



**Архангельский, Г. В.** Бесступенчатые передачи приводов машин [Текст] : монография / Архангельский Георгий Владимирович, Дубинец Александр Иванович. - Киев : Ун-т "Украина", 2012. - 382 с. : рис. - ISBN 978-966-388-382-3.

В монографии рассмотрены управляемые и автоматические инерционные импульсные бесступенчатые передачи на основе планетарных механизмов. Подробно исследована механика клиноременных управляемых и автоматических вариаторов с центробежным регулятором и регулятором по

моменту. Исследована динамика указанных бесступенчатых передач. Подробно исследованы динамические нагрузки на механизмах свободного хода (МСХ), являющиеся наиболее слабыми звеньями импульсных передач. Исследована кинематика и динамика импульсных вариаторов-редукторов, обладающих большим передаточным отношением. Впервые получены зависимости, позволяющие непосредственно вычислять жесткость МСХ, и по-новому рассмотрен вопрос расчета МСХ на прочность. Предложен новый подход к определению усилий натяжения ветвей ремня и распорных усилий. Изучены динамические нагрузки в ремне. Предложена методика расчета параметров регуляторов автоматических клиноременных вариаторов и повышения быстродействия агрегата с вариатором. Разработан метод расчета параметров ремня на основе найденного теоретического коэффициента тяги.

Для специалистов в области вариаторов, преподавателей высших учебных заведений, аспирантов и студентов.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Использование бесступенчатых передач в приводах современных машин позволяет получить ряд положительных эффектов: увеличение производительности труда, улучшение качества выпускаемой продукции, снижение энергозатрат, возможность наиболее полно использовать мощность приводного двигателя, ведение технологических процессов на оптимальных режимах и т.д.

Вариаторы, используемые в приводах современных машин, служат как для управления их силовым и скоростным режимами работы, так и для стабилизации. В зависимости от принципа действия существуют различные типы бесступенчатых передач, каждый из которых обладает как достоинствами, так и недостатками.

Импульсные вариаторы подразделяются на два типа: инерционные и управляемые. Импульсные управляемые передачи по сравнению с другими типами бесступенчатых передач имеют ряд преимуществ. Это - компактность; соосность; широкий диапазон регулирования; весьма жесткая характеристика; совмещение функций редуктора, что позволяет осуществлять пуск двигателя при неподвижных рабочих частях машины без размыкания кинематической цепи привода и получать весьма низкие частоты вращения; создает неравномерность движения, которая в свою очередь, дает ряд положительных эффектов при виброточении, вибросверлении, резке камня, мерзлых грунтов и т.д. Среди импульсных вариаторов одним из перспективных видов являются управляемые планетарные вариаторы, которые, по сравнению с непланетарными, обладают рядом преимуществ. Они позволяют получить более широкий диапазон регулирования и могут работать как в режиме редуктора, так и в режиме мультипликатора; имеют более простую конструкцию механизма регулирования; при передаточном отношении, равном единице, могут работать в режиме муфты; имеют меньшую неравномерность движения при одном и том же числе преобразующих механизмов. По диапазону регулирования с планетарными импульсными могут сопоставляться только замкнутые дифференциальные. Однако наличие у последних циркулирующей мощности в замкнутом контуре резко снижает их к.п.д.

Импульсные вариаторы используются в приводах металлорежущих станков, машин для резки камня, дозаторах сыпучих материалов, термических вращающихся печах, шнеках и транспортерах линий пищевых производств, грузоподъемных машинах, хлопкоуборочных комбайнах, копировальных машинах и т.д.

Автоматические инерционные передачи подразделяются на два вида: использующие тангенциальные силы инерции и центробежные. Инерционные передачи, использующие тангенциальные силы инерции обладают тем недостатком, что они не выходят в режим муфты и их механизмы свободного хода (МСХ) постоянно работают в режиме циклического нагружения. Автоматические инерционные передачи, использующие центробежные силы инерции, обладают рядом достоинств по сравнению с передачами, в которых принцип действия основан на использовании тангенциальных сил инерции.

Предпринимались многочисленные попытки использования автоматических инерционных передач в качестве бесступенчатой трансмиссии транспортных и тяговых машин: легковых и грузовых автомобилей, тракторов, мотоциклов.

Наиболее слабым звеном импульсных передач являются МСХ, которые ограничивают их надежность и долговечность. МСХ импульсных передач работают в условиях циклических нагружений и подвержены действию значительных динамических нагрузок. Поэтому определение наибольших динамических нагрузок, действующих на МСХ импульсных передач,

является актуальной задачей, направленной на внедрение данного типа передач в технику.

