

51
043
На правах рукописи

Министерство высшего и среднего специального
образования С С С Р

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

СКРЕЩОВ Анатолий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ ДИНАМИКИ
ИНЕРЦИОННОГО ТРАНСФОРМАТОРА ВРАЩАЮЩЕГО
МОМЕНТА, РАБОТАЮЩЕГО С ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТ -
РЕННЕГО СТОРАНИЯ

(специальность 05.05.03 -
"Автомобили и тракторы")

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Челябинск, 1974

ИПИ
9 113-548/-524 (043)



На правах рукописи

Министерство высшего и среднего специального
образования С С С Р

Челябинский политехнический институт

имени Ленинского комсомола

СКРЕЩОВ Анатолий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ ДИНАМИКИ
ИНЕРЦИОННОГО ТРАНСФОРМАТОРА ВРАЩАЮЩЕГО
МОМЕНТА, РАБОТАЮЩЕГО С ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТ -
РЕННЕГО СТОРАНИЯ

(специальность 05.05.03 -

"Автомобили и тракторы")

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Челябинский
политехнический институт
БИБЛИОТЕКА

Челябинск, 1974

Работа выполнена на кафедре "Гусеничные машины" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научные руководители - доктор технических наук, профессор

Балхи М.Ф.

кандидат технических наук, доцент

Злотник И.И.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор

Благонаравов А.А.,

кандидат технических наук, доцент

Драгунов Г.Д.

Ведущее предприятие - Волгоградский тракторный завод имени

Ф.Э.Дзержинского.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1974 г.

Защита диссертации состоится " 18 " апреля 1974 г., в 15 часов, на заседании Совета по присуждению учебных степеней машиностроительных факультетов Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола (г. Челябинск, проспект им. В.И. Ленина, 76, аудитория 244).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Совета или прислать отзывы в двух экземплярах, заверенных печатью, учёному секретарю Совета по адресу: 454044, г. Челябинск, 44, проспект им. В.И. Ленина, 76.

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

ДОЦЕНТ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК


А.А. ДАНИЛОВ

Работа выполнена на кафедре "Гусеничные машины" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научные руководители - доктор технических наук, профессор

Балжи М.Ф.

кандидат технических наук, доцент

Злотник М.И.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор

Благонравов А.А.,

кандидат технических наук, доцент

Драгунов Г.Д.

Ведущее предприятие - Волгоградский тракторный завод имени Ф.Э.Дзержинского.

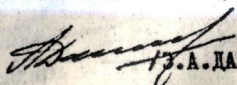
Автореферат разослан " _____ " _____ 1974 г.

Защита диссертации состоится " 18 " апреля 1974 г., в 15 часов, на заседании Совета по присуждению учёных степеней машиностроительных факультетов Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола (г.Челябинск, проспект им.В.И.Ленина, 76, аудитория 244).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Совета или прислать отзывы в двух экземплярах, заверенных печатью, учёному секретарю Совета по адресу: 454044, г.Челябинск, 44, проспект им.В.И.Ленина, 76.

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

ДОЦЕНТ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК  В.А.ДАММЕР/

В решениях XXIV съезда и программе КПСС подчёркивается, что главной экономической задачей партии и народа является создание материально-технической базы коммунизма. Успешное решение этой задачи немислимо без комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Применение в транспортных машинах бесступенчатых передач является одним из наиболее эффективных средств повышения производительности труда.

Академик Чудаков Е.А. писал, что применение бесступенчатой передачи на автомобиле (при прочих равных условиях) улучшает динамические качества автомобиля при одновременном снижении расхода топлива на $\sim 40\%$. Применение бесступенчатого привода в металлорежущих станках увеличивает их производительность на $25 + 50\%$. Целесообразность применения бесступенчатых передач в транспортных машинах обоснована в целом ряде работ Антонова А.С., Айзермана М.А., Балхи М.Ф., Благодравова А.А., Дик А.И., Куликова Н.К., Липгарта А.А., Лапидуса В.Н., Лебедева С.И., Мальцева В.Ф., Петрова В.А. и других авторов.

В общем машиностроении известно три вида бесступенчатых передач: электрические, гидравлические (статические и динамические) и механические.

В настоящей работе рассматриваются только автоматические механические импульсные передачи инерционного типа. В последнее время появилось значительное количество фундаментальных работ, посвящённых вопросам исследования инерционных трансформаторов вращающего момента (ИТМ). К ним следует отнести исследования Балхи М.Ф., Благодравова А.А., Васина Г.Г., Леонова А.И., Мальцева В.Ф., Полецкого А.Т., коллектива кафедры "Гусеничные машины" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола и ряда других. В этих работах исследуется, в основном, сам трансформатор, его внутренние процессы, различные схемы импульсаторов и выпрямителей. Вопрос же о совместной работе двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и ИТМ изучен в настоящее время недостаточно. Однако окончательное заключение о возможности и целесообразности применения ИТМ в качестве бесступенчатой передачи для транспортной машины нельзя сделать без изучения взаимодействия двух импульсных механизмов: ДВС и ИТМ.

На актуальность применения ИТМ в машинах указывается также в решениях IV Всесоюзной научно-технической конференции по вариантам и передачам гибкой связью (Одесса, сентябрь 1972) и I Все-

союзной научно-технической конференции по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам (Челябинск, октябрь 1972).

