

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

ВАГИН Станислав Никтополеонович

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПОТОЧНЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ
ПЕРЕДАЧ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ПРОМЫШЛЕННОГО
ТРАКТОРА

(Специальность 06.02.02 - "Машиноведение
и детали машин")

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Челябинск
1976



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Решениями XXV съезда КПСС определена программа дальнейшего развития экономики нашей страны, предполагающая значительное повышение производительности труда во всех отраслях народного хозяйства. Основой повышения производительности является комплексная механизация и автоматизация труда, одним из направлений которых является применение в приводах рабочих машин автоматических бесступенчатых передач.

Широкое распространение в настоящее время получили гидромеханические передачи (ГМП) с гидродинамическим трансформатором (ГД) вращающего момента. Применение ГМП в transmissionах тяговых и транспортных машин позволяет повысить их производительность, надежность, долговечность и существенно облегчить труд водителя.

Одним из основных путей совершенствования ГМП является применение многопоточных и прежде всего двухпоточных гидромеханических передач (ДГМП).

Сравнительно новой и малоизученной областью применения ДГМП является промышленное тракторостроение, которому отводится важная роль в выполнении решений XXV съезда КПСС, поскольку промышленными тракторными агрегатами выполняется основной объем землеройно-транспортных работ во вновь осваиваемых районах страны.

Ряд специфических требований к ДГМП промышленного трактора не позволяет использовать результаты исследований и рекомендаций, выработанные применительно к транспортным и тяговым машинам других типов (автомобили, тепловозы, судовые установки и т.д.). В связи с этим возникает необходимость изучения специфических требований к ДГМП промышленного трактора и разработки методики выбора ее оптимальных параметров.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. В работе применен единый, формализованный подход к исследованию двухпоточных передач, основанный на использовании безразмерных параметров, позволяющих систематизировать множество двухпоточных передач, проанализировать их статические и динамические свойства с помощью выбранных и обоснованных оценочных критериев.

Исследованы закономерности изменения К.П.Д. передачи, средней выходной мощности (\bar{N}_b) силовой установки (двигатель-ДГМП), мощности потерь ($\Delta \bar{N}_b$) в режимах, характерных для работы промышленного трактора¹, а также защитные свойства передач.

Разработана методика выбора оптимальной схемы ДГМП для силовой установки промышленного трактора.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Выделены пригодные для промышленного трактора схемы двухпоточных передач и определены оптимальные по \bar{N}_b и $\Delta \bar{N}_b$ значения параметров. Рекомендации, выработанные в работе, реализованы Отделом главного конструктора ЧТЗ при выборе схемы и параметров ДГМП силовой установки промышленного трактора.

АПРОВАЦИЯ РАБОТЫ. Основные положения диссертации доложены:

- на XXIУ-XXIX научно-технических конференциях ЧПИ (1971-1976 г.г.);
- на Всесоюзном совещании по основным проблемам теории механизмов и машин, Тбилиси, 1974 г.;
- на семинаре по ГМП, МАДИ и ЗИЛ, Москва, 1973, 1975 г.г.;
- на научно-техническом совете ЧТЗ, Челябинск, 1976 г.;
- на расширенном заседании кафедры "Гусеничные машины" совместно с представителями кафедр "Теория механизмов и машин", "Теоретическая механика", "Механическое оборудование автоматических установок" ЧПИ и организаций ЧТЗ, ЧФ НАТИ, Челябинск, 1976.

ПУБЛИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ. Основные положения диссертации опубликованы в 7 статьях.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа с таблицами и рисунками изложена на 153 страницах основного текста и состоит из введения, четырех глав и общих выводов. Библиография содержит 191 наименования работ. Приложение представлено на 20 страницах.

ГЛАВА 1. В последнее время все более широкое распространение во многих областях техники получают гидромеханические передачи. Сравнительно новой отраслью машиностроения, где активно разрабатываются, исследуются и внедряются ГМП является промышленное тракторостроение. Применение ГМП на промышленных тракторах, работающих с разнообразны-

землеройно-транспортным оборудованием, позволяет увеличить их производительность, долговечность трансмиссии, двигателя и двигателя.

