{\gamma} - \dot{\theta})^2 \lambda^{-2}]^2 + 16\lambda^4 \kappa^2 a^2 (\dot{\gamma} - \dot{\theta})^2 \lambda^{-2}},$$

где С, Д - коэффициенты, зависящие от параметров привода, аналогичные коэффициенту А.

Подсчитав с помощью ЭЦМ "Минск-22" для нескольких конкретных вариантов численных параметров ПОИ при изменении К выражения выходных динамических моментов и угловых перемещений, скоростей и ускорений рабочего органа всех исследуемых схем пространственных виброприводов, получим, что с достаточной для инженерных расчетов точностью значения  $M_{\psi}$ ,  $M_{\beta}$  можно рассчитывать по простым зависимостям на режиме постоянства угловой скорости рабочего органа. Значения  $X$ ,  $X$ ,  $X$  можно подсчитывать по зависимостям, учитывающим постоянство момента сопротивления на рабочем органе, при  $K = 0$ , с ошибкой не превышающей 14 % (рис.4).

В работе отмечено, что выходной динамический момент ПОИ схем с неуравновешенным грузом имеет две гармоники вращающего момента  $M_1$  и  $M_2$  с частотами  $\varphi$  и  $2\varphi$ ; выходной динамический момент схем ПОИ с уравновешенным грузом имеет частоту  $2\varphi$ .

Для схем ПОИ с неуравновешенным грузом оптимизирован фазовый угол между центрами масс грузов сателлита  $\varphi_0$  (рис.2). Найдено, что при

$$\cos 2\varphi_0 = -3(R^4 + 9z^2 e^2)^{-0,5} e_1 z$$

и

$$m_2 e_2^2 = 0,166 z^{-1} m_1 e_1 (R^4 + 9z^2 e^2)^{0,5}$$

соотношение амплитуды положительной части импульса динамического момента и его отрицательной части максимально и равно двум.

Такое увеличение амплитуды динамического момента при движении рабочего органа в сторону технологического воздействия по сравнению с обратным относительным перемещением способствует, как отмечает ряд исследователей, дальнейшему повышению производительности рабочего процесса (рис.5).

Для проектирования ПОИ предложены номограммы параметров  $\gamma, \theta, \nu$  для различных величин амплитуд динамического вращающего момента схемы I ПОИ.

В третьей главе исследования определены реакции в кинематических парах рассматриваемых схем ПОИ в двухпоточном приводе рабочей машины на режимах с постоянной и переменной угловой скоростью рабочего органа; постоянного и переменного сопротивления на инструменте.

Расчетами на ЭВМ "Минск-22" показано, что реакции в кинематических парах ПОИ можно подсчитывать с достаточной для инженерных расчетов точностью на режиме с постоянной угловой скоростью рабочего органа с ошибкой не превышающей 2,1 %.

Для схемы I ПОИ с неуравновешенным грузом реакции в кинематических парах на этом режиме найдутся из системы:

$$\left. \begin{aligned} X_A - X_B &= M_0 \ddot{x} + m_1 \ddot{x}_1 + m_2 (\ddot{x}_2 + \ddot{x}_2); \\ Y_A + Y_B - Y_0 &= M_0 \ddot{y} + m_1 \ddot{y}_1 + m_2 (\ddot{y}_2 + \ddot{y}_2); \\ -Z_A + Z_B + Z_0 &= m_1 \ddot{z}_1 + m_2 (\ddot{z}_2 + \ddot{z}_2); \\ M_{X_1} + e(Y_B - Y_A) &= m_1 (y_1 \ddot{z}_1 - z_1 \ddot{y}_1) + m_2 (y_2 \ddot{z}_2 - z_2 \ddot{y}_2 + \bar{y}_2 \ddot{z}_2 - \bar{z}_2 \ddot{y}_2) - J \cdot \ddot{\varphi}; \\ (X_A + X_B) e &= m_1 (z_1 \ddot{x}_1 - x_1 \ddot{z}_1) + m_2 (z_2 \ddot{x}_2 - x_2 \ddot{z}_2 + \bar{z}_2 \ddot{x}_2 - \bar{x}_2 \ddot{z}_2) + J \cdot \ddot{\varphi}; \\ M_Z &= m_1 (x_1 \ddot{y}_1 - y_1 \ddot{x}_1) + m_2 (x_2 \ddot{y}_2 - y_2 \ddot{x}_2 + \bar{x}_2 \ddot{y}_2 - \bar{y}_2 \ddot{x}_2) + 0,5 J \cdot \ddot{\beta}. \end{aligned} \right\}$$

