

2043)

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
С С С Р

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

ЛИВШИЦ Виктор Абрамович

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПРИВОДОВ ПОСТОЯННОЙ  
СКОРОСТИ

(Специальность 05.02.02 - "Машиноведение и  
детали машин")

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Челябинск  
1978

ЧПИ

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

Научный руководитель - доктор технических наук  
А.А. Благонравов.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
М.Л. Ерихов (г.Курган);  
кандидат технических наук, доцент  
В.В. Леванидов (г.Челябинск).

Ведущее предприятие - Челябинский тракторный завод  
имени В.И. Ленина.

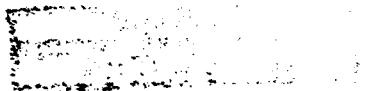
Автореферат разослан 26 января 1978 г.

Защита диссертации состоится 1 марта 1978 г., в "15" часов, на заседании специализированного совета К053.13.02 по присуждению ученой степени кандидата технических наук Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола (г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 244).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института. Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании специализированного совета или прислать свои отзывы в двух экземплярах, заверенных печатью, по адресу: 454044, Челябинск, проспект имени В.И. Ленина, 76, специализированный совет К053.13.02.

Ученый секретарь  
специализированного совета -  
кандидат технических наук,  
доцент

(А.И. ВАРАНКИН)



**АКТУАЛЬНОСТЬ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ.** В решениях XXV съезда КПСС большое внимание уделено развитию и совершенствованию машиностроения, которое является основой для укрепления экономической и оборонной мощи нашей страны. При этом подчёркивается, что одним из условий успешного развития машиностроения является разработка и быстрое внедрение новых эффективных технических решений.

Современные самолёты, транспортные машины, корабли оснащены значительным количеством агрегатов и специального оборудования (генераторами электрического тока, питающими бортовую сеть, и т.п.) нормальная работа которых возможна только при постоянной частоте их вращения. Большинство этих агрегатов получает энергию от главного двигателя машины, изменяющего частоту своего вращения в широких пределах. Поэтому для передачи энергии к агрегатам и специальному оборудованию используются приводы постоянной скорости (ППС), обеспечивающие неизменность частоты вращения агрегатов при колебаниях частоты вращения приводного двигателя.

Создание совершенного, экономичного ППС является одной из важных и сложных задач дальнейшего развития машиностроения и совершенствования выпускаемых машин. При этом, если в авиационном, где используются газотурбинные двигатели, эта проблема практически решена применением гидравлических и пневматических ППС, то в транспортном машиностроении, судостроении и других областях, использующих двигатели внутреннего сгорания (ДВС), имеющие более широкий диапазон изменения частот вращения, она остаётся весьма актуальной.

Одним из перспективных направлений решения проблемы создания ППС, работающих с ДВС, является разработка импульсных приводов постоянной скорости (ИППС), состоящих из импульсной регулируемой передачи (ИРП) и системы автоматического регулирования (САР) частоты вращения, которые обеспечивают требуемый диапазон регулирования передаточных отношений при небольших габаритных, весовых показателях и высоком коэффициенте полезного действия.

В настоящее время практически отсутствует опыт создания ИППС как единого агрегата, хотя имеется значительное количество работ по проектированию отдельных схем ИРП и САР частоты вращения. В связи с этим возникает необходимость в разработке основ рационального проектирования ИППС, работающих с ДВС, учитывающих специфика-

ческие условия работы ИРП и САР частоты вращения в рассматриваемых агрегатах.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА.** В работе применён единый формализованный подход к исследованию ИППС, основанный на использовании разработанной обобщенной динамической модели ИРП, описывающей работу всех возможных схем передач с эксцентриковыми преобразователями, механическими выпрямителями и планетарным сумматором (с ЭМП), которая позволяет систематизировать множество ИРП, проанализировать их работоспособность, нагруженность и статические характеристики.

Определены области существования работоспособных схем ИРП с ЭМП, исследованы закономерности изменения диапазона регулирования передаточных отношений и цикличности работы выпрямителей в рассматриваемых передачах; дана оценка нагруженности узлов, лимитирующих долговечность ИРП; проанализированы влияние параметров и схемы на нагруженность передач и пути её снижения на режимах, характерных для работы ИППС с ДВС.

