

ISSN 0132-0890
www.rudmet.ru

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издается с 1961 года
(№ 1102)

10.2023



Тема номера:
**85 лет кафедре
механики и машиностроения
Сибирского государственного
индустриального университета (стр. 15-54)**

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издательский дом
«Руда и Металлы»

№ 10 (1102), октябрь 2023 г.

Издается с 1961 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

Учредители:

Акционерное общество
«Издательский дом
«Руда и Металлы»

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»

Федеральное бюджетное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический
университет им. Г. И. Носова»

При участии:

ПАО «ММК»
ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия»
имени С. П. Королева»
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»
ФГБУК «Государственный Эрмитаж»

Официальный информационный орган
Федерального УМО
«Технологии материалов»

Редакционный совет:

Главный редактор: В. М. Колокольцев
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев
Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников, А. Г. Воробьев
А. М. Беленький, В. Блек (Германия), Ю. Л. Бобарикин (Беларусь), О. И. Борискин, И. В. Буторина,
Р. М. Валеев, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада),
Д. Г. Еланский, Н. А. Зюбан, И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина, А. А. Казаков, А. П. Коликов,
С. В. Коновалов, А. Г. Корчунов, А. В. Кушнарв, И. О. Леушин, И. П. Мазур, Т. Н. Матвеева, А. В. Мунтин,
А. Е. Пелевин, Ю. Ю. Пиотровский, И. М. Потравный, А. Н. Савенок (Беларусь), А. В. Серебряков,
Е. Ю. Сидорова, И. А. Султангузин, А. Я. Травянов, А. С. Харченко, Н. А. Чиченев, М. В. Чукин,
И. В. Чуманов, А. Н. Шаповалов, П. Шеллер (Германия), Е. А. Яценко

Редакция:

Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников
Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова

Издатель — АО «Издательский дом «Руда и Металлы»
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 622

Адрес редакции:

• фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 617
• почтовый: 119049, Москва, а/я № 71
Телефон/факс: (495) 955-01-75
Эл. почта: chernet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru
www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения
«Черные металлы» № 10 (1102), октябрь 2023 г.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Свидетельство ПИ № ФС77-48681 от 28.02.2012 г.)

Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»

Отпечатано с предоставленных готовых файлов
в типографии «Канцлер»
150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16, стр. 66А.
Тел. (4852) 58-76-33

Дата выхода в свет: 25.10.2023. Формат 60x90/8.
Печ. л. 12,75. Офсетная печать. Бумага офсетная.
Тираж 800 экз. Цена свободная

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель
За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор
Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции
При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна
«Реклама» — материал публикуется на правах рекламы
Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции
и редсовета журнала

Подписной индекс:
12985 («Пресса России»)



СОДЕРЖАНИЕ

Обогащение руд

- А. Е. Пелевин.* Повышение качества концентрата путем применения тонкого грохочения в стадиях измельчения железных руд 4

Производство стали

- Г. П. Вяткин, М. А. Матвеева, И. В. Чуманов, И. М. Ячиков.* Математическое моделирование влияния места доставки капель электродного металла на глубину металлической ванны при электрошлаковом переплаве 10

85 лет кафедре механики и машиностроения

Сибирского государственного индустриального университета

- А. Н. Савельев, С. В. Коновалов.* Кафедра механики и машиностроения: 85 лет подготовки инженеров-механиков для металлургической промышленности Сибири и Дальнего Востока. 15
- А. А. Уманский, Р. Н. Молоканов, В. В. Дорофеев.* Совершенствование профиля рельсов с целью оптимизации напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути в процессе эксплуатации 19
- В. Е. Громов, С. В. Коновалов, М. А. Порфириев, О. А. Перегудов.* Формирование дефектной структуры перлита в головке рельсов из заэвтектоидной стали при эксплуатации 26
- А. Г. Никитин, В. Н. Бережанский.* Расчет деформации упругих пневматических элементов при ударной нагрузке. 31
- О. С. Бондарева, О. С. Добычина, М. О. Дмитриева, С. В. Коновалов.* Сравнительный анализ структуры и электрохимических свойств цинковых покрытий для прогнозирования возникновения контактной коррозии на крепеже 35
- Л. Н. Гудимова.* Создание самоустанавливающейся структуры механизма металлургических ножниц с параллельными ножами 42
- Л. Н. Гудимова, И. А. Серебряков.* Исследование плавности хода зубчатого одноподвижного плоского планетарного механизма при применении уравновешенной конструкции водила. 49

К 75-летию С. И. Жульева, основателя научной школы технологии материалов в Волгоградском ГТУ