Один из путей совершенствования существующих ГМП – применение двухпоточных передач. Рекомендации, выработанные в результате исследований двухпоточных передач применительно к автомобилям, тепловозам, судовым установкам и т.д., где их оценка ведется, в основном, по К.П.Д., не могут быть перенесены на двухпоточные передачи промышленного трактора в силу специфических особенностей его работы: цикличности основных технологических операций; значительного различия в характере нагрузления на различных элементах технологического цикла; широкого диапазона преодолеваемых сопротивлений; резкопеременного, неустановившегося характера нагрузления.

Указанные особенности, а также назначение промышленного трактора вызывают прежде всего необходимость пересмотра оценочных критериев его ДГМП. Основным оценочным критерием тракторного агрегата является производительность или эквивалентный ему критерий – средняя выходная мощность силовой установки. Поэтому в качестве основных критериев при исследовании ДГМП в диссертации применяются средняя выходная мощность силовой установки \bar{N}_B и средняя мощность потерь в передаче $\Delta \bar{N}_B$. Переменный характер нагрузки приводит к необходимости исследовать работу ДГМП на неустановившихся режимах и ее защитные свойства.

В диссертационной работе сформулированы следующие основные задачи:

1. Исследовать основные закономерности изменения оценочных критериев в зависимости от схемы и параметров двухпоточной ГМП на установившихся и неустановившихся режимах работы, характерных для промышленного трактора.
2. Исследовать закономерности изменения защитных свойств двухпоточных ГМП в зависимости от ее схемы и параметров.
3. Исследовать сравнительную эффективность двухпоточных и однопоточной гидромеханических передач в силовой установке промышленного трактора.
4. Разработать методику выбора двухпоточной ГМП и практические рекомендации для отечественных машин.

ГЛАВА II. Характеристики ДГМП определяются схемой включения ГТ в передаче и значением кинематического параметра дифференциального механизма. В диссертации показано, что все двухпоточные передачи обладают общностью свойств, проявляющейся в существовании безразмерных параметров, полностью определяющих кинематические и силовые качества передач при заданных характеристиках базового ГТ. Любой двухпоточной передаче с дифференциалом на выходе (рис.1б) ставится в соответствие значение параметра $\alpha = \frac{\omega_1}{\omega_A} / \omega_B = 0$, с дифференциалом на входе (рис.1а) $\beta = \frac{\omega_1}{\omega_B} / \omega_A = 0$.

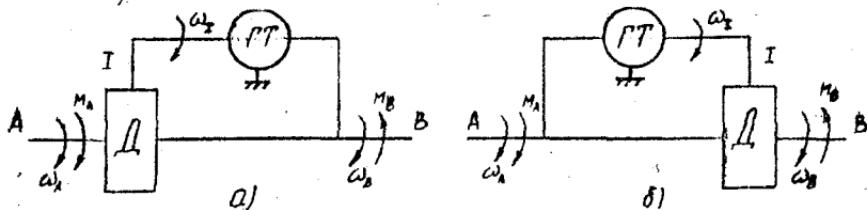


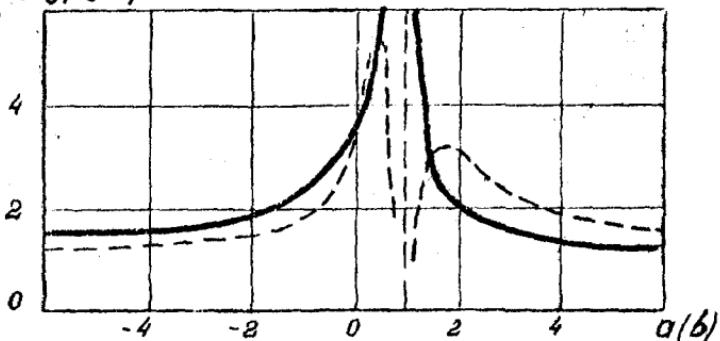
Рис.1. Обобщенная схема двухпоточной передачи:
а-с дифференциалом на входе; б-с дифференциалом на выходе; Д-дифференциал;
А-ведущий вал; В-ведомый вал

Параметры "а" и "в" позволяют систематизировать множество двухпоточных передач, в значительной степени формализовать исследование потоков мощности, преобразующих и нагружающих характеристики и т.д. поскольку основные свойства передачи полностью определяются этими параметрами (рис.2 и 3).