Разработаны основы рационального проектирования (методики выбора схемы, параметров, методов снижения нагруженности и т.д.) ИРП для ИППС, работающих с ДВС; доказаны принципиальная работоспособность ИППС и соответствие их характеристик предъявляемым технико-эксплуатационным требованиям.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ.** Выделены пригодные для ИППС, работающие с ДВС, схемы ИРП и определены рациональные значения параметров, обеспечивающие наименьшую нагруженность передач. Рекомендации выработанные в работе, частично использованы ОКБ Волгоградского тракторного завода имени Ф.Э.Дзержинского при доработке опытных образцов ИППС транспортной машины и реализованы ОКБ Курганского машиностроительного завода при разработке ИРП различного назначения для транспортных машин с экономическим эффектом 150 тыс. рублей в год.

**АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.** Основные положения диссертации доложены:

- на XXVIII - XXX научно-технических конференциях ЧПИ (1975 - 1977 г.г.);
- на I научно-технической конференции молодых учёных и специалистов Челябинского политехнического института, Челябинск, 1977 г.;
- на II научно-технической конференции молодых учёных и специалистов Горьковского политехнического института имени А.А.Жданова, посвящённой 60-летию Великого Октября, Горький, 1977 г.;
- на II Всесоюзной научной конференции по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам, Челябинск, 1977 г.;

- на заседании кафедры "Гусеничные машины" ЧПИ, Челябинск, 1976 г.

**ПУБЛИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Основные положения диссертации опубликованы в 8 статьях, получено одно положительное решение Госкомитета по делам изобретений и открытий на выдачу авторского свидетельства.

**ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертационная работа с таблицами и рисунками изложена на 177 страницах основного текста и состоит из введения, четырех глав и общих выводов. Библиография содержит 134 наименования работ. Приложение представлено на 15 страницах.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ "Состояние вопроса и задачи исследования" проведен литературно-критический обзор существующих конструкций и выполненных исследований ИРП и САР частоты вращения.

Анализируются достоинства и недостатки различных вариантов конструктивного выполнения основных узлов ИРП (преобразователей, выпрямителей и сумматоров), рассматриваются наиболее часто применяемые в ППС схемы САР частоты вращения. На основе проведенного анализа выделены предпочтительные для использования в ИППС, работающих с ДВС, семейство ИРП с ЭМП и центробежно-гидравлические САР частоты вращения.

В работах по исследованию ИРП и САР достаточно полно рассмотрены вопросы анализа и синтеза выпрямителей различных типов, изучены кинематика и динамика отдельных схем ИРП, работающих с электродвигателями, приводятся методы анализа и синтеза САР различного назначения, в том числе и САР частоты вращения, аналогичных выделенным для использования в ИППС.

Однако в известной нам литературе отсутствуют рекомендации по выбору рациональных схем и параметров ИРП различного назначения, так как сравнительный анализ всех конструктивно возможных схем таких передач не проводился и общие закономерности изменения кинематических и силовых характеристик передач не исследовались. Мало изучены возможности снижения динамических нагрузок, возникающих в ИРП, и отсутствуют практические рекомендации по выбору и реализации рациональных путей уменьшения нагруженности передач. Выработанные в литературе рекомендации по проектированию ИРП не учитывают специфики условий их работы в ИППС, передающих мощность от ДВС, которая позволяет использовать при теоретическом исследовании ИППС следующие допущения:

1. Рабочий агрегат получает энергию от источника очень большой мощности.

2. Частота вращения двигателя не зависит от режима работы и мощности, передаваемых ИППС, и на стационарных режимах передвижения машины может быть принята постоянной.

3. Внешним возмущающим воздействием в САР ИППС является изменение частоты вращения ведущего вала ИРП.

На основании проведенного в данной главе анализа в диссертационной работе сформулированы следующие основные задачи:

1. Разработать обобщенную динамическую модель ИРП.

2. Исследовать влияние схемы и параметров ИРП с ЭМП на её работоспособность \*).

3. Исследовать основные закономерности изменения характеристик ИРП с ЭМП в зависимости от её схемы и параметров.

4. Исследовать влияние схемы и параметров ИРП с ЭМП на нагруженность её элементов и проанализировать возможные пути снижения нагрузок, возникающих в передаче.

5. Экспериментально проверить адекватность разработанной обобщенной динамической модели реальным физическим процессам.

6. Экспериментально исследовать работоспособность ИППС и соответствие его характеристик основным предъявляемым требованиям.

Решение первых трёх задач излагается во ВТОРОЙ ГЛАВЕ "Анализ работоспособности импульсных регулируемых передач".