- Н. А. Зюбан.* Памяти Сергея Ивановича Жульева 55
- С. Б. Гаманюк, Д. В. Руцкий, Н. А. Зюбан, М. В. Кириличев.* Моделирование процесса затвердевания кузнечного слитка при доливке прибыльной части расплавом 57
- Л. В. Палаткина, В. В. Галаган, М. В. Матасова, М. Ю. Чубуков.* Влияния электромагнитного перемешивания на процессы кристаллизации сплава и макро- и микроструктуру непрерывнолитых заготовок для производства сероводородостойких труб 63
- Н. А. Зюбан, Д. В. Руцкий, М. С. Никитин, М. В. Кириличев.* Исследование и анализ причин зарастания сталеразливочного тракта при получении стали С45Е 70
- О. Б. Крючков, П. И. Маленко, Л. Г. Саранин, А. Е. Болдырев.* Экспериментально-расчетное исследование температурного поля в нагреваемом под пластическую деформацию блюме с использованием физического моделирования. 78

Металловедение и физика металлов

- А. В. Даниленко, А. В. Мунтин, А. А. Хлыбов.* Методика оценки склонности металла к трещинообразованию при различных режимах прокатки 85

Производство труб

- А. С. Алещенко, К. Нгуен, Ю. В. Гамин, А. Р. Шамилов.* Исследование износостойкости оправок при раскатке труб из стали 20Х13 93

Экология и рециклинг

- О. В. Максимова, В. А. Филичкина, Ю. В. Сомова.* Анализ динамики выбросов черного углерода на территории, прилегающей к Магнитогорскому металлургическому комбинату 98

Журнал "Черные металлы"

по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в

"Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук"

Исследование плавности хода зубчатого одноподвижного плоского планетарного механизма при применении уравновешенной конструкции водила

Л. Н. Гудимова, доцент кафедры механики и машиностроения Института передовых инженерных технологий¹, канд. техн. наук, эл. почта: lyu-qudivova@yandex.ru

И. А. Серебряков, аспирант¹

¹ Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия.

Представлено исследование одноподвижного планетарного механизма, в котором водило соединено с дополнительными рычагами, выполненными в форме двух полуколец. Изучены две разные формы водила: водило-балансир и водило-рычаг при помощи метода сравнения и анализа практических исследований на лабораторном диагностическом стенде. Конструкция водило-балансир обеспечивает более плавный ход зубчатой передачи, что подтверждается наличием гармонического типа колебаний на осциллограмме по сравнению с шумоподобным типом колебаний у водила-рычага. При повышении оборотов двигателя более 120 об/мин на осциллограмме при анализе водила-балансир отмечены незначительные колебания, что указывает на неточности при изготовлении зубчатых колес планетарного механизма и отсутствие подшипников качения на валах. Но, несмотря на это, показатели изменения напряжения имеют меньшие колебания при применении водила-балансир по сравнению с водилом-рычагом, что доказывает рациональность его применения при проектировании планетарных редукторов нового поколения.

Ключевые слова: планетарный редуктор, подвижность механизма, сателлит, водило-балансир, водило-рычаг, частота вращения, напряжение, осциллограмма, балансировка без учета деформаций и изменения межосевого расстояния, продольная и высотная модификация профилей зубьев.

DOI: 10.17580/chm.2023.10.08

Введение

Одной из актуальных задач современного машиностроения является импортозамещение планетарных редукторов. В настоящее время во многих отраслях промышленности, в частности на предприятиях черной металлургии, в кинематических схемах приводов машин используют импортные планетарные редукторы [1–3], которые обладают рядом преимуществ перед зубчатыми. С учетом того что в основном производственный процесс непрерывный и требует своевременного обеспечения новыми установками и механизмами, в том числе и редукторами, актуальны разработка новых и модернизация отечественных конструкций, позволяющих увеличить их мощностные характеристики, надежность, производительность, срок службы и др. На металлургических предприятиях, где производственный цикл начинается с горно-обогатительного передела, для обогащения железорудного концентрата применяют оборудование мокрой магнитной сепарации (например, ПБМ-90/250), в котором непрерывный процесс обогащения достигается за счет работы мотор-редуктора (например, МПз 30-80), в составе которого имеется планетарная передача. Решение задач по увеличению мощностных характеристик, повышению надежности и сроков службы позволит металлургическим предприятиям получать обогащенный концентрат для производства черных металлов в непрерывном цикле. Улучшением конструкций планетарных редукторов занимаются на протяжении более 100 лет [4–9]. Изучение патентных

и научных исследований конца XX в. – начала XXI в. позволяют сделать вывод, что решаемые задачи были направлены на устранение существующих недостатков в известных конструкциях планетарных механизмов, например: снижение шума за счет установки демфирующих элементов, уменьшение несоосности ведущего и ведомого валов путем сокращения межосевого расстояния, динамических и вибрационных нагрузок в результате конструктивного изменения механизма снятия движения с сателлита, повышение нагрузочной способности при создании конструкции в местах соединения сателлитов, обеспечивающих самоустанавливаемость звеньев передачи.