На рис.4-7 представлены зависимости максимальных значений средней выходной мощности M_B и мощности потерь ΔM_B от параметров "а" и "в" силовых установок, составленных из двигателя Д-160 и различных двухпоточных передач на базе гидротрансформатора ГТР-470 при работе на установленныхся режимах, подсчитанные для нормально распределенного момента сопротивления^{*}). При построении этих зависимостей решалась задача максимизации функционала

* Нормальное распределение момента сопротивления промышленного трактора обосновано экспериментальными исследованиями ЧТЗ, ЧФ НАТИ, ВНИИСтройдормаш и другими организациями.

$K_0(i_d=0)$



$\eta_{\text{д}}^{\text{макс}}$

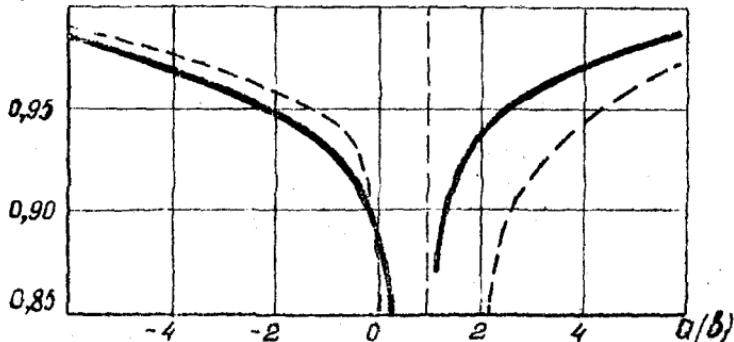


Рис.2. Изменение максимального коэффициента трансформации и КПД в зависимости от параметров "в" и "а":
 - - - передачи с дифференциалом на входе;
 - - - передачи с дифференциалом на выходе

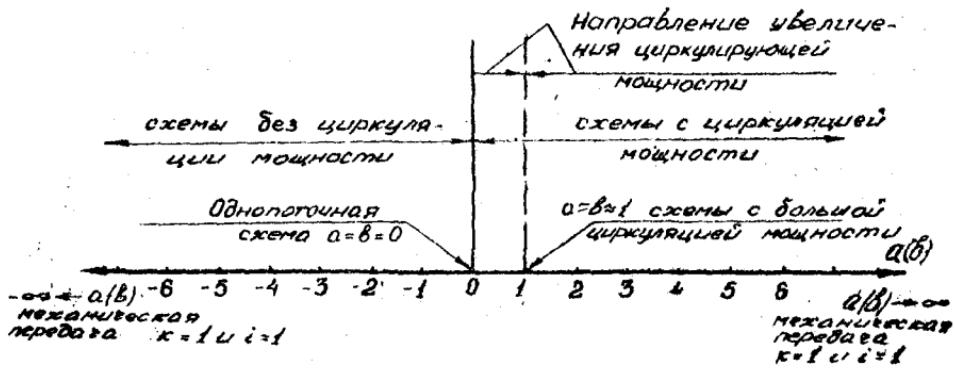


Рис.3. Диаграмма сопоставления свойств двухпоточных передач

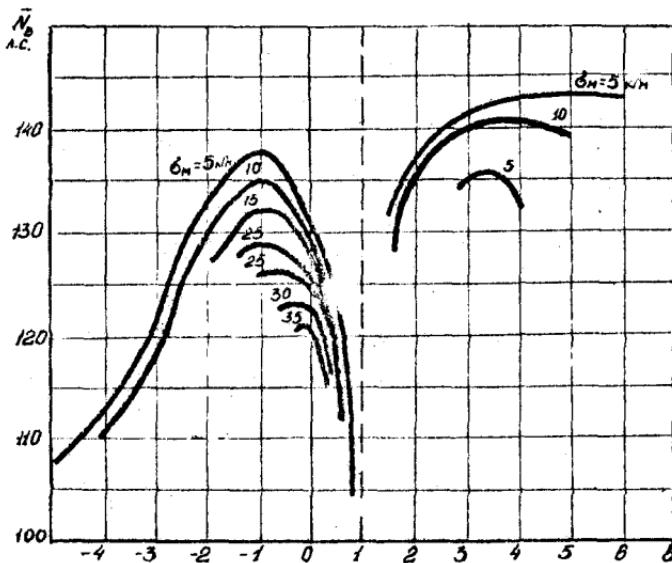


Рис.4. Графики изменения средней выходной мощности силовых установок в зависимости от значений параметров "в" и " δ_m " (дифференциал на входе)