Разработанная обобщенная динамическая модель включает в себя обобщенную схему и математическую модель ИРП с ЭМП. При создании обобщенной схемы ИРП с ЭМП (рис.1) используется один из наиболее распространенных приёмов идеализации реальных систем - ограничение количества их степеней свободы некоторым конечным числом. При этом инерционные свойства системы отображаются массами (или моментами инерции), которые сосредоточены в определенных точках (или сечениях), соединенных безинерционными кинематическими связями.

Анализ существующих в ИРП кинематических связей с использованием известных методов определения степени подвижности механизмов

\*) Под работоспособностью понимается принципиальная способность передачи к работе с учётом существующих физических ограничений (незамыкания выпрямителей, самозаклинивания механизма и т.п.). Вопросы, связанные с прочностью, надёжностью и долговечностью передачи, при этом не рассматриваются.

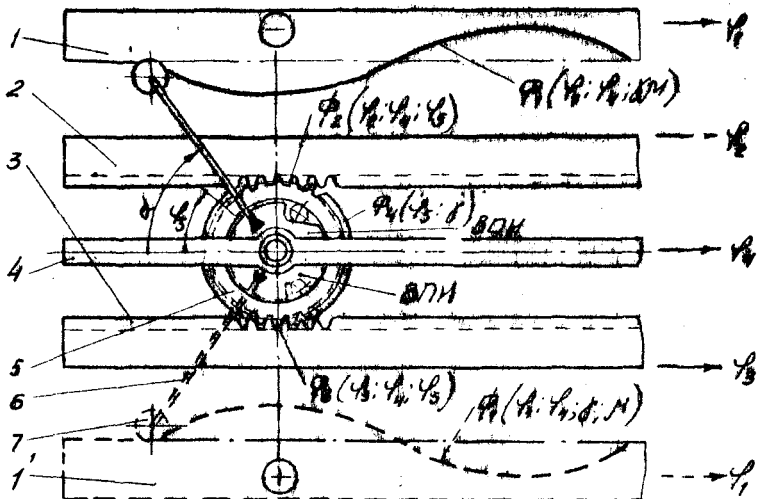


Рис. 1. Обобщенная схема импульсных регулируемых передач с ЭМН:  
 1-пазовый диск; 2и3-центральные колеса; 4-водило; 5-сателлит-выпрямитель; 6-коромысло (промежуточное звено преобразователя); 7-ползушка;  $\varphi$  - кинематические связи; ВОИ (ВПИ)-выпрямитель отрицательного (положительного) импульса

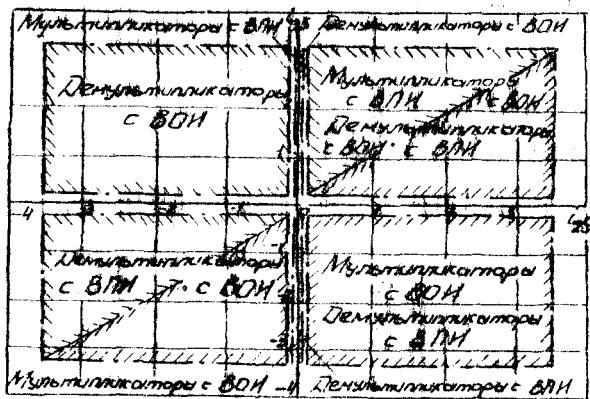


Рис. 2. Область существования работоспособных импульсных регулируемых передач с неподвижным пазовым диском;  
 $\zeta_{3(25)}$  - передаточное отношение ведущий (ведомый) элемент-сателлит

показывает, что ИРП с ЭМП, работающие в ИППС, являются неголономными системами, обладающими двумя степенями свободы в период выбега ведомых масс и одной - при совместном движении. Поэтому для математического описания обобщенной схемы ИРП с ЭМП используются уравнения Лагранжа с неопределенными множителями.

Полученная математическая модель импульсных регулируемых передач с ЭМП, работающих на стационарных режимах, имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 \ddot{\varphi}_1 = Q_{\varphi_1} - 2\mu V [\sin \alpha - \nu \sin(\alpha + \beta)] \lambda \\ A_1 \ddot{\varphi}_4 + A_2 \ddot{\varphi}_5 = Q_{\varphi_4} + 2\mu V [\sin \alpha - \nu \sin(\alpha + \beta)] \lambda \\ A_2 \ddot{\varphi}_4 + A_3 \ddot{\varphi}_5 = Q_{\varphi_5} + 2\nu [\sin \beta - \mu V \sin(\alpha + \beta)] \lambda \\ 1 + \nu^2 + \mu^2 \nu^2 - \beta^2 - \mu V \cos \alpha + 2\mu V \cos(\alpha + \beta) - 2\nu \cos \beta = 0 \\ \varphi_j = 0 \quad (j = 1, 2, 3, 4) \end{array} \right.$$