Комплексное исследование совместной работы ДВС и ИТВМ предусматривает решение следующих основных вопросов:

- влияние ИТВМ на ДВС при различных режимах работы ИТВМ и постоянной за цикл угловой скорости вращения вала двигателя;
- влияние структуры импульсного механизма и его параметров на неравномерность вращения вала двигателя ;
- выбор момента инерции ведущих элементов системы ДВС-ИТВМ, обеспечивающих заданную степень неравномерности вращения вала двигателя σ_{\max} ;
- определение принципиальных отличий дифференциальных уравнений ИТВМ и системы ДВС-ИТВМ и метод их решения ;
- исследование переходных режимов в системе ДВС-ИТВМ ;
- учёт крутильной жёсткости в системе ДВС-ИТВМ ;
- исследование возможности введения специальной упругой связи между ДВС- и ИТВМ ;
- выявление резонансных зон в системе ДВС-ИТВМ ;
- влияние ИТВМ на протекание рабочих процессов в ДВС и т.д.

Из всех перечисленных актуальных нерешённых вопросов в задачи настоящей работы вошли следующие:

1. Исследование в общем виде для всех гармонических импульсаторов влияния ИТВМ на ДВС при различных режимах работы ИТВМ и средних значениях за рабочий цикл вращающего момента двигателя.

2. Исследование в общем виде взаимодействия ДВС-ИТВМ на различных режимах работы ИТВМ с учётом текущих значений вращающего момента двигателя.

3. Исследование влияния структуры импульсного механизма и его параметров на неравномерность вращения вала двигателя.

4. Определение моментов инерции ведущих элементов системы ДВС-ИТВМ, обеспечивающих заданную степень неравномерности вращения вала двигателя.

5. Выбор схемы импульсного механизма ИТВМ в качестве объекта экспериментальных исследований.

6. Экспериментальная проверка основных положений, разработанных в теоретической части диссертации.

В настоящей работе рассматриваются ИТВМ только с планетарными импульсными механизмами, у которых протекание инерционного момента наиболее близко совпадает с синусоидой, что выгодно отличает

их (в смысле нагруженности отдельных узлов) от других типов импульсаторов.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗВЕНЬЕВ ИТВМ

Дифференциальные уравнения движения звеньев ИТВМ в общем виде, без учёта потерь на трение и упругости звеньев механизма, для различных схем трансформаторов, в случае применения гармонических импульсаторов имеют следующий вид:

$$\begin{cases} A\ddot{\theta} + B\dot{\psi} - \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial \psi} i_1 (\dot{\theta} - \dot{\psi})^2 + \frac{\partial B}{\partial \psi} \dot{\psi}^2 = M_{\theta}^{\circ} \\ B\ddot{\theta} + C\ddot{\psi} - \frac{\partial B}{\partial \psi} \dot{\theta}^2 = -M_{\psi}^{\circ} \end{cases}, (1)$$

где:

$$A = J_M + m_i e^2 + (1 - i_1)^2 J_A + 2m_i e h (1 - i_1) \cos \varphi$$

$$B = (1 - i_1) \cdot i_1 J_A + m_i e h i_1 \cos \varphi$$

$$C = J_2 + J_3 + J_A i_1^2$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial \psi} i_1 = -m_i e h i_1 (1 - i_1) \sin \varphi$$

$$\frac{\partial B}{\partial \psi} = -m_i e h i_1 \sin \varphi$$

- $i_1 = \text{const}$ - передаточная функция импульсного механизма, зависящая от схемы импульсатора ;
- M_{θ}° - средний вращающий момент двигателя за цикл работы передачи ;
- M_{ψ}° - момент сопротивления на выходном валу трансформатора ;
- J_M - момент инерции маховых масс ведущего звена системы ДВС-ИТВМ ;
- J_2 - момент инерции реактора ;
- J_3 - приведенный к выходному валу ИТВМ момент инерции ведомого звена передачи ;
- J_A - момент инерции грузового звена относительно своей оси ;

- m_i - масса грузовых звеньев ;
 e - межцентровое расстояние ИТВМ ;
 h - расстояние центра тяжести грузового звена до оси вращения ;
 φ - угол поворота грузового звена относительно своей оси.

По нашему мнению, одним из основных параметров, характеризующих совместную работу ДВС и ИТВМ, является неравномерность вращения вала двигателя. Исследование влияния на неравномерность вращения ДВС импульсного механизма ИТВМ при средних значениях за рабочий цикл вращающего момента двигателя производится путём решения системы уравнений (I) для обобщённой схемы различных импульсаторов (рис. 1).

Система (I) представляет собой нелинейные дифференциальные уравнения второго порядка с переменными коэффициентами и правой частью.

Решение системы (I) ведётся на ЭЦМ численным методом по периодам. Характер движения звеньев ИТВМ по периодам приведены на рис.2.

Исследование совместной работы ДВС и ИТВМ проводилось на установившихся режимах, получаемых (при заданном $M_{\psi}^0 = const$) либо путём изменения передаточного отношения ИТВМ " i " при работе по внешней характеристике ДВС, либо при $i = const$ переходом на частичные характеристики двигателя.

Условиями установившегося движения системы ДВС-ИТВМ при любом заданном $M_{\psi}^0 = const$ являются :

$$T_{\psi 2} = T_{\psi 1} ; \quad \theta_{ср 2} = \theta_{ср 1} ; \quad M_{\theta}^0 = i M_{\psi}^0 \quad , \quad (2)$$

где $T_{\psi 1}$; $T_{\psi 2}$ и $\theta_{ср 1}$; $\theta_{ср 2}$ - соответственно время цикла и средняя за цикл угловая скорость вращения ведущих элементов системы ДВС-ИТВМ в предыдущем и последующем цикле работы ИТВМ.