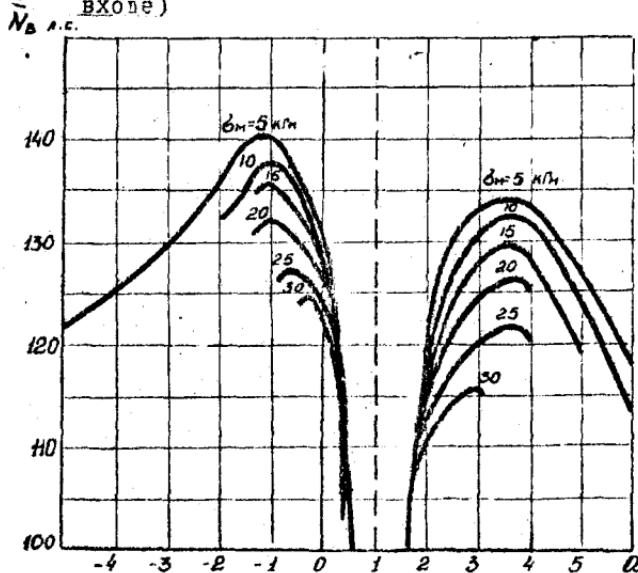


Рис.5. Графики изменения средней выходной мощности силовых установок в зависимости от значений параметров "в" и " δ_m " (дифференциал на входе)

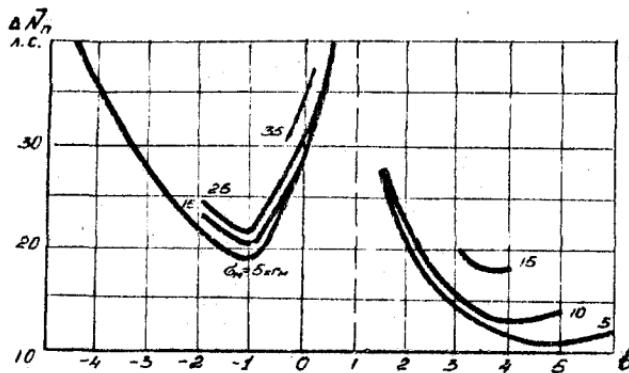


Рис.6. Значения средней мощности потерь в гидротрансформаторе (схемы с дифференциалом на входе) в зависимости от параметров "в" и \bar{m}

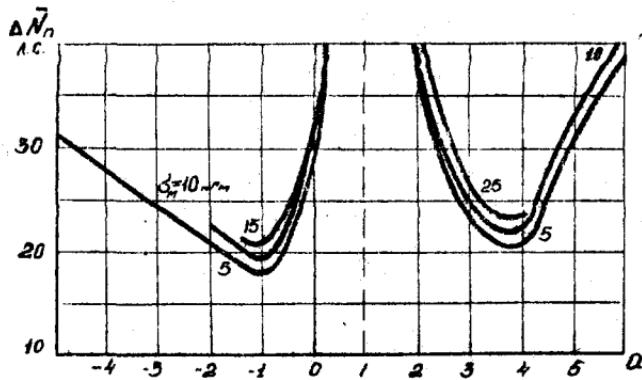


Рис.7. Значения средней мощности потерь в гидротрансформаторе (схемы с дифференциалом на выходе), в зависимости от параметров "а" и \bar{m}

$$\bar{N}_B = \frac{1}{\sigma_M \sqrt{2\pi}} \int_{\bar{M}-3\sigma_M}^{\bar{M}+3\sigma_M} N_B(M_B) \exp\left(-\frac{(M_B - \bar{M})^2}{2\sigma_M^2}\right) dM_B \quad (1)$$

(N_B – мощность на выходе силовой установки, \bar{M} и σ_M – среднее значение и среднее квадратическое отклонение момента сопротивления M_B) на множестве выходных характеристик силовой установки, определяемом возможными для каждого значения параметра совмещениями характеристик передачи и двигателя. Вычисления выполнены с помощью Ц.В.М. по специально разработанной программе.

Средняя выходная мощность силовой установки \bar{N}_B с двухпоточными передачами достигает максимума, а средняя мощность потерь $\Delta \bar{M}_p$ – минимума внутри множества значений параметров "а" и "в" при любом значении дисперсии нагрузки*).