(1)

$$\begin{aligned} \bullet \text{vtet}_4: \quad \alpha = \varphi_4 - \varphi_1; \quad \alpha_k - \alpha_0 = \frac{2\pi k}{n}; \quad \dot{\varphi}_{jk} = \dot{\varphi}_{j0}; \quad \ddot{\varphi}_{jk} = \ddot{\varphi}_{j0}, \\ (j = 1, 2, 3, 4, 5); \quad \dot{\varphi}_5 = j \dot{\varphi}_t; \quad j > \dot{\varphi}_{5c} \text{ \& } \ddot{\varphi}_5 > 0; \\ \lambda = 0 \quad \text{vt: } j \dot{\varphi}_5 < 0 \vee |j| < |\dot{\varphi}_5| \text{ \& } \ddot{\varphi}_5 > 0; \end{aligned}$$

$$\int_{\varphi_{g0}}^{\varphi_{gk}} M_g d\varphi_g = \int_{\varphi_{c0}}^{\varphi_{ck}} M_c d\varphi_c,$$

где  $A_1 = J_2 + J_3 + J_4 + n(m_5 R_4^2 + J_5)$ ,  $A_2 = J_2 L_{25} + J_3 L_{35} + n J_5$ ,  
 $A_3 = J_2 L_{25}^2 + J_3 L_{35}^2 + n J_5$ ,  $\mu = \frac{e}{h}$ ,  $\nu = \frac{h}{R_4}$ ,  $\beta = \frac{R_1}{R_4}$ .

Здесь  $\varphi_j$ ,  $J_j$ ,  $m_j$ ,  $R_j$  - угол поворота, момент инерции, масса и радиус соответствующего элемента обобщенной схемы;

$e$  - эксцентриситет пазового диска;

$h$  - длина коромысла;

$n$  - число преобразователей (выпрямителей), установленных в ИРП;

$L_{j5}$  - передаточное отношение центральное колесо-сателлит при неподвижном водиле;

$\lambda$  - неопределенный множитель Лагранжа.



Показывается, что предложенная математическая модель может быть легко преобразована для описания работы ИРП любого типа.

На основе обобщенной динамической модели рассматриваются физические ограничения, накладываемые на выбор схемы и параметров конструкции ИРП (условия проворачиваемости и отсутствия самозаклинивания преобразователя; кинематического и силового замыкания выпрямителей; соосности, соседства и сборки сумматора и др), определяются области изменения конструктивных параметров ( $\mu$ ,  $\nu$ ,  $\beta$ ,  $\zeta_{25}$ ,  $\zeta_{35}$ ), где существуют работоспособные схемы ИРП с ЭМП, и режимы работы передач в указанных областях. Пример, иллюстрирующий полученные результаты, приведен на рис. 2.

Исследуется влияние схемы и параметров ИРП на диапазон регулирования передаточных отношений и частоту включения выпрямителей. Примеры полученных зависимостей приведены на рис. 3 и 4.

Проведенные исследования показали, что наиболее полно требованиям, предъявляемым к ИРПС, удовлетворяют ИРП с неподвижным пазовым диском, работающие в режиме мультипликатора.

Поэтому в ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ "Нагруженность импульсных регулируемых передач и пути её снижения" подробно рассматривается только выделенное семейство ИРП, хотя некоторые полученные результаты охватывают более широкий класс передач.

Методом интегральных оценок находится выражение для определения величины максимального динамического момента  $M_{\delta \max}$ , возникающего на ведомой обойме выпрямителя:

$$\frac{M_c}{K_u} < M_{\delta \max} \leq \frac{2M_c}{K_u}, \quad 0 < K_u \leq 1, \quad (2)$$

в котором  $M_c$  - момент сил сопротивления, приведенный к ведомой обойме;

$K_u$  - коэффициент использования времени цикла (отношение продолжительности периода совместного движения к продолжительности цикла).

Из полученного таким же методом неравенства, определяющего величину  $K_u$ , следует, что на нагруженность ИРП влияют следующие параметры: момент сил сопротивления и момент инерции масс, приведенных к ведомому валу передачи; частота вращения ведущего вала передачи; количество установленных преобразователей; первая и вторая передаточные функции преобразователя (аналоги частоты вращения и углового ускорения коромысла); передаточные отношения сумматора.