В данной работе рассмотрена отличная от существующих конструкций планетарная передача, которая представляет новую конструкцию уравновешенной многосателлитной одноподвижной планетарной передачи, где движение передается всеми сателлитами. Впервые такой подход к созданию планетарных редукторов нового поколения обосновал профессор Л. Т. Дворников. После глубокого анализа научных исследований в области проектирования планетарных механизмов различного назначения он убедительно доказал и теоретически обосновал, что «единственно верным подходом к созданию совершенных машин является подход, фундаментально базирующийся на полном удовлетворении формулы подвижности» [10, 11]. Исследования, проведенные авторами, являются продолжением этого научного направления.

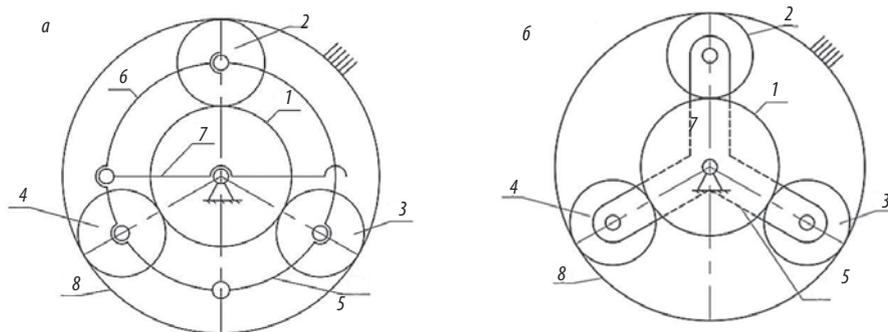


Рис. 1. Структурная схема одноподвижного планетарного (а) и трехсателлитного механизмов со стандартным водилом (б)

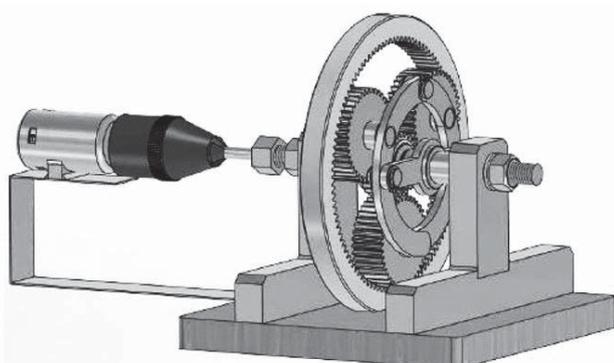


Рис. 2. Трехмерная модель экспериментального устройства одноподвижного редуктора

Целью данной работы является изучение плавности хода зубчатого одноподвижного трехсателлитного планетарного механизма с новой уравновешенной конструкцией водила [12].

Материалы и методика исследования

Результаты научного исследования, подтверждающие теоретически обоснованную теорию профессора Л. Т. Дворникова, в соответствии с которой планетарные механизмы с числом сателлитов, равным числу дополнительно введенных в структуру звеньев, обеспечивают одновременно передачу вращающего момента всеми сателлитами и являются статически определенными одноподвижными структурами, приведены в работах [11, 13]. Согласно схемам **рис. 1, а**, подвижность такой структуры планетарного редуктора по формуле П. Л. Чебышева $W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 7 - 6 = 1$, а широко применяемого трехсателлитного (см. **рис. 1, б**) — $W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 5 - 6 = -1$, т. е. конструкция таких механизмов является статически неопределимой системой, которая работает с принуждением.

Доказав перспективность и необходимость дальнейшего изучения новых конструкций планетарных механизмов в работе [13], авторы продолжили исследования на ранее изучаемой структуре трехсателлитного одноподвижного редуктора, кинематическая схема которого (см. **рис. 1, а**), в отличие от известного трехсателлитного (см. **рис. 1, б**), в своей структуре, кроме сепараторной шестерни 1, трех сателлитов 2, 3 и 4, неподвижного центрального колеса 8

и водила 5 (см. **рис. 1, б**) и 7 (см. **рис. 1, а**), содержит два трехпарных промежуточных звена, выполненных полукольцами 5 и 6, а водилом является линейное звено, длина которого принята равной двум межосевым расстояниям.

Первые экспериментальные исследования, проведенные на созданной физической трехмерной модели с использованием автоматизированной программы T-Flex на базе структуры запатентованного трехсателлитного планетарного редуктора (**рис. 2**) [14], в котором длина водила равна двум межосевым расстояниям, показали, что такая конструкция, несмотря на утверждение автора изобретения об обеспечении равномерной передачи инерционных сил и уравнивании дополнительных рычажных звеньев, не обеспечивает полного уравнивания. Объяснить это можно тем, что на одной стороне водила находится отверстие для соединения с дополнительно введенным в структуру звеном, за счет которого центр тяжести смещается и не находится на середине полной длины водила. Назовем такую конструкцию водило-рычаг [14].