Параметры "а" и "в", доставляющие максимум \bar{N}_B и минимум $\Delta \bar{M}_p$ при различных значениях σ_M , лежат в пределах $-1 < \alpha(b) < -0,5$ и $3 < \alpha(b) < 4$. Двухпоточные передачи с параметрами $-2 < \alpha(b) < 0$, $b > 1,5$ и $3 < \alpha < 4$ обеспечивают большую (до 6%) по сравнению с однопоточной схемой среднюю мощность силовой установки при меньшей (до 40%) средней мощности потерь, определяющей параметры системы охлаждения.

ГЛАВА III. Для изучения работы двухпоточной передачи в силовой установке промышленного трактора на неустановившихся режимах разработана математическая модель, включающая в себя уравнения движения передачи и учитывающая изменение рабочего процесса двигателя за счет запаздывания регулятора

$$\begin{cases} A_1 \dot{\omega}_A + A_3 \dot{\omega}_B = M_g + B_1 M_H + B_2 M_T; \\ A_3 \dot{\omega}_A + A_2 \dot{\omega}_B = B_3 M_H + B_4 M_T - M_B; \\ M \ddot{M}_g + D \dot{M}_g = C (M_g^{**} - M_g); \end{cases} \quad (2)$$

где M_g , M_g^{**} , M_H , M_T , M_B – соответственно момент двигателя, момент двигателя по скоростной характеристике, мо-

*). Максимальный К.П.Д. передачи во всем диапазоне параметров "а" и "в" изменяется монотонно от своего наименьшего значения до наибольшего и не может служить критерием оптимизации (рис.2)

менты на насосном и турбинном колесах ГТ и момент сопротивления; A_1, A_3 – постоянные коэффициенты, определяемые геометрией масс передачи и параметром $\alpha(b)$; B_1, B_4 – постоянные коэффициенты, зависящие от параметра $\alpha(b)$; M, D, C – коэффициенты, определяющие динамические свойства регулятора.

Ввиду существенной нелинейности системы (2) интегрирование ее выполнено численным методом Рунге–Кутта на Ц.В.М. М-222.

Момент сопротивления M_B , нагружающий силовую установку промышленного трактора, можно рассматривать как случайный стационарный нормальный процесс, нормированная корреляционная функция которого хорошо аппроксимируется выражением вида

$$K(\tau) = \exp(-\lambda/\tau^2) (\cos \beta \tau + \frac{\delta}{\tau} \sin \beta / \tau), \quad (3)$$

параметры λ и β которого зависят от типа трансмиссии.

Случайный процесс нагружения моделировался на Ц.В.М. в виде дискретной последовательности значений реализаций с шагом $\Delta t = 0,1$ с ($T = 50$ с). В алгоритм моделирования заложен принцип преобразования последовательности независимых нормально распределенных случайных чисел с параметрами (0,1) в последовательность, коррелированную по заданному закону. Исходные независимые случайные числа вырабатывались по стандартной программе датчика случайных нормальных чисел Ц.В.М. М-222.

На рис. 8 представлены графики изменения средней выходной мощности \bar{N}_B , мощности потерь $\Delta \bar{N}_p$ и мощности двигателя \bar{N}_D в зависимости от параметров "а" и "в" силовой установки, составленной из двигателя Д-160 и различных двухпоточных передач на базе гидротрансформатора ГТР-470. Средняя выходная мощность \bar{N}_B достигает максимума внутри множества значений параметров "в" и "в". Большие значения \bar{N}_B (до 5%) при меньших потерях $\Delta \bar{N}_p$ (до 25%) по сравнению с однопоточной схемой ($a = b = 0$) обеспечивают силовой установке двухпоточные передачи с параметрами $-1,25 < a < 0$, а меньшие потери при равенстве выходной мощности – передачи с параметрами $-0,5 < b < 0$ и $2,25 < b < 3,25$. Оптимальные по \bar{N}_B параметры "в" и "в" при установившейся и не-