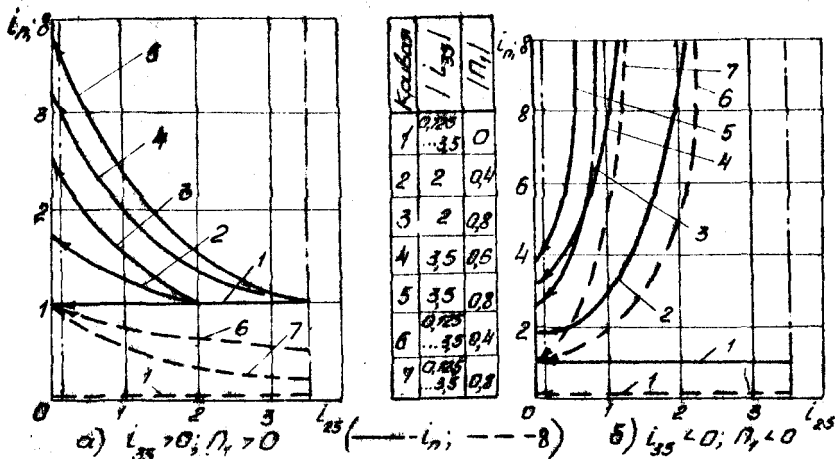


Рис. 3. Изменение передаточного отношения и коэффициента цикличности импульсный мультипликаторов:  
 а) при установке ВПИ; б) при установке ВОИ

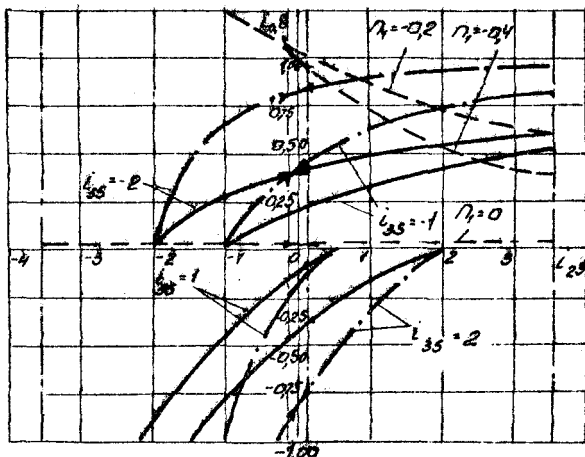


Рис. 4. Изменение передаточного отношения и коэффициента цикличности ИРП с ведущим пазовым диском при установке ВОИ:  
 -  $i_{35}$  ( $\eta = 0,2$ ); - - -  $i_{35}$  ( $\eta = 0,4$ ); - - -  $\eta$  ( $i_{35} = \pm 3, 5 \dots 3; 5$ );  $i_{35}$  ( $\eta = 0$ ) - передаточное отношение ведомый (неподвижный) элемент-сателлит

При рассмотрении закономерностей изменения величины  $K_{ц}$  и нагруженности ИРП наиболее подробно исследуется влияние параметров преобразователя и упругих связей. Исследование проводится численными методами на ЭЦММ М-222 ввиду существенной нелинейности получаемых уравнений. Пример, отражающий характер результатов расчетов, представлен на рис. 5.

Из формулы (2) видно, что наименьшую нагруженность имеет ИРП с  $K_{ц} = 1$ , то есть работающие без выбега ведомых масс. Поэтому на ходятся условия получения  $K_{ц} = 1$ , из которых вытекают следующие основные методы обеспечения работы ИРП без выбега ведомых масс:

1. Создание рабочих агрегатов с переменными моментами инерции и моментом сил сопротивления.
2. Передача движения на ведущий вал передачи через дополнительные устройства, обеспечивающие колебания его частоты вращения.
3. Синтез сумматоров с переменными передаточными отношениями.
4. Синтез преобразователей с переменными параметрами.
5. Введение упругих связей с характеристиками, обеспечивающими выполнение указанных условий.

Определяются законы изменения перечисленных параметров, необходимые для работы ИРП без выбега ведомых масс. Пример полученных зависимостей для четвертого метода приведен на рис. 6. Проведенное исследование показывает, что первый метод не применим в ИППС из-за невозможности конструктивного воплощения выведенных законов; второй и третий — нецелесообразно использовать в ИППС, работающих с ДВС, но можно применять в ИРП небольшой мощности (до Р...3 квт); четвертый метод приемлем для ИППС, работающих с низкооборотными ДВС.