С целью исключения этого недостатка в работе рассмотрена новая конструкция водила, названная авторами водило-балансир (**рис. 3**). Сохраняя условие, при котором длина водила равна двум межосевым расстояниям редуктора, его требуемая конструкционная длина для определения центра тяжести водила O_1 составит $L = 2a_w + x_1 + \Delta$ (см. **рис. 3, а**), обеспечивая совмещение с центром осей вращения солнечной шестерни O и ведомого вала.

Расчет основан на формуле, определяющей центр тяжести сложного сечения детали с двумя отверстиями определенных диаметров. Расстояние x_1 является известной величиной и зависит от диаметра отверстия d_1 . Следовательно, расчетным параметром является размер Δ , который обеспечивает совмещение требуемых центров (см. **рис. 3, б**).

Работа новых структур уравновешенного планетарного механизма с двумя различными видами водил изучена на лабораторном стенде с электродвигателем, пусковой и измерительной аппаратурой (**рис. 4**).

Устанавливая поочередно в схему стенда изготовленные редукторы с конструкцией водило-рычаг, длина которой равна двум межосевым расстояниям, и с новой конструкцией водило-балансир, оценили плавность зацепления сателлитов с солнечной шестерней изменением в секунду величины подаваемого напряжения в течение 1 мин.

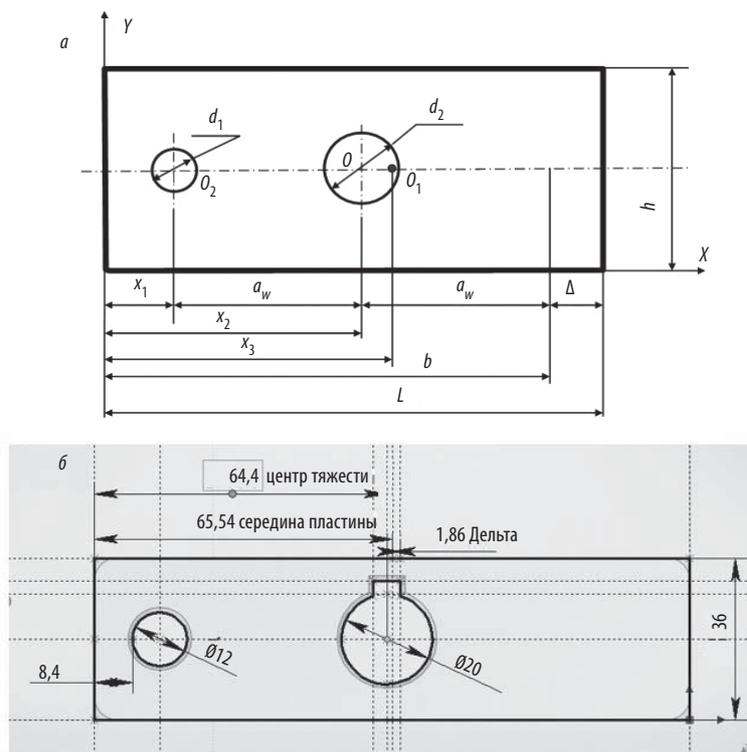


Рис. 3. Эскиз для расчета длины водила-балансира (а) и схема с полученными результатами (б)

Диагностическая схема лабораторного стенда (**рис. 5**) включает: источник питания 1, блок питания 2, тумблеры 3, регуляторы оборотов 4, электродвигатель 5, параллельную электрическую схему для исследования зубчатого зацепления планетарного механизма, в которую подключена лампа накаливания 6 (визуально указывает на неразрывность контакта), мультиметр 7, персональный компьютер 8, стойку ведущего вала 9, ведущий вал 10, центральное зубчатое колесо 11, сателлиты 12, 13 и 14 (на диагностической схеме не показаны), водило 15, ведомый вал 16 и стойку ведомого вала 17.

Работа стенда происходит следующим образом. От электрического привода крутящий момент передается на планетарный механизм, обороты которого регулируют регуляторы. Диагностика осуществляется при помощи электрической схемы, проходящей через все электрические элементы стенда. Контакт зубчатого зацепления отображается на цифровом мультиметре, который при помощи фиксации напряжения передает данные на персональный компьютер, служащий осциллографом.

В используемой диагностической схеме электродвигатель соединен не напрямую с планетарным механизмом, так как иначе не будет возможности изменения частоты вращения без влияния на ток и напряжения в цепи. Поэтому в качестве источника передачи вращения на планетарный механизм применена конструкция готового привода, способная изменять частоту вращения электродвигателя при следующих параметрах $n = 55; 107,5$ и 120 об/мин.