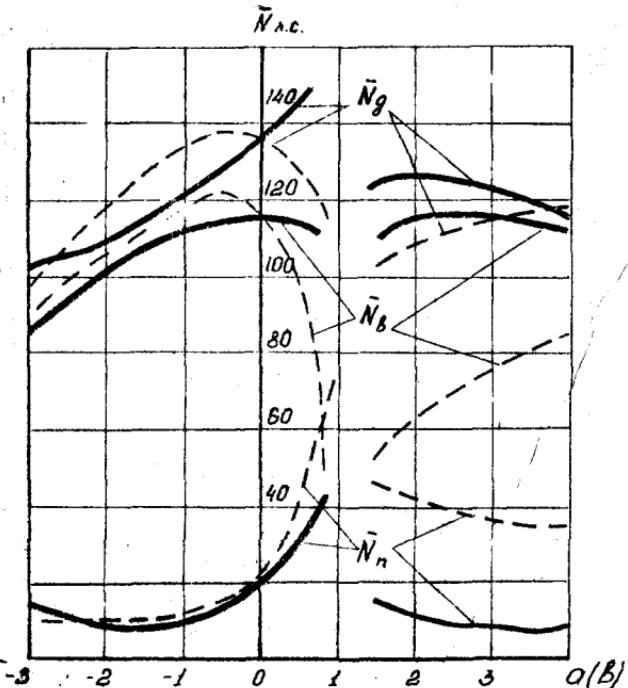


Рис.8. Изменение средних мощностей в зависимости от параметров "а" и "в"

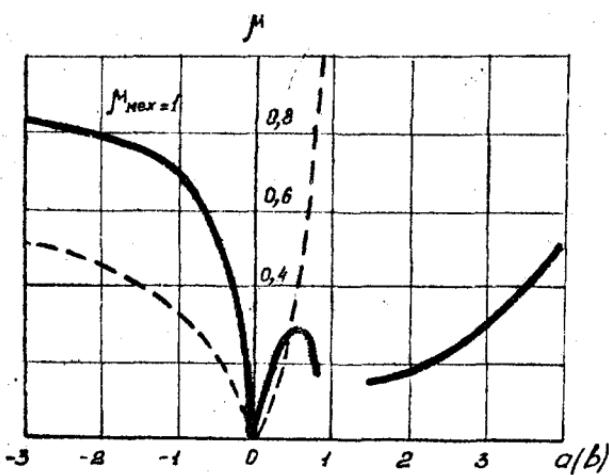


Рис.9. Изменение коэффициента M в зависимости от параметров "а" и "в":

— передачи с дифференциалом на входе,
- - - передачи с дифференциалом на выходе

установившейся работе совпадают. Однако диапазон изменения параметров двухпоточных передач, обеспечивающих большую \bar{M} и меньшую $\Delta \bar{M}_p$ по сравнению с однопоточной, при неустановившейся работе уже, чем при установившейся.

Сравнение защитных свойств ДГМП в диссертации при передаче возмущения с ведомого вала на ведущий и с ведущего на ведомый выполнено по амплитудно-частотным характеристикам, полученным из линеаризованных уравнений движения (2) (первые два уравнения системы). Линеаризация уравнений выполнена в точках характеристики, соответствующих установившейся работе передачи, путем разложения выражений для моментов M_h и M_t в ряд Тейлора. За входной сигнал принято отклонение момента $\Delta M_b(\Delta M_a)$ на ведомом (ведущем) валу, а за выходной - отклонение угловой скорости $\Delta \omega_d(\Delta \omega_b)$ ведущего (ведомого) вала от их установившихся значений.

Амплитудно-частотная характеристика ДГМП, например, для случая передачи возмущения с ведомого вала передачи на ведущий представляется формулой

$$A(v) = \frac{\Delta \omega_d}{\Delta M_b} = \sqrt{\frac{F^2 + A_3^2 v^2}{[(CQ - HF) - v(A_1 A_2 - A_3^2)]^2 + [(PA_3 + HA_3 - A_1 Q - A_2 C)v]^2}}, \quad (4)$$

где v - частота возмущения в рад/сек; C, H, F, Q - коэффициенты, зависящие от характеристик гидротрансформатора, параметров передачи и точки характеристики, в окрестностях которой проведена линеаризация уравнений.

При частотах $\frac{v}{2\pi} > 1$ амплитудно-частотные характеристики в обоих случаях передачи возмущений с достаточной точностью описываются формулой

$$A(v) \approx \frac{M}{v}, \quad \text{где } M = \frac{|A_3|}{A_1 A_2 - A_3^2}. \quad (5)$$

Параметр M в этом случае полностью определяет свойства амплитудно-частотной характеристики передачи. На рис. 9 представлены графики изменения параметра M в зависимости от параметров "а" и "в". Наилучшими защитными свойствами при частотах возмущений $\frac{v}{2\pi} > 1$ обладает однопоточная схема ($M = 0$ при $Q = B = 0$), а двухпоточная передача занимает промежуточное положение между однопоточной и механической передачей ($M = 1$), за исключением случаев $a > \frac{2}{3}$.