Имеется большое количество машин, в приводах которых необходимо использовать вариаторы-редукторы либо просто редукторы с большими передаточными отношениями, что могут обеспечить двухступенчатые червячные и некоторые типы планетарных редукторов, которые имеют ряд известных недостатков.

Импульсные редукторы позволяют реализовывать большие передаточные отношения при отсутствии недостатков, присущих указанным редукторам, и кроме того, обладают одной способностью, которая повышает эффективность работы некоторых машин, где необходимо иметь повышенную неравномерность движения рабочих органов.

Несмотря на использование импульсных редукторов в современной технике нет обобщающих работ по кинематике преобразующих механизмов редуктора, динамике агрегата с импульсным редуктором и определении динамических нагрузок, действующих на механизмы свободного хода.

Исследования, направленные на совершенствования методов расчёта импульсных редукторов и их элементов, являются актуальными для современного машиностроения, и их использование в расчётной практике позволит повысить надёжность и долговечность этого прогрессивного типа передач.

При изучении динамических нагрузок на МСХ импульсных передач существенную роль играет жесткость МСХ. Существующие публикации по МСХ не позволяют непосредственно вычислять их жесткость, для определения которой необходимо выполнить большой объём вычислений. При этом полученные теоретические результаты на 25...30% отличаются от экспериментальных. Поэтому исследования, направленные на получение зависимостей, позволяющих непосредственно определять жесткость МСХ с более высокой точностью, являются весьма актуальными для современной практики расчета МСХ.

Другим прогрессивным типом бесступенчатых передач являются клиноременные вариаторы, которые подразделяются на управляемые и автоматические.

Несмотря на широкое использование клиноременных вариаторов в технике изучению их механики не уделялось должного внимания. Решены частные задачи и нет обобщающих исследований. Изучались конструкции ремней, их материалы, упругие свойства, усилия и расчет на тяговую способность. Рассматривались вопросы геометрии, кинематики и динамики, но при этом считалось, что клиноременный вариатор является системой с неголономной связью. В действительности клиноременный вариатор имеет две связи и является системой с голономной и неголономной связями, что существенно повлияет на математическое описание агрегата с вариатором и его свойства.

Недостаточно изучена геометрия вариатора, которая связана с голономностью связи, как одноступенчатых, так и двухступенчатых. Известные

зависимости для усилий натяжения ветвей и распорных усилий не удовлетворяет ряду условий и данных экспериментов, что существенно повлияет на величину управляющих усилий и процессы управления. Не изучены динамические нагрузки в ремнях, которые являются наиболее слабыми звеньями вариатора.

Автоматические клиноременные вариаторы (АКВ), содержащие регулятор по моменту и центробежный регулятор, являются трансформаторами вращающего момента или стабилизаторами мощности и автоматически, в зависимости от нагрузки либо частоты вращения ведущего шкива, изменяют угловую скорость ведомого звена. В силу своих достоинств данный тип бесступенчатых передач нашел широкое применение в мототранспортной технике: мотоциклах, мопедах, мотороллерах, снегоходах, а также в малолитражных автомобилях.

Автоматическое изменение скорости движения транспортного средства дает возможность наиболее полно использовать мощность двигателя, позволяет значительно уменьшить перегрузку двигателя и других элементов трансмиссии, облегчает управление транспортным средством и особенно в городских условиях, повышает комфортабельность езды.

Согласно данным зарубежных фирм использование вариаторных приводов на транспортных средствах дает экономию горючего до 20 %.

Наиболее широкое применение АКВ нашли в качестве бесступенчатой трансмиссии снегоходов. Так в 1970-1971 гг. только на северо-американском рынке было продано около 600 000 снегоходов.

Несмотря на широкое и многолетнее использование АКВ в мототранспортной технике и снегоходах нет обобщающих работ, в которых решен комплекс важных задач по расчету и изучению свойств АКВ, их динамики и особенностей. Публикации исследователей и фирм по АКВ в западных развитых странах носят, в основном, описательный и рекламный характер, а результаты, которые могут быть использованы для расчета, проектирования и улучшения свойств не публикуются.

Отсутствие обобщающих работ сдерживает развитие и более широкое внедрение этого прогрессивного вида бесступенчатых передач.

Исследования, приведенные в монографии, направлены на ликвидацию указанных пробелов в механике клиноременных вариаторов, что потребовало новых подходов и дало возможность получения новых результатов в решении известных задач.

В данной книге представлены обобщающие исследования по механике клиноременных вариаторов, как систем с управляемыми связями.

Предлагаемая книга будет играть не только важную роль в подготовке и совершенствовании специалистов в области бесступенчатых передач, но и позволит повысить работоспособность самих вариаторов, систем с вариаторами и улучшить их динамические свойства.