Наиболее целесообразен пятый метод, обеспечивающий работу ИРП без выбега ведомых масс во всём диапазоне регулирования передаточных отношений при установке между ведомым валом передачи и рабочим агрегатом упругой связи с постоянной жёсткостью  $C$ , удовлетворяющей условию:

$$C \leq \frac{J_B n^2 \omega_{гmin}^2}{1 + \frac{J_B}{J_{РА}}}, \quad (3)$$

где  $n$  — число преобразователей;

$J_B$  и  $J_{РА}$  — моменты инерции масс, приведенных к ведомому валу ИРП, и рабочего агрегата;

$\omega_{гmin}$  — минимальная частота вращения ведущего вала ИРП в заданном диапазоне изменения частот вращения ДВС.

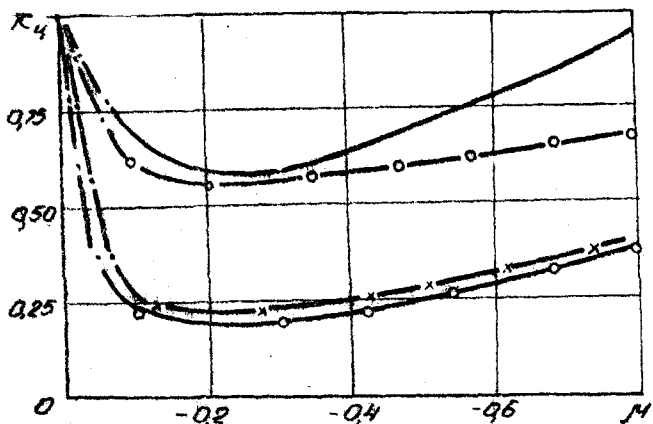


Рис. 5. Изменение коэффициента использования времени цикла машинного агрегата:  
 —х— — ИИПС без упругой связи; —о— — ИИПС с упругой связью; —о— — граничные значения, найденные по разработанной методике для ИИПС без упругой связи

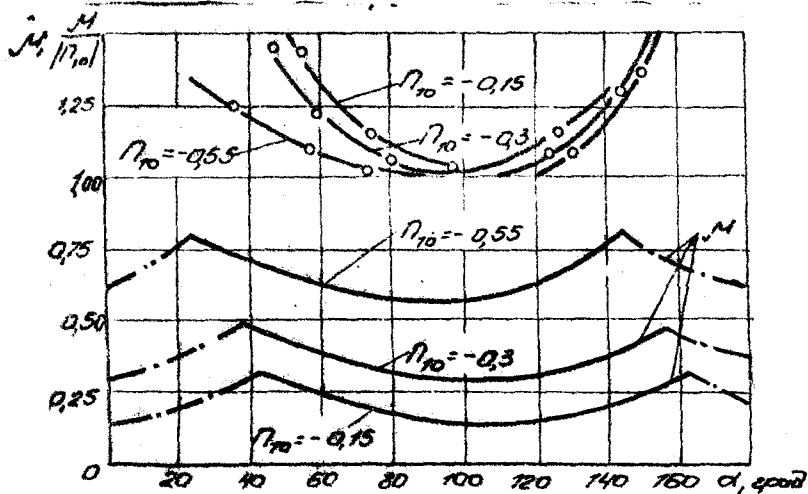


Рис. 6. Изменение относительного эксцентриситета преобразователя обеспечивающего постоянство  $\Pi$ , при использовании отрицательного импульса

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ "Экспериментальное исследование импульсного привода постоянной скорости" приводится методика экспериментальных исследований опытного образца ИИПС транспортной машины, состоящего из ИРП с неподвижным пазовым диском, ведущим водилом и ведомой солнечной шестерней и центробежно-гидравлического регулятора Р-7Е.

Испытания проводились на специальном стенде, включающем в себя приводной электродвигатель постоянного тока, позволяющий изменять частоту вращения ведущего вала ИИПС в диапазоне 0...300 рад/с, исследуемый привод, нагрузочное устройство, состоящее из генератора переменного тока и нагрузочного реостата, и комплекса измерительно-регистрирующей аппаратуры. Исследования были разбиты на два этапа.

На первом этапе исследовались работоспособность и нагруженность ИРП с различными упругими связями и без них на стационарных режимах. Для этого с ИИПС был снят центробежно-гидравлический регулятор; замерялись и регистрировались следующие параметры: частоты вращения и моменты на ведущем и ведомом валах передачи, усилие на тяге механизма регулирования, мощность, поглощаемая нагрузочным устройством.

На втором этапе исследовалась работоспособность ИИПС как единого агрегата и определялось соответствие его характеристик предъявляемым технико-эксплуатационным требованиям. При этом дополнительно замерялось и регистрировалось перемещение регулирующего органа ИРП. До и после каждой серии испытаний проводились натурные тарировки датчиков.