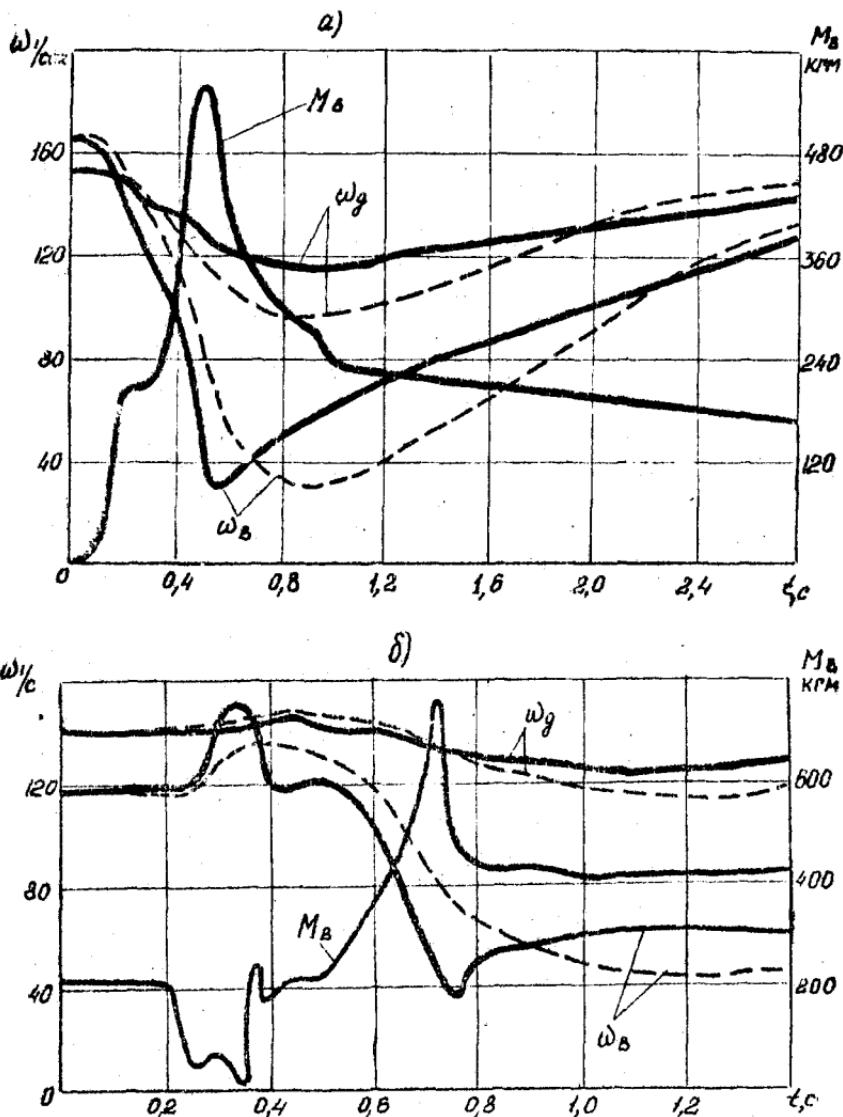


Рис.10. Переходный процесс в силовой установке, вызванный разгоном на 3-ей передаче (а) и переключением с 1-ой передачи на 2-ую при движении под нагрузкой при тяге на крюке 24,2 т (б):
 — эксперимент; - - - - расчет

Защитные свойства двухпоточных передач при частотах возмущения $\frac{v}{2\pi} < 1$ кроме параметра γ зависят от режима работы передачи. Существуют режимы, при которых защитные свойства некоторых двухпоточных передач лучше свойств однопоточной.

ГЛАВА IV. Экспериментальные исследования выполнены на гусеничном тракторе с двигателем мощностью 405 л.с. и двухпоточной гидромеханической передачей с параметром $\alpha = -0,438$ (дифференциал на выходе, параметр планетарного ряда $K = 2,28$).

При экспериментальных исследованиях изучались статические характеристики силовой установки и динамические процессы при трогании, разгоне трактора и переключении передач.

В процессе испытаний измерялись и записывались на ленту осциллографа вращающий момент на выходном валу силовой установки, угловые скорости двигателя и выходного вала силовой установки и усилие на крюке при проведении тяговых испытаний.