Длительность замера напряжения на диагностической схеме — 1 мин. Данные с диагностической схемы фиксируются цифровым мультиметром, который подключается от COM-порта (communications port — порт для последовательной

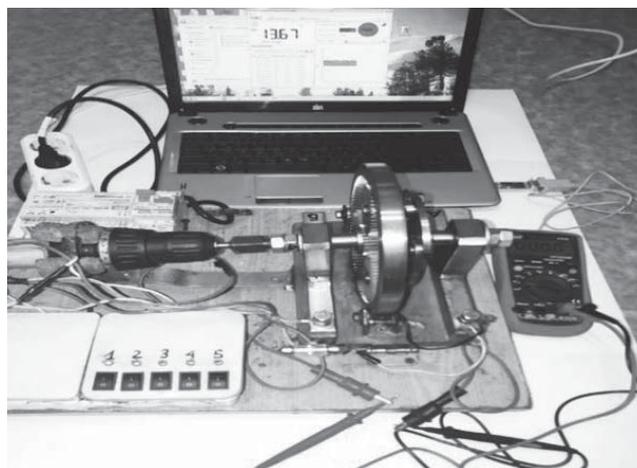


Рис. 4. Лабораторный испытательный стенд

передачи данных) к переходнику Мастер Кит VM8050 и сопрягается с персональным компьютером посредством интерфейса USB (universal serial bus), передавая данные в программное обеспечение UT61B V3.03, позволяющее строить графики — осциллограммы во временном интервале, равном 1 с.

Результаты исследования и их обсуждение

Обе конструкции изучаемых редукторов являются одноподвижными трехсателлитными планетарными редукторами, в отличие от стандартного трехсателлитного (см. рис. 1, б). В составе каждого из них присутствует два дополнительно введенных в структуру звена-рычага, которые являются группой нулевой подвижности.

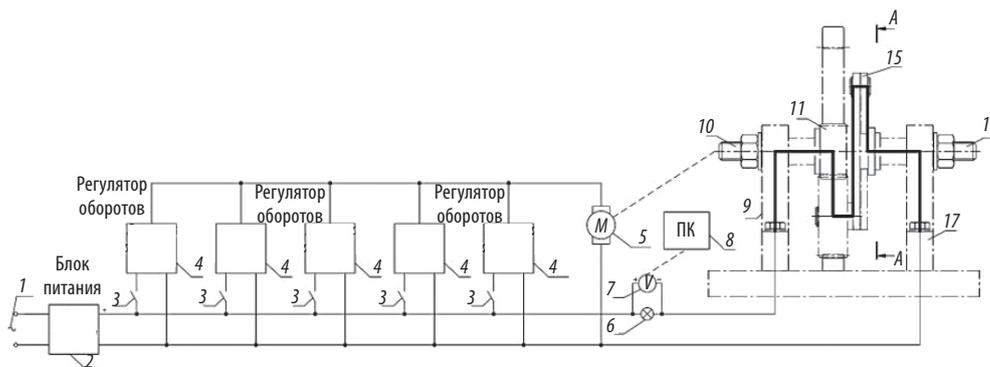


Рис. 5. Диагностическая схема лабораторного стенда

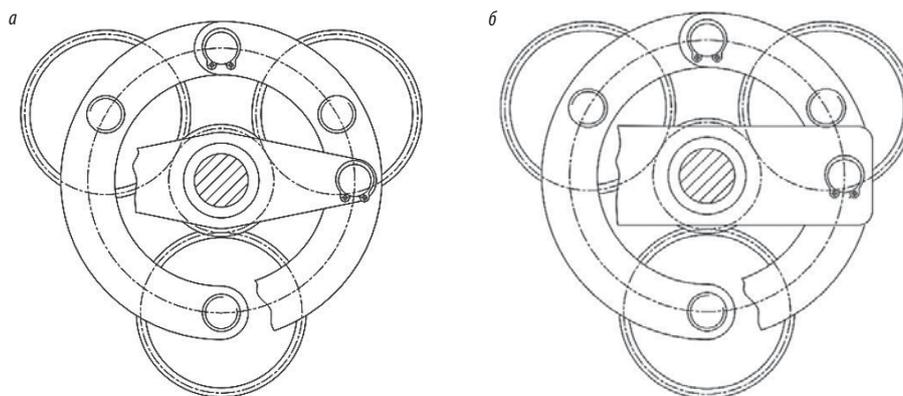


Рис. 6. Конструкция водила-рычага (а) и водила-балансира (б)

Внешне они выглядят идентичными, однако их существенное различие заключается в том, что длина водила-рычага (рис. 6, а) принята, согласно работе [14], равной удвоенному межосевому расстоянию, а длина водила-балансира (см. рис. 6, б) определена из условия совмещения центра тяжести его конструкции с осью вращения валов.

Размеры водила-балансира (см. рис. 3) рассчитаны с применением компьютерной программы Delphi, на которую авторами получено свидетельство о государственной регистрации для автоматизированного расчета основных параметров балансира [15]. Результаты исследования убедительно доказывают, что именно такая конструкция водила обеспечивает динамическое уравнивание механизма.