Для решения системы (I) введена операция поиска установившегося режима :

$$t = \int_{\psi_{\text{начало II периода}}}^{\psi_{\text{конец II периода}}} \frac{T_3 \cdot i}{M_{\theta}^0} d\psi \quad , \quad (3)$$

где :
 t - время выбега ведомых элементов ИТВМ (см.рис.2) ;
 ψ - угловая скорость вращения вала реактора (или ведомых элементов ИТВМ на периоде совместного движения с валом реактора).

Полученное из выражения (3) значение " t " сравнивается с суммой $t_1 + t_4 - t_2$ (см. рис. 2).

Если $t > t_1 + t_4 - t_2$, то следует выбирать $i < i_1$ первоначального

Если $t < t_1 + t_4 - t_2$, то следует выбирать $i > i_1$ первоначального

Расчёт ведётся до совпадения $t = t_1 + t_4 - t_2$ с любой заданной точностью.

Угловую скорость вращения ведущих элементов системы ДВС-ИТВМ $\dot{\theta}$ можно найти численным методом путём интегрирования системы (I). Однако большой интерес представляет получение выражения для аналитического определения $\dot{\theta}$. Интегрирование системы (I) численным методом для конкретных схем гармонических импульсаторов показало, что максимальная неравномерность вращения ведущих элементов системы ДВС-ИТВМ на установившемся режиме имеет место при $i = 0$.

Учитывая, что режим $i = 0$ одновременно определяет и максимальную нагруженность ИТВМ, выбираем названный режим за расчётный при аналитическом определении $\dot{\theta}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ И НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВЕДУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДВС - ИТВМ.

Дифференциальное уравнение движения системы ДВС-ИТВМ в общем виде для всех гармонических импульсаторов на режиме $i = 0$ записывается в виде:

$$J_{\theta} \ddot{\theta} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial J_{\theta}}{\partial \theta} \dot{\theta}^2 = M_{\theta}^0 - M_{\psi}^0 \quad (4)$$

где: J_{θ} - суммарный момент инерции ведущих элементов системы ДВС-ИТВМ,

$$J_{\theta} = J_{Mg} + J_{M_{ин}} + J_{прг} \quad (5)$$

где: J_{Mg} - момент инерции вращающихся частей двигателя, приведённых к ведущему валу системы ДВС-ИТВМ;

$J_{M_{ин}}$ - момент инерции вращающихся элементов импульсного механизма ИТВМ, приведённых к ведущему валу системы ДВС-ИТВМ;

$J_{прг}$ - момент инерции грузовых звеньев, приведённый к ведущему валу системы ДВС - ИТВМ,

$$J_{прг} = (1 + \alpha)^2 (\beta^2 m_i e^2 + J_A + 2\beta m_i e h \cos \alpha \theta) \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показал, что его структура одинакова для различных схем планетарных импульсаторов. Отличие состоит только в значениях коэффициентов " α " и " β ".

Таблица I

№ п/п	Схема импульсатора	α	β
<u>Импульсаторы Хоббса</u>			
1.	а) ведущее звено - водило, ведомое - солнце	λ	$\frac{1}{1+\lambda}$
	б) ведущее звено - водило, ведомое - эпицикл	$-\lambda$	$\frac{1}{1-\lambda}$
<u>Импульсаторы Чальмерса</u>			
2.	а) ведущее звено - солнце, ведомое - водило	$\lambda-1$	0
	б) ведущее звено - эпицикл, ведомое - водило	$-\frac{1}{1+\lambda}$	0
<u>Импульсаторы Левина</u>			
3.	а) ведущее звено - эпицикл, ведомое - солнце	$\frac{\lambda}{2}$	$\frac{1}{1+\lambda}$
	б) ведущее звено - солнце, ведомое - эпицикл	$\frac{\lambda-2}{2}$	$-\frac{1}{1+\lambda}$

Принтегрировав выражение (4) по углу поворота θ ведущего вала системы и учитывая, что изменение кинетической энергии за цикл установившейся работы ИТМ равно нулю, получим выражение для определения угловой скорости вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТМ :

$$\dot{\theta}^2 = \frac{J_0}{J_0} \dot{\theta}_0^2 + \frac{2}{J_0} \int M_\theta d\theta, \quad (7)$$

где $\dot{\theta}_0$ - угловая скорость вращения в начальный момент времени;

J_0 - момент инерции ведущих элементов системы ДВС - ИТМ в начальный момент времени ;

M_θ - текущее значение вращающего момента двигателя.

Максимальное и минимальное отклонение скорости от первоначаль-

ной будет соответственно :

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_{max}^2 &\leq \frac{J_0 \dot{\theta}_0^2}{J_{\theta min}} + \frac{2M_{\theta max} \cdot \theta}{J_{\theta min}} ; \\ \dot{\theta}_{min}^2 &\geq \frac{J_0 \dot{\theta}_0^2}{J_{\theta max}} + \frac{2M_{\theta min} \cdot \theta}{J_{\theta min}} , \end{aligned} \quad (8)$$

где: $J_{\theta min}$, $J_{\theta max}$ - соответственно минимальный и максимальный момент инерции ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ ;

$M_{\theta max}$, $M_{\theta min}$ - соответственно максимальные и минимальные амплитудные значения текущего момента двигателя.