В результате обработки осциллограммы, полученных при проведении испытаний, построены регуляторная характеристика ИРП, графики изменения максимальных нагрузок в передаче, и графики колебания частоты вращения рабочего агрегата при работе ИИПС на стационарных и в переходных режимах. Примерами полученных результатов могут служить зависимости, приведенные на рис. 7 и 8.

Проведенное исследование показало, что расхождение теоретических и экспериментальных данных не превышает 10...15%; неравномерность частоты вращения рабочего агрегата на стационарных режимах работы не более 2%, а при колебаниях частоты вращения ведущего вала ИРП в диапазоне частот 0,1...5 Гц - не выше 5%.

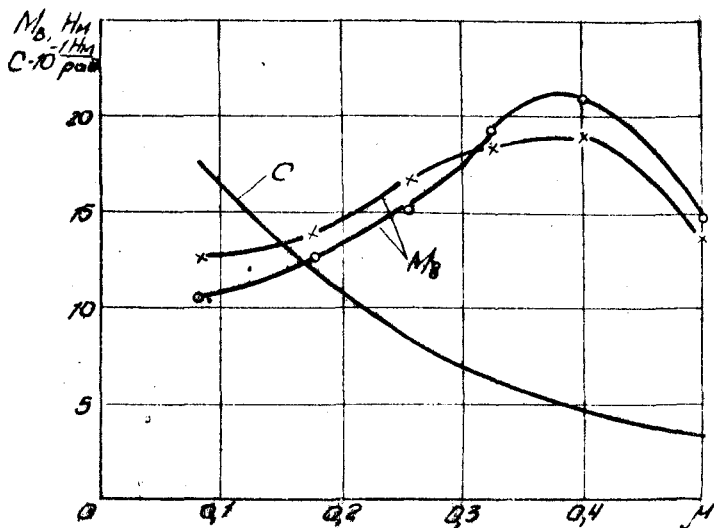


Рис. 7. Изменение максимального момента на ведомом валу ИРН и наименьшей жесткости упругой связи, обеспечивающей работу передачи без выбега ( $\omega = 1450 \text{ c}^{-1} = \text{const}$ ):  
 ———— теоретическая кривая; экспериментальные кривые:  
 —x—x— с жесткой муфтой ( $t \rightarrow \infty$ ); —o—o— с упругой муфтой ( $c = 60 \text{ Нм/рад}$ ).

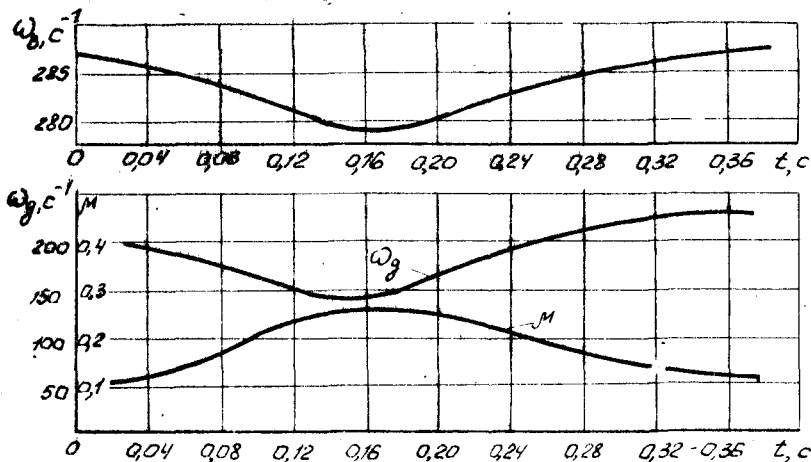


Рис. 8. Изменение частоты вращения ведомого вала и эксцентриситета пазового диска ИРН при колебаниях частоты вращения ведущего вала.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. ИРП с ЭМП обладают общностью свойств, позволяющей разработать их обобщенную динамическую модель. Предложенная математическая модель ИРП с ЭМП легко трансформируется для описания стационарных режимов работы ИРП любых типов, в преобразователях которых можно выделить два основных звена, приведя к ним массы остальных звеньев.

2. Определены области изменения параметров, в которых существуют работоспособные конструкции ИРП с ЭМП. Установлено, что ИРП с неподвижным пазовым диском могут работать в трёх режимах:

- а) в режиме прямого вращения валов передачи - в качестве мультипликатора;
- б) в режиме противовращения валов передачи - в качестве де-мультипликатора;
- в) в режиме "торможения двигателем" - в качестве де-мультипликатора с принудительным вращением ведомого вала передачи извне (например, в многопоточных передачах или машинных агрегатах с активными сопротивлениями).