Подставляя в систему проекции координат центров масс сателлита, продифференцированные дважды, получим

$$\begin{aligned} X_A &= -0,5 m_1 e \sin \varphi \{ [(\omega_1 + \omega_2) 0,5]^2 + [(\omega_1 - \omega_2) 0,5 \lambda^{-1}]^2 \} - \\ &\quad - 0,5 m_1 e^2 e^{-1} \sin \varphi \cdot \cos \varphi [(\omega_1 + \omega_2) 0,5]^2 - \\ &\quad - m_2 e_2^2 e^{-1} \sin(\varphi - \varphi_0) \cos(\varphi - \varphi_0) [(\omega_1 - \omega_2) 0,5 \lambda^{-1}]^2; \\ X_B &= 0,5 m_2 e_2 \sin \varphi \{ [(\omega_1 + \omega_2) 0,5]^2 + [(\omega_1 - \omega_2) 0,5 \lambda^{-1}]^2 \} - \\ &\quad - 0,5 m_2 e_2^2 e^{-1} \sin \varphi \cdot \cos \varphi [(\omega_1 + \omega_2) 0,5]^2 - \\ &\quad - m_2 e_2^2 e^{-1} \sin(\varphi - \varphi_0) \cos(\varphi - \varphi_0) [(\omega_1 + \omega_2) 0,5]^2. \end{aligned}$$

Для определения остальных реакций в механизме достаточно задаться конкретным видом зубчатого зацепления, тогда выражения  $X_A$  и  $X_B$  служат для определения всех реакций схемы:

$$Z_A = k_1 X_A; \quad Y_A = n_1 X_A; \quad Z_B = k_1 X_B; \quad Y_B = n_1 X_B.$$

Коэффициенты  $N_1$  и  $K_1$  зависят от вида зубчатого зацепления в ПОИ.

Подсчитанные для конкретных параметров ПОИ в виброприводе рабочей машины нагрузки на ось сателлита ПОИ, выполненного по схеме I, представлены на рис.6.

Аналогичным образом определены и реакции в кинематических парах других разновидностей исследуемых ПОИ.

Показано, что ПОИ, выполненные по схемам I,3 могут создавать установочное регулируемое осевое динамическое воздействие полигармонического характера, что дает возможность широкого варьирования как амплитуды, так и частоты рабочего инструмента, использующего осевые усилия, например, сверла.

В исследовании отмечено, что наименьшей нагруженностью в кинематических парах обладают ПОИ с уравновешенными сателлитами и что схема 3 ПОИ наиболее нагружена из всех исследуемых схем пространственных виброприводов.

В данной главе для схем ПОИ с уравновешенным грузом, выполненным в виде сектора найден оптимальный центральный угол  $2\alpha$  равный  $90^\circ$ , при котором этими схемами ПОИ создается максимальный динамический вращающий момент.

Произведено сравнение при одинаковых радиальных габаритах, метрических и динамических параметрах величин динамических моментов, создаваемых ПОИ и схемами плоских импульсаторов типа Хоббса и Чальмерса. Динамический вращающий момент, создаваемый ПОИ в 0,85 - 4,6 раза больше моментов схем Чальмерса и Хоббса при  $\lambda = 1 - 4$ .