Анализ результатов при проведении испытаний проведен по осциллограммам, показывающим зависимость напряжения от времени $U(t)$, при одинаковом временном диапазоне работы редукторов (1 мин). По данным осциллограммам определяют типы сигналов, возникающих в цепи. Различают несколько типов сигналов: гармонические, однополярные импульсно-периодические и шумоподобные сложных форм [16]. Идеальными или близкими к этому являются гармонические типы сигнала, однако они в силу влияния различных факторов встречается довольно редко. К ним, например, относится работа исследуемого в целом оборудования, в том числе точность изготовления его деталей и характер их соединения, возникающие электрокоррозионные процессы в месте контакта деталей и др. В данном исследовании влияние данных факторов не рассмотрено, и тип сигнала принят

как отображение фактического изменения работы планетарного механизма при применении двух исследуемых конструкций водила.

На рис. 7 представлены осциллограммы измерений напряжения в зубчатом зацеплении планетарного механизма двух конструкций водила. Подаваемое напряжение в электрическую цепь составляет 14 В.

В данном случае наблюдается следующая корреляция между визуализацией типа сигнала и работой планетарного механизма. При работе планетарного механизма вращение передается от ведущего звена к ведомому при помощи водила. Изменения напряжения на графиках, т. е. возникающие колебания на осциллограмме, указывают на плавность передачи вращения в зацеплении при его работе. Анализ графиков для водила-рычага (см. рис. 7, а, в, д) указывает на нарушение плавности работы при вращении зубчатых колес в зацеплении из-за неуравновешенности его конструкции, что и приводит к возникновению динамических ударов. Это влияет на стабильность работы механизма в целом, вызывая шумоподобные сигналы сложной формы.

На осциллограммах для конструкции водило-балансира наблюдается сигнал, близкий к гармоническому типу (см. рис. 7, б, з, е). Гармонический тип сигнала отражает работу планетарной передачи, близкой к идеальной.

Отметим, что на рис. 7, е осциллограмма при частоте вращения 120 об/мин имеет три пика, что свидетельствует о переходе сигнала из гармонического типа в напоминающий шумоподобный сигнал сложных форм в течение