До и после испытаний проводились натурные тарировки датчиков. Каждый из опытов по разгону трактора и переключению передач проделывался троекратно.

В результате обработки осцилограмм, полученных при проведении тяговых испытаний трактора, построена внешняя выходная характеристика силовой установки и определены исходные статические характеристики двухпоточной передачи и базового гидротрансформатора. На рис.10, для примера, представлены экспериментальные и полученные расчетным путем по уравнениям (2) графики изменения угловых скоростей вала двигателя и выходного вала силовой установки при разгоне трактора и переключении передач.

Отклонение расчетных и экспериментальных значений угловой скорости для каждого опыта не превосходит в среднем за время опыта 15%, в средней выходной мощности 7%.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Двухпоточные гидромеханические передачи обладают общностью свойств, проявляющейся в существовании безразмерных параметров ("а" и "в"), позволяющих систематизировать мно-

хество этих передач и облегчить проведение их исследования.

2. Во всем диапазоне изменения параметров α (b) максимальный К.П.Д. двухпоточных передач изменяется монотонно от своего наименьшего значения до наибольшего и не может служить критерием оптимизации. Средняя выходная мощность M силовой установки с двухпоточными передачами достигает максимума, а средняя мощность потерь ΔN_h в передаче — минимума внутри множества значений параметров α (b) как при установленных, так и неустановленных нагрузках. Оптимальные по N_b и ΔN_h параметры α (b) определяют пригодные схемы двухпоточных передач и значения кинематического параметра дифференциального механизма однозначно для каждой пригодной схемы.

3. Двухпоточные передачи с параметрами $-2 < b(\alpha) < 0$, $b > 1,5$ и $3 < \alpha < 4$ обеспечивают на установленных режимах работы большие (до 6%) по сравнению с однопоточной схемой средние выходные мощности силовым установкам при меньших (до 40%) средних потерях мощности, идущей в систему охлаждения передачи. Оптимальные по средней выходной мощности и по средней мощности потерь значения параметров α (b) при динамическом и статическом нагружениях, характерных для промышленного трактора, совпадают. Однако диапазон изменения этих параметров, обеспечивающих лучшие N_b и ΔN_h силовым установкам с двухпоточными передачами по сравнению с однопоточной при динамическом нагружении значительно уже, чем при статическом.

4. Защитные свойства двухпоточных передач при высоких частотах возмущения (больших 1 Гц) полностью определяются параметром α (b) и занимают промежуточное положение между свойствами однопоточной и механической передач. При низких частотах (меньших 1 Гц) защитные свойства передач зависят кроме параметров α (b) также от режима ее работы.

5. Для установки промышленного трактора можно рекомендовать двухпоточные передачи, имеющие значения параметров α (b), лежащих в пределах $-1 < \alpha(b) < -1/3$.

6. Разработанная методика может быть использована при выборе оптимальной схемы двухпоточной гидромеханической передачи для агрегатов и машин любого назначения с соответствующей корректировкой критериев оптимальности.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Вагин С.Н., (Злотник М.И.). Применение двухпоточных гидромеханических передач на тяговых и транспортных машинах. В сб. №181 "Автомобили, тракторы и двигатели", Челябинск, ЧПИ, 1973.
2. Вагин С.Н., (Злотник М.И.). Сравнительный анализ характеристик различных схем двухпоточных гидромеханических передач. В сб. №129 "Динамика машин и рабочих процессов". Челябинск, ЧПИ, 1973.
3. Вагин С.Н., (Злотник М.И.). К вопросу исследования динамики двухпоточной гидромеханической передачи. В сб. №148 "Автомобили, тракторы и двигатели", Челябинск, ЧПИ, 1974.
4. Вагин С.Н., (Злотник М.И.). Анализ динамических характеристик систем ДВС - двухпоточная гидромеханическая передача при колебаниях нагрузки. В сб. №161 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1975.
5. Вагин С.Н., (Злотник М.И.). К вопросу определения динамических нагрузок в силовой установке с гидротрансформатором при включении муфты сцепления. В сб. №148 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1974.
6. Вагин С.Н., (Злотник М.И.). Фильтрующие свойства двухпоточных гидромеханических передач. В сб. №174 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1976.
7. Вагин С.Н., (Злотник М.И.). К вопросу определения тепла, выделяющегося в тракторной гидромашине, обладающей внутренней автоматичностью. - В печати.