Параграфы 6.1; 6.4...6.10 и 7.8 написаны Дубинцом А.И., параграфы 4.1; 4.2; 6.2; 6.3 и 7.5 - совместно, остальные параграфы - Архангельским Г.В.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1. ОБЗОР ИМПУЛЬСНЫХ БЕССТУПЕНЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПЛАНЕТАРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ</b> .....	8
1.1 Управляемые импульсные вариаторы.....	8
1.2. Автоматические инерционные передачи.....	12
<b>2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ</b> .....	25
2.1 Дифференциальные уравнения движения звеньев автоматических инерционных передач при заклинивании механизмов свободного хода.....	25
2.2. Динамика заклинивания механизмов свободного хода автоматических инерционных передач с постоянным приведенным моментом инерции реактора.....	34
2.3. Динамика заклинивания механизмов свободного хода автоматических инерционных передач с переменным приведенным моментом инерции реактора.....	50
2.4. Анализ динамических нагрузок для различных схем инерционных передач.....	61
2.5. О предельных нагрузках на механизмах свободного хода автоматических инерционных передач.....	64
2.6. Динамика автоматической инерционной передачи на “стоповом” режиме для установившегося периода работы двигателя.....	69
2.7 Исследование динамики заклинивания механизмов свободного хода автоматической инерционной передачи в системе с карданной передачей.....	73
2.8. Выводы и рекомендации по вопросам динамических нагрузок на механизмах свободного хода автоматических инерционных передач.....	83
<b>3. ДИНАМИКА УПРАВЛЯЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ВАРИАТОРОВ</b> .....	87
3.1 Динамика планетарных импульсных вариаторов при фиксированном передаточном отношении.....	87
3.2. Влияние возмущения регулирования на динамические нагрузки.....	104
3.3. Динамические нагрузки в системе импульсных приводов при наличии дополнительных упругих звеньев.....	110
3.4. Выводы и рекомендации по вопросам динамических нагрузок на механизмах свободного хода управляемых импульсных вариаторов.....	113
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	117

<b>4. ИМПУЛЬСНЫЕ ВАРИАТОРЫ-РЕДУКТОРЫ С БОЛЬШИМ ПЕРЕДАТОЧНЫМ ОТНОШЕНИЕМ</b> .....	121
4.1 Кинематика импульсных вариаторов-редукторов.....	121
4.2. Динамика импульсных редукторов.....	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141
<b>5. РАСЧЕТ МЕХАНИЗМОВ СВОБОДНОГО ХОДА ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕДАЧ</b> .....	142
5.1 Геометрические и силовые параметры механизмов свободного хода.....	142
5.2. Упругие свойства механизмов свободного хода.....	152
5.3. Расчет на прочность механизмов свободного хода.....	170
5.4. Вопросы снижения динамических нагрузок на механизмах свободного хода.....	180
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	183
<b>6. УПРАВЛЯЕМЫЕ КЛИНОРЕМЕННЫЕ ВАРИАТОРЫ</b> .....	185
6.1 Управляемые клиноременные вариаторы в технике.....	185
6.2. Связи в клиноременных вариаторах и их уравнения.....	201
6.3. Реакции связей в клиноременных вариаторах.....	213
6.4. Обобщенная модель клиноременного вариатора и ее математическое описание.....	223
6.5. Вопросы управления одноступенчатыми клиноременными вариаторами.....	231
6.6. Динамические нагрузки в ремне при управлении вариатором.....	240
6.7. Двухступенчатые клиноременные вариаторы и их математическое описание.....	250
6.8. Вопросы управления двухступенчатыми вариаторами.....	262
6.9. Динамические нагрузки в ремнях при управлении.....	266
6.10. Оптимальное управление агрегатом с помощью клиноременного вариатора.....	272
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	278
<b>7. АВТОМАТИЧЕСКИЕ КЛИНОРЕМЕННЫЕ ВАРИАТОРЫ</b> .....	285
7.1 Обзор существующих конструкций автоматических клиноременных вариаторов.....	285
7.2. Математическое описание систем с автоматическим клиноременным вариатором.....	304
7.3. Синтез параметров регуляторов, обеспечивающих автоматическое изменение передаточного отношения вариатора.....	318
7.4. Демпфирующая способность автоматических клиноременных вариаторов.....	331
7.5. Совершенствование динамических характеристик	

автоматических клиноременных вариаторов.....	335
7.6. Повышение быстродействия автоматических клиноременных вариаторов.....	352
7.7. Вопросы выбора параметров ремня вариаторов.....	361
7.8. Автоматические двухступенчатые клиноременные вариаторы.....	364
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	375