Неравномерность вращения ведущих элементов системы ДВС-ИТВМ определяется известным выражением:

$$\delta = \frac{\dot{\theta}_{max}^2 - \dot{\theta}_{min}^2}{2\dot{\theta}_{ср.0}^2} \quad (9)$$

Подставив в формулу (9) значения $\dot{\theta}_{max}$ и $\dot{\theta}_{min}$, полученных из неравенств (8) без последних членов, найдём выражение для определения неравномерности вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ обусловленное действием только ИТВМ :

$$\delta = \frac{B_0}{A_0} \quad (10)$$

где:

$$\begin{aligned} A_0 &= J_{mg} + J_{мин} + (1+a)^2 \delta^2 m_i e^2 + (1+a)^2 J_A ; \\ B_0 &= 2(1+a)^2 \delta m_i e h ; \\ J_{\theta} &= A_0 + B_0 \cos \alpha \theta ; \quad J_0 = A_0 + B_0 . \end{aligned}$$

Таким образом, неравномерность вращения ведущего вала системы ДВС - ИТВМ, обусловленная действием только импульсного механизма ИТВМ, зависит от параметров системы и определяется отношением максимальной величины переменной составляющей момента инерции всей системы к её постоянной составляющей и справедливо для всех гармонических импульсаторов.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИТВМ НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ВЕДУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДВС-ИТВМ

Исследование выражения (10) на экстремум в общем виде показало, что данная функция $\delta = f(A_0, B_0)$ не имеет выраженного экстремума и либо возрастает с увеличением " B_0 " и уменьшением " A_0 ",

либо убывает с уменьшением " β_0 " и увеличением " β_0 ". Отсюда вытекает, что минимальные и максимальные значения указанной функции следует искать исходя из граничных условий, т.е. на концах интервала, где эта функция имеет смысл.

Для определения граничных условий рассмотрим влияние на величину δ параметров грузовых звеньев (I) (рис. 3) и параметров импульсного механизма (II) (рис. 1).

В работе показано, что δ_{min} обеспечивается при следующих параметрах:

$$I. \quad \alpha_{1min} \approx 0,4; \alpha_{2max} \approx 0,6; \alpha_{3min} \approx 1,0$$

$$\beta_{1max} \approx 0,45; \beta_{2min} \approx 1,0; \beta_{3max} \approx 2,0 \quad (11)$$

$$II. \quad \alpha_{min} \approx 45^\circ$$

$$J_{минmax}; J_{дmax}; e_{max}; k_{min}; K_{1min}, \quad (12)$$

где

$$K_1 = \frac{\pi \beta (1 + \alpha)^2}{4 \cdot \theta^2} M_{имч}^0$$

$M_{имч}^0$ - средний инерционный момент, действующий на реактор.

При этом необходимо иметь ввиду, чтобы параметры импульсатора обеспечивали получение заданной характеристики.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ИТВМ С ДВС

Для теоретического исследования влияния взаимодействия ДВС и ИТВМ на неравномерность вращения ведущих элементов системы необходимо предварительно отразить переменный характер протекания вращающего момента двигателя, который входит в правую часть первого уравнения системы (I) и уравнения (7). Для получения зависимости $M_\theta = f(\theta)$ необходимо располагать либо экспериментальными, либо теоретическими индикаторными диаграммами, т.е. зависимостью $P_r = f(\theta)$. Для расчёта теоретических индикаторных диаграмм был использован метод уточнённого расчёта рабочего цикла ДВС, предложенный проф. Вибе И.И., который учитывает изменение давления и температуры газов по углу поворота коленчатого вала в течение процесса сгорания, значения максимального давления цикла P_{rmax} и скорости нарастания давления, а также влияние на показатели рабочего цикла угла опережения воспламенения топлива.

Для теоретического расчёта $M_\theta = f(\theta)$ по экспериментальным ин-

дикаторным диаграммам сначала определяются (путём обработки этих диаграмм) показатель сгорания и продолжительность сгорания. Эти параметры используются для теоретического расчёта $P_r = f(\theta)$ с последующим определением зависимости $M_\theta = f(\theta)$. Таким образом, используя указанную методику, можно получить теоретические индикаторные диаграммы для различных оборотов и нагрузочных режимов работы двигателя.

Анализ рассчитанных диаграмм показал, что для заданного нагрузочного режима изменение оборотов оказывает незначительное (не более 3%) влияние (с учётом угла опережения воспламенения) на $P_{r \max}$, а изменение нагрузочного режима при неизменных оборотах двигателя оказывает существенное влияние на протекание индикаторной диаграммы. Поэтому при исследовании установившейся работы системы ДВС-ИТВМ на расчётном режиме достаточно рассчитать одну индикаторную диаграмму, независимо от оборотов двигателя. Для теоретического определения установившегося режима работы системы ДВС - ИТВМ (при заданном $M_\psi = const$) необходимо иметь спектр зависимостей $M_\theta = f(\theta)$. Рассчитанный спектр $P_r = f(\theta)$ был использован для нахождения (с помощью ЭЦМ) спектра $M_\theta = f(\theta)$.