3. В ИРП с неподвижным пазовым диском при изменении параметров сумматора с увеличением диапазона регулирования передаточных отношений возрастает коэффициент цикличности работы выпрямителей. Наибольший диапазон регулирования передаточных отношений при коэффициенте цикличности работы выпрямителей, не превышающем 1, обеспечивают ИРП, ведущим элементом которых является водило планетарного сумматора.

4. В ИРП с ведущим пазовым диском при изменении параметров сумматора с увеличением диапазона регулирования передаточных отношений уменьшается коэффициент цикличности работы выпрямителей, если в передачах с ВИИ передаточное отношение ведомый элемент-сателлит больше передаточного отношения неподвижный элемент-сателлит, а в передачах с ВОИ-наоборот. При этом наибольший диапазон регулирования передаточных отношений при коэффициенте цикличности работы выпрямителей, не превышающем 1, обеспечивают передачи с максимальными конструктивно возможными передаточными отношениями сумматора, у которых передаточное отношение неподвижный элемент-сателлит имеет знак, противоположный знаку используемого импульса и знаку передаточного отношения ведомый элемент-сателлит.

5. Нагруженность ИРП характеризуется коэффициентом использо-

вания времени цикла, величина которого может изменяться от 0 до 1 и уменьшается при его увеличении. Наименее нагружены ИРП, работающие без выбега ведомых масс, у которых величина максимального момента, возникающего на ведомом валу передачи, не превышает удвоенного момента сил сопротивления.

6. В ИРП с ЭМП, использующих отрицательный импульс преобразователя, динамические нагрузки меньше, чем при положительном импульсе. При этом размеры преобразователя практически не влияют на нагруженность ИРП.

7. Нагруженность ИРП, работающих с низкооборотными двигателями, можно уменьшить, применив сумматоры с переменными передаточными отношениями и преобразователи с переменной в течение цикла величиной эксцентриситета.

8. ИРП, работающие с выбегом ведомых масс, наименее нагружены в машинных агрегатах, цикл работы которых совпадает с циклом работы импульсной передачи.

9. Для снижения нагруженности ИРП наиболее целесообразно использовать упругие связи, соединяющие ведомый вал передачи с рабочим агрегатом. При этом жесткость упругой связи, обеспечивающей наименьшую нагруженность передачи, находится по разработанным методикам.

10. Экспериментальные исследования подтвердили адекватность разработанных динамических моделей и реальных процессов в объекте исследования, показали, что ИППС принципиально работоспособны и их характеристики соответствуют предъявляемым технико-эксплуатационным требованиям.

11. Для использования в ИППС, работающих с ДВС, можно рекомендовать ИРП с неподвижным пазовым диском, ведущим элементом которых является водило, а ведомым - солнечная шестерня планетарного сумматора.

12. Разработанные методики и полученные результаты могут быть использованы при выборе рациональной схемы и параметров ИРП с ЭМП для агрегатов и машин любого назначения.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора:

1. Теоретические исследования импульсного вариатора скорости. (В соавторстве) - В сб. № 148 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1974.



2. Математическая модель импульсного вариатора с упругими муфтами. (В соавторстве) - В сб. № 161 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1975.

3. Исследование силовых параметров импульсных приводов постоянной скорости. (В соавторстве).- В сб. "У РСФСРская научно-техническая конференция по вариаторам и передачам гибкой связью". (Тезисы докладов). Одесса, 1976.

4. Стенд для исследования импульсных приводов постоянной скорости. (В соавторстве). Информ. листок № 602-76 ЦНТИ. Челябинск, 1976.

5. Пути снижения динамической нагрузки в импульсных вариаторах. (В соавторстве).-В сб. № 174 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1976.

6. Исследование импульсных приводов постоянной скорости. (В соавторстве).- В сб. № 195 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1977.

7. Теоретическое исследование областей существования импульсных регулируемых передач. (В соавторстве). - В сб. "II Всесоюзная научная конференция по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам". (Тезисы докладов). Челябинск, 1977г

8. Исследование влияния параметров вариатора на характеристики импульсных приводов постоянной скорости (В соавторстве). - В сб. "II Всесоюзная научная конференция по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам". (Тезисы докладов), Челябинск, 1977.

9. Привод генератора переменного тока. (В соавторстве). Решение Госкомитета от 27 апреля 1977 г. по заявке № 2418792/25-28.