В четвертой главе для оценки корректности сделанных допущений и определения перспективности применения ПОИ в виброприводе рабочей машины на основании рекомендаций, обоснованных в теоретической части работы, автором был спроектирован и испытан в производственных условиях Коелгинского мраморного карьера (Челябинская область) пространственный ортогональный инерционный импульсатор двух схем в приводе рабочей фрезы базовой серийной камнерезной машины СМ-177А.

При выполнении экспериментальных исследований решались следующие основные задачи:

1. Исследование динамических характеристик импульсатора на характерных режимах работы камнерезной машины.

2. Оценка перспективности использования и работоспособности пространственного импульсатора в виброприводе камнерезной машины.

Для проведения экспериментальных исследований динамической нагруженности ПОИ были выбраны методы электрических измерений неэлектрических величин. При проведении экспериментальных исследований нагруженности замерялись и регистрировались параметры:

1. Растягивающие и изгибающие усилия тензометрической оси вращения грузового звена.

2. Выходной динамический вращающий момент, создаваемый на инструменте пространственным импульсатором.

При тензометрировании использовалась следующая аппаратура и приборы:

1. Концевой токосъемник типа РАТ-12.

2. Тензоусилители типа "Топаз" и "УТ-4".

3. Шлейфовый осциллограф Н-700.

Тензометрирование проводилось для двух вариантов схем ПОИ - с уравновешенным и неуравновешенным грузовыми звеньями на режимах:

1. Фреза свободно вращается в резе.

2. Фреза жестко закреплена (режим соответствует максимальным нагрузкам в приводе).

3. На рабочих режимах резания мрамора со скоростью подачи инструмента от 3 до 5 м/час.

Анализ результатов тензометрирования показал:

1. Достаточно хорошую сходимость значений усилий в основных элементах ПОИ исследуемых схем с результатами теоретических расчетов (рис. 6 и 7) на всех исследуемых режимах. Разхождение величин нагрузок при этом не превышало  $5 \pm 18$  %.

2. Результаты экспериментальных исследований подтверждают корректность сделанных в теоретической части работы допущений.

Для оценки перспективности применения и работоспособности пространственного вибропривода в камнерезной машине регистриро-

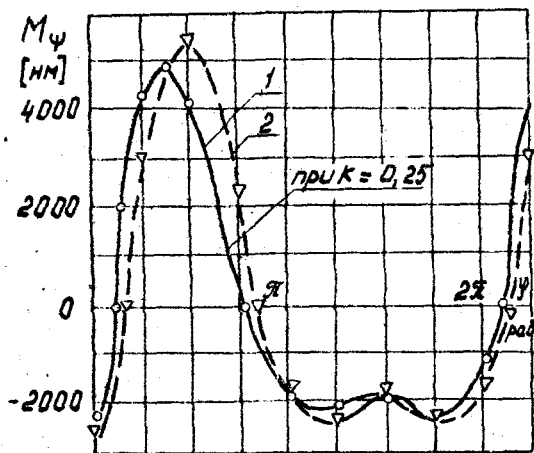


Рис. 4. Выходной динамический момент  
1- с учетом вязкого трения,  
2- без учета вязкого трения

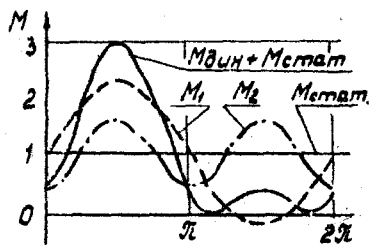


Рис. 5. Динамический вращающийся момент на рабочем органе машины

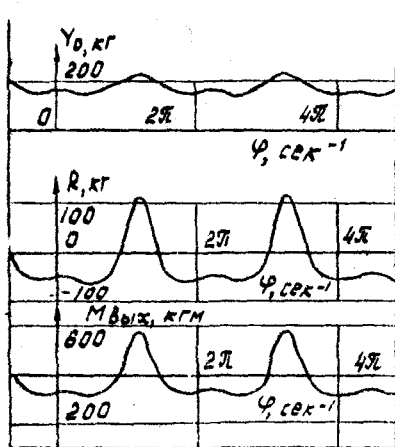


Рис. 6. Теоретические кривые изменения  $Y_0, R, M_{\text{вых}}$  при  $\omega_2 = 75 \text{ сек}^{-1}$