Таким образом, для любой точки диапазона работы ДВС можно получить кривую $M_\theta = f(\theta)$, текущие значения которой подставляются в правую часть первого уравнения системы (I) или уравнения (7). Решение дифференциальных уравнений (I) с $M_\theta = const$ и $M_\theta = f(\theta)$ показали, что при $i = const$ значения и характер протекания скорости вращения ведущего вала системы ДВС-ИТВМ в первом и втором случаях практически не отличаются, что подтверждает теоретические выводы о том, что основное влияние на колебание $\dot{\theta}$ оказывает ИТВМ. Что касается ускорений, то они отличаются значительно и при расчётах на прочность, крутильные колебания и т.д. необходимо учитывать переменный характер протекания момента ДВС.

Из анализа характера движения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ было установлено, что колебание угловой скорости ведущего вала в гармонических импульсных механизмах происходит не относительно начальной скорости $\dot{\theta}_0$, принимаемой исследователями за расчётную при проектировании импульсной передачи, а относительно некоторой средней скорости $\dot{\theta}_{ср.з}$, абсолютная величина которой больше или меньше начальной $\dot{\theta}_0$ и зависит от схем импульсатора и режима работы передачи, т.е. от "i" (рис. 4). Схемы импульсаторов, которые увеличивают $\dot{\theta}$ в положительной фазе цикла, яв-

ляются предпочтительной схем, в которых происходит уменьшение θ , так как при одинаковых создаваемых инерционных моментах позволяют уменьшить массу грузовых звеньев и снизить динамические нагрузки в системе ДВС - ИТВМ.

В работе показано, что неравномерность вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ определяется по выражению

$$\delta = \frac{\dot{\theta}_{2, \max}^2 - \dot{\theta}_{2, \min}^2}{2\dot{\theta}_{ср.0}^2} \cdot K_{д.ч.}, \quad (13)$$

где $K_{д.ч.}$ - коэффициент динамической цикличности, учитывающий режим работы ИТВМ.

$$K_{д.ч.} = \frac{\dot{\theta}_{eim} - \dot{\theta}_{ср.х}}{\dot{\theta}_{eim} - \dot{\theta}_{ср.0}}, \quad (14)$$

$\dot{\theta}_{eim}$ - предельное значение угловой скорости вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ ;

$\dot{\theta}_{ср.х}$ - действительное значение средней угловой скорости вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ ;

$\dot{\theta}_{ср.0}$ - среднееарифметическое значение угловой скорости вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ .

Расчёт δ по известной формуле (9) без учёта $K_{д.ч.}$ даёт существенное отличие от действительной неравномерности. На рис. 5 приведён график зависимости $\delta = f(i)$ полученный по выражению (13).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ВЕДУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДВС - ИТВМ

Задача расчёта маховых масс ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ состоит в определении их момента инерции, обеспечивающих заданную степень неравномерности вращения вала двигателя. На основании проведённого теоретического исследования была разработана методика инженерного расчёта маховых масс ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ. Момент инерции маховых масс ведущего звена системы ДВС - ИТВМ, определяемый через параметры системы, будет

$$J_M = \frac{B_0}{\delta} - A_2, \quad (15)$$

где:

$$J_M = J_{Mg} + J_{мин}; \quad A_2 = A_0 - J_M$$

Приведённый расчёт маховых масс ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ является приближённым, так как не учитывает влияния ДВС, и может быть использован при проектировочных расчётах, так как выше было показано, что переменный характер протекания вращающего момента двигателя не оказывает существенного влияния на неравномерность вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ.

Для определения маховых масс без каких-либо упрощающих задачу предположений о законе движения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ, нами был использован метод проф. Витенбауэра, Петля Витенбауэра является замкнутой, так как передача работает циклически, и строится по выражению (7), но в уравнении вместо J_0 подставляется $J_{02} = A_2 + B_0$, а вместо J_θ : $J_{\theta 2} = A_2 + B_0 \cos \alpha \theta$.

К построенной кривой в координатах "X" и "Y" проводятся касательные под соответствующими углами " β_{min} " и " β_{max} ", которые определяются по выражениям:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta_{min} &= \frac{K_x}{K_y} (1 - \delta) \dot{\theta}_{cp}^2, \\ \operatorname{tg} \beta_{max} &= \frac{K_x}{K_y} (1 + \delta) \dot{\theta}_{cp}^2, \end{aligned} \quad (16)$$

где K_x , K_y - соответственно масштаб по оси "X" и "Y".

Продлив касательные до пересечения, получим новое начало координат на плоскости кривой, при этом абсциссой " X_0 " относительно начала координат определяется суммарный момент инерции ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ.

$$J_\theta = X_0 \cdot K_x \quad (17)$$

Момент инерции маховых масс системы ДВС - ИТВМ определится по выражению

$$J_M = J_\theta - J_{\theta 2} \quad (18)$$

При инженерных расчётах момента инерции маховых масс ведущих элементов J_M системы ДВС - ИТВМ желательно иметь такое выражение для J_M , куда бы непосредственно входили технические данные на проектирование передачи:

- N_N - номинальная передаваемая мощность [л.с.] ;
 - $D = \frac{M_{i=0}}{M_{i=1}}$ - диапазон трансформации момента ;
 - n_N - номинальные обороты [об/мин] ;
 - $\lambda = \frac{P}{\xi}$ - конструктивный параметр импульсатора (см.рис. 1).
- Выразив A_2 и B_0 через технические данные на проектирование

передачи получим выражение для инженерного расчёта момента инерции маховых масс ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ

$$J_M = \frac{N_N \cdot D}{\pi^3} \left(\frac{1}{\delta} - K_2^0 \right) \cdot K_1^0 \quad [\text{кгмсек}^2], \quad (19)$$