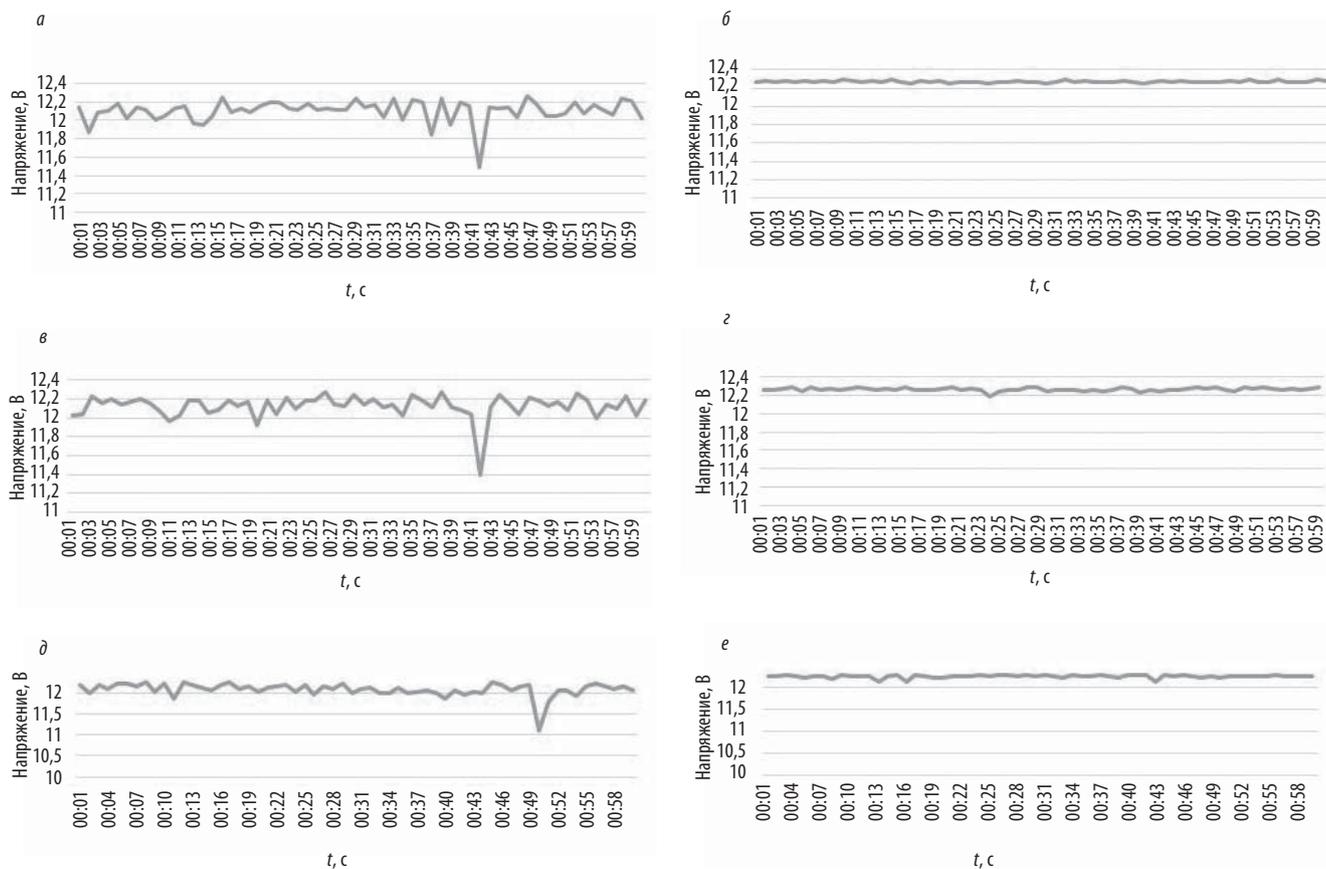


Рис. 7. Осциллограммы напряжений при работе механизмов водило-рычаг (а, в, д) и водило-балансир (б, г, е) и при частоте вращения электродвигателя 55 (а, б); 107,5 (в, г) и 120 (д, е) об/мин

определенного времени. Но, несмотря на это работа передачи с водилом-балансиром имеет меньше шумов на осциллограмме, чем с водилом-рычагом, а отклонение от подаваемого напряжения составляет 8,3 % по сравнению с водилом-рычагом (18 %).

Данный фактор указывает на то, что при увеличении скорости вращения происходит ухудшение плавности зацепления зубчатых колес в планетарной передаче. Нарушение плавной работы зубчатого зацепления является фактором кинематической погрешности — разницы между номинальным углом поворота и действительным. Это вызвано погрешностью шага и профиля зуба и приводит к колебаниям измерительных межосевых расстояний. Устранить данный недостаток можно путем увеличения степени точности изготовления зубчатых колес. Возможности при изготовлении зубчатых колес в экспериментальных редукторах позволили обеспечить только 9-й квалитет точности. Отметим и тот факт, что в диагностическом стенде на плавность работы влияет еще одна причина. Валы установлены в подшипниках скольжения, которые допускают посадку с зазором, а следовательно, вызывают колебания при повышенных скоростях и изменение типов сигнала на осциллограммах. Перечисленные недостатки приводят к систематическому, хаотичному мгновенному ускорению ведомых узлов, к повышенной вибрации, шуму и отсутствию плавности хода, что снижает надежность работы планетарной передачи.

Проведение аналогичных исследований на редукторах, валы которых установлены в подшипниках качения, обеспечивающих самоустанавливаемость и изготовление зубчатых колес по 6–7 квалитету точности, является следующим этапом изучения факторов, влияющих на плавность хода зубчатого зацепления.

Вывод

На основании проведенных исследований плавности хода зубчатого одноподвижного трехсателлитного планетарного механизма при применении уравновешенной конструкции водило-балансир установлено, что данная модификация обеспечивает более плавный ход зубчатой передачи, что подтверждается гармоническим типом колебаний на осциллограмме. Выявлены факторы, влияющие на изменение типа колебаний при повышении частоты вращения двигателя. Устранить недостатки можно путем повышения точности изготовления зубчатых колес планетарного механизма и установки валов в подшипниках качения. Однако показатели изменения напряжения имеют меньшие колебания при применении водила-балансир по сравнению с водилом-рычагом и убедительно доказывают рациональность применения водила-балансир при проектировании планетарных редукторов нового поколения. Таким образом, обеспечение плавности хода зубчатого одноподвижного трехсателлитного планетарного механизма с применением новой конструкции уравновешенного водила

позволяет повысить мощность редуктора, надежность и срок его эксплуатации. Улучшая показатели редуктора, как следствие, можно повысить показатели производственно-технологического оборудования, использованного в производственном цикле черных металлов. В перспективе планируется установка нового усовершенствованного редуктора на оборудование, используемое в технологическом цикле металлургического производства, а именно на сепаратор ПБМ-90/250. Внедрение данного редуктора в конструкцию сепаратора позволит увеличить его производительность. 

Библиографический список

1. Hu Y., Talbot D., Kahraman A. A load distribution model for planetary gear sets // Proceedings of the ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Vol. 10: 2017 ASME International Power Transmission and Gearing Conference. Cleveland, Ohio, USA. August 6–9, 2017. V010T11A008. ASME. DOI: 10.1115/DETC2017-68354.
2. Miladinović S., Gajević S., Stojanović B., Milojević S. Optimization of ravnigean planetary gear set // 4th international scientific conference "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" COMETA 2018. East Sarajevo – Jahorina, B&H, RS. P. 366–373.
3. Vullo V. Gear trains and planetary gears // Gears. 2020. Vol. 10. Springer, Cham. P. 695–772. DOI: 10.1007/978-3-030-36502-8_13.
4. Пат. 2098696 С1 РФ. Планетарный редуктор / В. А. Толмачев; заявл. 22.01.1996; опубл. 10.12.1997.
5. Пат. 92925 У1 РФ. Планетарный редуктор / К. Г. Морозов, С. С. Прокшин, В. К. Итбаев, М. Г. Коврижкин; заявл. 08.12.2009; опубл. 10.04.2010.