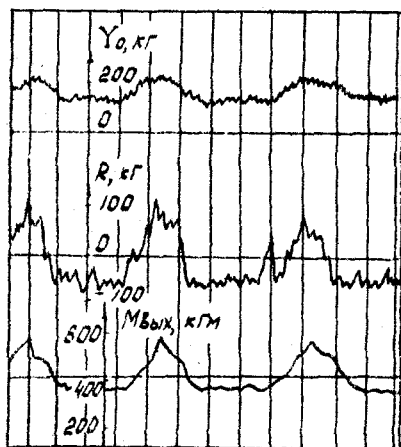


Рис. 7. Фрагмент осциллограммы параметров  $Y_0, R, M_{\text{вых}}$  для  $\omega_2 = 75 \text{ сек}^{-1}$  и подаче 5 м/ч

вались следующие параметры экспериментальной установки:

1. Изменение мощности основного электродвигателя, обеспечивающего переносное технологическое движение инструмента самопишущим ваттметром Н-348.

2. Изменение мощности приводного двигателя импульсатора.

3. Изменение тягового усилия подачи инструмента.

При работе пространственного вибропривода зарегистрировано устойчивое уменьшение удельной энергоемкости процесса резания.

За счет этого, при условии сохранения мощности основного привода на прежнем уровне, возможно увеличение скорости резания мрамора до 5 м/час.

Загрузка двигателя пространственного импульсатора в 2,1 раза ниже соответствующей плоского полигармонического импульсатора для "стопового" режима, характерного максимальной нагруженностью элементов импульсатора, что подтверждает более высокий КПД ПОИ.

При экспериментальных исследованиях зарегистрировано уменьшение тягового усилия подачи при динамическом резании по сравнению со статическим в 1,1 - 1,5 раза.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований сделаны следующие общие выводы:

1. Анализ применения ИИМ в силовых виброприводах показал необходимость и возможность дальнейшего совершенствования и исследования новых структурных схем импульсаторов, обладающих широкими динамическими возможностями (амплитудно-частотные характеристики, регулируемое осевое динамическое воздействие и др.).

2. Для реализации этой возможности автором разработан ряд новых структурных схем инерционного импульсатора со сферическим движением грузового звена.

3. Разработаны методы динамического расчета ПОИ для виброприводов рабочих машин с двумя потоками мощности.

4. Предложена и обоснована упрощенная методика расчета шести схем ПОИ для двухпоточных виброприводов рабочих машин с точностью, достаточной для инженерных расчетов.

5. Создана новая конструкция ПОИ для вибропривода серийной камнерезной машины "СМ-177А", испытания которой в производственных условиях показали принципиальную работоспособность и перспективность применения данного механизма.

6. В результате проведенных экспериментальных исследований ПОИ получена удовлетворительная сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований, подтверждающая корректность сделанных допущений.

7. При экспериментальных исследованиях отмечено устойчивое снижение удельной энергоемкости процесса резания, что способствует повышению производительности камнерезной машины.

8. Отмечено снижение тягового усилия подачи при динамическом резании мрамора в 1,1 - 1,5 раза по сравнению со статическим резанием.

Перспективными объектами применения пространственных ортогональных импульсаторов на наш взгляд следует считать:

1. Машину для инерционной сварки трением.

2. Рабочие машины, использующие в технологическом процессе знакопеременные динамические усилия (сверло, хон, фреза, бур и др.).

3. Динамические стенды, служащие для ускоренных испытаний на прочность, долговечность, усталость деталей и узлов машин и имитации нагрузочных режимов.