где

$$\left. \begin{aligned} K_1^0 &= 5,2 \cdot 10^5 \frac{(1+\alpha)^2 \delta}{\lambda} \\ K_2^0 &= \frac{198^2 (1+\lambda)^2 \cdot 0,9}{9,4048 (1+\lambda)} \end{aligned} \right\} \cdot \text{коэффициенты} \quad (20)$$

Для конкретной системы ДВС - ИТВМ изменение оборотов выбранного двигателя (при $i = \text{const}$) не оказывает существенного влияния на неравномерность вращения ведущих элементов (рис. 7). Но из выражения (19) следует, что

$$\delta = \frac{N_N \cdot D \cdot K_1^0}{J_M \pi^3 + N_N D K_1^0 K_2^0}, \quad (21)$$

т.е. δ зависит от оборотов двигателя. Поэтому при проектировании системы ДВС - ИТВМ, для получения минимальной неравномерности вращения ведущих элементов системы необходимо выбирать высокооборотные двигатели.

Расчёт момента инерции ведущих элементов исследуемой системы ДВС - ИТВМ, обеспечивающих заданную степень неравномерности вращения вала двигателя приведён на рис. 6, из которого следует, что J_{θ} в первом случае (кривая А) \sim в 1,8 раза больше, чем в случае работы ДВС на холостом ходу с механической ступенчатой трансмиссией (М.С.Т.) (кривая В). Это превышение J_{θ} по сравнению с М.С.Т. является неотъемлемым свойством ИТВМ, так как получается автоматически и заложено в самой конструкции этих передач.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ИТВМ С ДВС

Для проверки основных теоретических положений необходимо было провести экспериментальные исследования, для чего из множества схем гармонических импульсаторов необходимо было выбрать в качестве объекта исследований одну, наиболее полно отвечающую требованиям к бесступенчатой передаче для транспортной машины. Анализ подвергались схемы ИТВМ, перечисленные в таблице № I, обладающие наиболее широким диапазоном выбора конструктивных параметров при их проектировании. Анализ схем проводился из условия равенства инерционного момента, угловой скорости и габаритов передачи по следующим критериям:

1. Воздействия импульсного механизма на двигатель.
2. Нагруженности импульсного механизма.
3. Цикличности импульсных механизмов.
4. Возможности выхода ИТВМ на режим динамической муфты.

Результаты анализа приводятся в работе. Анализ показал, что из всех рассмотренных схем наиболее предпочтительной по компактности, простоте конструкции и технологичности в изготовлении является ИТВМ, выполненный по схеме Хоббса. Учитывая результаты анализа, а также то, что ИТВМ с импульсатором Хоббса оказывает наибольшее воздействие на двигатель, в качестве объекта экспериментальных исследований нами был выбран ИТВМ с импульсатором Хоббса.

Цель эксперимента - проверка основных разработанных теоретических положений, а также проверка корректности принятых допущений при математическом описании совместной работы системы ДВС - ИТВМ.

Сложность и разнообразие явлений, сопровождающих процессы, о которых говорилось выше, потребовали разработки специальной методики экспериментальных исследований и создания ряда устройств, предусматривающих осуществление этой методики.

Задачами экспериментальных исследований являлись :

1. Определение мгновенных значений суммарного вращающего момента на ведущем валу системы ДВС - ИТВМ в течение цикла при различных нагрузочных режимах работы ИТВМ и оборотах двигателя.
2. Определение влияния смещения начальных фаз трансформации на величину и характер протекания суммарного вращающего момента, действующего на ведущие элементы системы ДВС - ИТВМ.
3. Получение закона изменения угловой скорости и неравномерности вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ на различных режимах работы.
4. Определение влияния параметров ведущих элементов на неравномерность вращения системы ДВС - ИТВМ.

При выборе метода экспериментального исследования предпочтение было отдано электрическим методам измерения неэлектрических величин. Методика замера характеристик передачи была выбрана в соответствии с поставленными задачами и приводится в работе. В заключительной части методики приведена оценка погрешностей измерения каждой величины.

Для проведения экспериментальных исследований был спроектирован и изготовлен специальный силовой стенд, состоящий из двигателя внутреннего сгорания ЗМЗ-21 "Волга", трансформатора автомобиля М-21 "Волга" и тормоза типа Прони. В работе дано описание стендовой установки, а также обосновано применение нагрузочного устройства.

В процессе эксперимента записывались следующие величины:

- 1) обороты и неравномерность вращения ведущего вала системы ДВС - ИТВМ ;
- 2) закон изменения угловой скорости ведущего вала системы ДВС - ИТВМ ;
- 3) суммарный вращающий момент системы ДВС - ИТВМ, действующий на ведущий вал ;
- 4) момент на выходе из ИТВМ ;
- 5) обороты на выходе из ИТВМ ;
- 6) индикаторная диаграмма двигателя ;
- 7) фазы цикла работы двигателя и трансформатора.

В работе дано обоснование применения тех или иных датчиков и токосъемных устройств и, кроме того, их описание, принципиальные электрические схемы измерений. В качестве усилительной аппаратуры применялись усилители 8АНЧ - 7М и ИД-2И, регистрирующей - осциллограф К-105. Запись производилась на фотобумагу со скоростью транспортировки от 10 до 2000 мм в секунду. Отметка времени осуществлялась штатным отметчиком времени. Всего было обработано порядка 50 режимов, т.е. \sim 2000 циклов работы ИТВМ.

Наряду с установившимися режимами были записаны и переходные режимы, которые не обрабатывались, а служили наглядной картиной для выявления закономерностей, имеющих место при совместной работе ДВС - ИТВМ. В работе приведено большое количество фрагментов осциллограмм с записью характерных процессов. Обработка осциллограмм осуществлялась с повышенной точностью на специальной машине, спроектированной и изготовленной Волгоградским тракторным заводом совместно с Новосибирской АН СССР с последующей расшифровкой на ЭЦВМ "Минск-22", где в качестве исходных данных служили перфоленты, полученные на указанной машине. В работе дано описание установки для обработки бумажных диаграмм.

Экспериментальные данные позволили получить достаточно полное представление о всех основных процессах, происходящих при

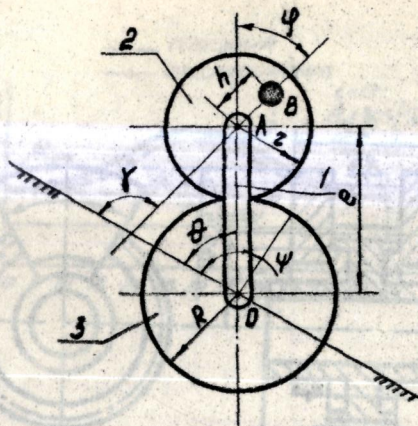


Рис. 1. Обобщённая схема гармонического импульсного механизма:

1 - двигатель (или реактор) ; 2 - грузовое звено; 3 - реактор (или двигатель).

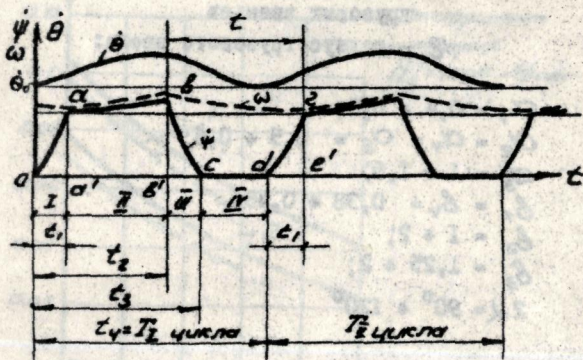


Рис. 2. График движения звеньев ИТВМ по периодам:

I ; II ; III ; IV - периоды цикла работы ИТВМ.

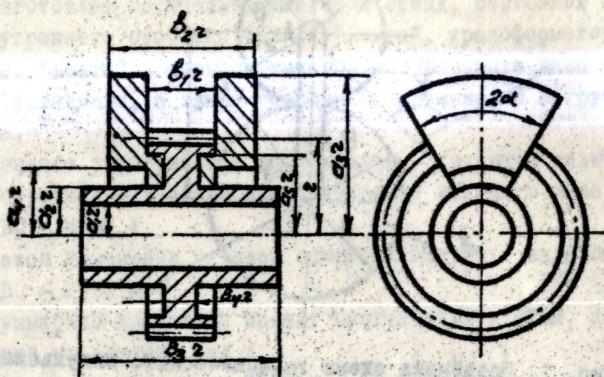


Рис. 3. Рациональные соотношения параметров
грузовых звеньев
 \mathcal{Z} - радиус грузового звена:

$$\alpha_1 = 0,4 + 0,5;$$

$$\alpha_2 = \alpha_4 = \alpha_5 = 0,5 + 0,6;$$

$$\alpha_3 = 1 + 1,5;$$

$$\beta_1 = \beta_4 = 0,38 + 0,45;$$

$$\beta_2 = 1 + 2;$$

$$\beta_3 = 1,25 + 2;$$

$$2\alpha = 90^\circ + 120^\circ$$

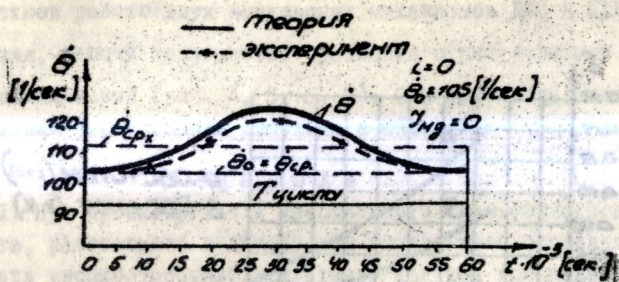


Рис. 4. График зависимости $\Theta = f(t)$

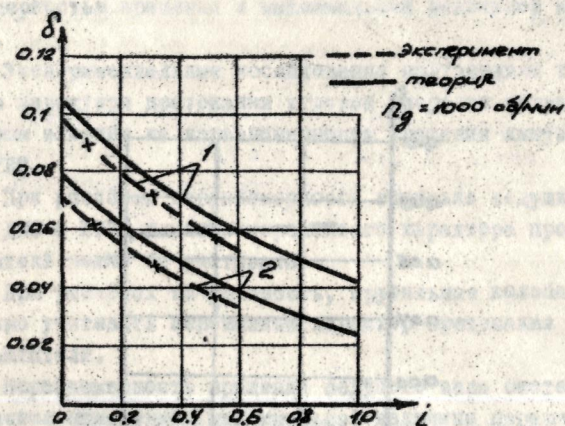


Рис. 5. График зависимости $\delta = f(l)$:

1 - $\mathcal{J}_\theta = 4,57$ [кгсмсек²];

2 - $\mathcal{J}_\theta = 6,45$ [кгсмсек²]

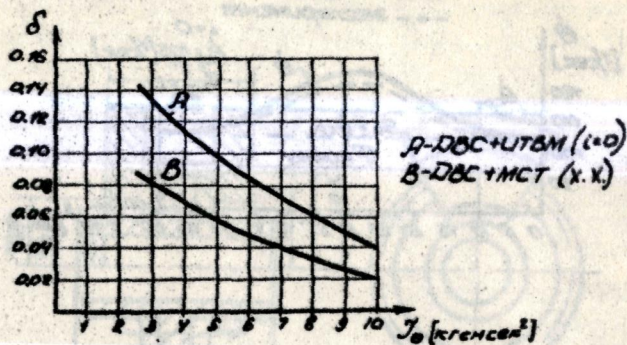


Рис. 6. График зависимости $\delta = f(J_0)$.

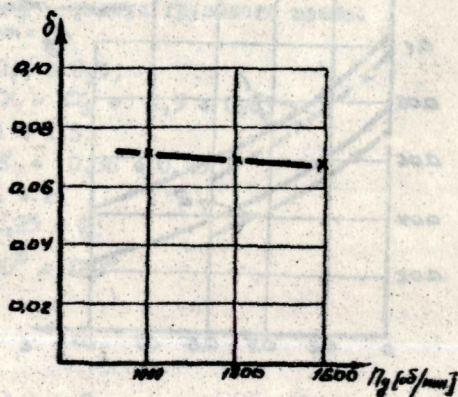


Рис. 7. Экспериментальная зависимость $\delta = f(n_g)$:

$i = 0$; $J_0 = 6,45$ кгмсек²

совместной работе двух импульсных механизмов ДВС и ИТВМ. Получен материал, дающий возможность сравнения с результатами теоретических исследований (рис. 4, 5, 6, 7). Основные результаты экспериментальных исследований изложены в выводах.

В Ы В О Д Ы

1. При проектировании инерционного трансформатора вращающего момента, работающего с двигателем внутреннего сгорания, необходимо выбирать высокооборотный двигатель, так как при передаче одной и той же мощности, неравномерность вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ будет тем меньше, чем больше будут обороты двигателя.

2. При расчёте неравномерности вращения на различных режимах работы ИТВМ необходимо учитывать коэффициент динамической цикличности $K_{з.ц}$.

3. При проектировании ИТВМ за расчётный режим следует принимать режим при $\dot{\omega} = 0$, так как он характеризуется максимальной неравномерностью вращения и максимальной величиной инерционного момента.

4. Экспериментальные исследования подтвердили теоретические выводы о характере протекания угловой скорости ведущих элементов и основном влиянии на неравномерность вращения импульсного механизма ИТВМ.

5. При расчётах неравномерности вращения ведущих элементов системы ДВС и ИТВМ влияние переменного характера протекания момента двигателя можно не учитывать.

6. При расчётах на прочность, крутильные колебания и т.д. необходимо учитывать переменный характер протекания вращающего момента двигателя.

7. Неравномерность вращения ведущего вала системы ДВС - ИТВМ определяется отношением максимальной величины переменной составляющей момента инерции всей системы к её постоянной составляющей.

8. Коэффициенты неравномерности вращения ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ, определённые экспериментально оказались меньше определённых теоретически на 5 + 7%.

9. Для получения одной и той же неравномерности вращения вала двигателя, момент инерции ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ должны быть в $\sim 1,8$ раза больше, чем для системы ДВС - механическая ступенчатая передача.

10. Для инженерных расчётов получено выражение (19) для определения момента инерции ведущих элементов системы ДВС - ИТВМ, обеспечивающих заданную степень неравномерности вращения.

11. Экспериментальные исследования подтвердили основные положения, разработанные в теоретической части диссертации.

Основные положения диссертации изложены в следующих печатных работах :

1. К вопросу о теоретическом исследовании совместной работы двигателя внутреннего сгорания и инерционной передачи. Сб. научных трудов "Автомобили, тракторы и двигатели", № 103, ЧПИ, 1972.

2. К вопросу о взаимном влиянии двигателя внутреннего сгорания и инерционной передачи (в соавторстве). Материалы XXIII научно - технической конференции ЧПИ, 1970.

3. Некоторые вопросы динамики совместной работы ДВС с инерционным трансформатором момента (в соавторстве). Тезисы докладов I Всесоюзной научно-технической конференции по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам, Челябинск, 1972.

4. Исследование некоторых вопросов динамики инерционного трансформатора момента при работе его с ДВС (в соавторстве) . Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью, Одесса, 1972.

5. К вопросу о совместной работе двигателя внутреннего сгорания и инерционной передачи (в соавторстве). Сб. научных трудов "Вопросы улучшения динамических характеристик машин" № 77, ЧПИ, 1970.

По основным разделам диссертационной работы было сделано 8 докладов :

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

2. На XXIII, XXIV, XXVI научно - технических конференциях ЧПИ, Челябинск, 1970 - 1973.

3. На заседании секции НТО Машпрома Курганского машино - строительного завода, 1971.

4. На заседании кафедры "Автомобили и тракторы" Курганского машиностроительного института, 1971.

5. На заседании секции НТО Машпрома Волгоградского тракторного завода, 1974.