4. Пространственные соединительные динамические муфты инерционного действия.

Основными задачами ближайших перспективных исследований можно считать:

1. Исследование изменения удельной энергоемкости, производительности и долговечности для ПОИ в приводах рабочих машин при динамическом резании в комплексе с исследуемым условием работы инструмента.

2. Исследование динамики других возможных структурных схем пространственных инерционных импульсаторов в различных технологических машинах.

3. Уточнение предлагаемой методики исследования динамики ПОИ с учетом вида и динамических характеристик приводного двигателя.



4. Исследование влияния жесткости упругих элементов на динамические характеристики привода и эффективность технологических процессов в рабочих машинах.

5. Исследование динамики ПИИ при сложном пространственном движении ведомого звена машины.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах автора:

1. Исследование пространственного инерционного импульсатора для виброрезания горных пород. - В сб.: Машиноведение, № 142. Челябинск, ЧПИ, 1974.

2. О возможности повышения производительности камнерезных машин (в соавторстве). - В сб.: Машиноведение, № 125, Челябинск, ЧПИ, 1973.

3. Исследование полигармонического пространственного инерционного импульсатора (в соавторстве). - В Трудах 1 Всесоюзной научно-технической конференции по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам. Челябинск, ЧПИ, 1972.

4. Оценка влияния параметров инерционных полигармонических импульсаторов (в соавторстве), там же.

5. О некоторых особенностях пространственных инерционных импульсаторов (в соавторстве), там же.

6. Исследование некоторых вопросов динамики пространственного инерционного импульсатора в двухпоточном приводе рабочей машины. В Тезисах У Всесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью, Одесса, 1976.

7. Исследование инерционного вращателя (в соавторстве). - В сб.: Машиноведение, № 142. Челябинск, ЧПИ, 1974.

8. О возможности применения инерционно-импульсных механизмов в динамических испытательных стендах (в соавторстве). В Тезисах У Всесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью, Одесса, 1976.

9. Исследование нагруженности некоторых схем планетарных инерционных импульсаторов с дополнительными сателлитами (в соавторстве). В Тезисах 1У Всесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью. Одесса, 1972.

10. Исследование автоматического инерционно-импульсного вращателя для виброрезания горных пород (в соавторстве). В Тезисах докладов 1 научно-технической конференции молодых ученых Урала. Свердловск, 1972.

11. Исследование режимов работы горной машины с импульсным приводом (в соавторстве). - В сб.: Выбор и эксплуатация тяговых и несущих органов горных шахтных установок. Магнитогорск, МГМИ, 1973.

12. Обоснование и область применения импульсного привода (в соавторстве). - В сб.: Выбор и эксплуатация тяговых и несущих органов горных шахтных установок. Магнитогорск, МГМИ, 1973.

13. Исследование инерционно-импульсного привода камнерезного инструмента (в соавторстве). - В сб.: Машиноведение, № 142. Челябинск, ЧПИ, 1974.

14. Инерционно-импульсный привод камнерезного инструмента. Авт. свид. № 423658. - Бюллетень изобретений, 1974, № 14.

15. Вибропривод сверлильного станка (в соавторстве). Авт. свид. № 474403. - Бюллетень изобретений, 1975, № 23.

16. Инерционный импульсатор (в соавторстве). Авт. свид. № 466258. - Бюллетень изобретений, 1975, № 13.

17. Устройство для интенсификации процесса резания. Положительное решение ГК СМ СССР по делам изобретений и открытий по заявке № 1922395 (в соавторстве).

18. Полигармонический инерционный импульсатор (в соавторстве). Авт. свид. № 456939. - Бюллетень изобретений, 1975, № 2.

19. Камнерезная машина (в соавторстве). Авт. свид. № 417302. - Бюллетень изобретений, 1974, № 8.

20. Инерционно-импульсный привод камнерезного инструмента (в соавторстве). Авт. свид. № 417301. - Бюллетень изобретений, 1974, № 8.