"Chernye metally", 2023, No. 10, pp. 49–54
DOI: 10.17580/chm.2023.10.08

Study of the smooth running of a geared single-moving flat planetary mechanism when using a balanced carrier design

Information about authors

L. N. Gudimova, Cand. Eng., Associate Prof., Dept. of Mechanics and Mechanical Engineering¹, e-mail: lyu-gudiova@yandex.ru;

I. A. Serebryakov, Graduate Student¹

¹ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia.

Abstract: At the present time, the study of planetary mechanisms is topical. The object of this work was a single-moving planetary mechanism, in which the carrier is made in the form of two half-rings and the carrier is a balancer. Studies were made of two different forms of carrier, carrier-balancer and carrier-lever. The study was carried out using the method of comparison and analysis of practical studies on a laboratory diagnostic stand of two types of carriers for a planetary gearbox. The findings indicate that the design of the carrier-balancer provides a smoother gearing. The argumentative data of this fact is displayed by the presence of a harmonic type of oscillations on the oscillogram in comparison with the noise-like type of oscillations of the carrier-lever. With an increase in engine speed over 120 rpm, the oscillogram during the analysis of the carrier-balancer visualizes slight fluctuations, which indicates inaccuracies in the manufacture of gear wheels of the planetary mechanism and the absence of rolling bearings on the shafts. But even despite this, the voltage change indicators have smaller fluctuations when using a carrier-balancer compared to a carrier-lever, which proves the rationality of using a carrier-balancer when designing planetary gearboxes of a new generation.

Key words: planetary reducer, mobility of the mechanism, satellite, driver-balancer, driver-arm, rotation frequency, stress, oscillogram, balancing without taking into account deformations and change of centre-to-centre distance; longitudinal and height modification of tooth profiles.

References

1. Hu Y., Talbot D., Kahraman A. A load distribution model for planetary gear sets. *Proceedings of the ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. Vol. 10: 2017 ASME International Power Transmission

6. Яглинский В. П., Гутыря С. С., Чанчин А. Н. Частотный анализ колебаний планетарного колесного редуктора // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. 2015. № 2 (61). С. 3–10.
7. Пат. 2520887 С1 РФ. Планетарный редуктор / Ф. И. Плеханов, А. И. Абрамов; заявл. 18.02.2013; опубл. 27.06.2014.
8. Кудрявцев В. Н. Планетарные передачи: справочник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1966. — 308 с.
9. Руденко Н. Ф. Планетарные передачи. Теория, расчет, применение и проектирование. — 3-е изд., испр. и доп. — М.; Л.: Mashgiz, 1947. — 756 с.
10. Пат. 2541049 С1 РФ. Самоустанавливающийся трехсателлитный планетарный редуктор // Л. Т. Дворников, С. П. Герасимов; заявл. 06.12.2013; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4.
11. Дворников Л. Т., Герасимов С. П. Принципиальные проблемы многосателлитных планетарных зубчатых передач и возможные пути их разрешения // Фундаментальные исследования. 2017. № 12(1). С. 44–51.
12. Пат. 12257 РФ. Самоустанавливающийся трехсателлитный планетарный механизм / Л. Н. Гудимова, И. А. Серебряков, Л. Т. Дворников; заявл. 27.04.2022; опубл. 13.07.2022, Бюл. 20.
13. Гудимова Л. Н., Серебряков И. А. К вопросу о распределении нагрузки в многосателлитных планетарных редукторах // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 10. С. 243–249.
14. Пат. 186099 РФ. Уравновешенный трехсателлитный планетарный механизм / Я. А. Хайдукова; заявл. 29.03.2017; опубл. 29.12.2018.
15. Серебряков И. А., Гудимова Л. Н., Калачнюк В. О. Программа Delphi для автоматизированного расчета основных параметров балансира, служащего водилом в трехсателлитной планетарной передаче. № 2022614187. Правообладатель ФГБОУ ВО «СибГИУ». 2022 г.
16. Татур Т. А. Основы теории электрических цепей: учебное пособие. — М.: Высшая школа, 2016. — 272 с.

and Gearing Conference. Cleveland, Ohio, USA. August 6–9, 2017. V010T11A008. ASME. DOI: 10.1115/DETC2017-68354.

2. Miladinović S., Gajević S., Stojanović B., Milojević S. Optimization of ravnigean planetary gear set. 4th international scientific conference "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" COMETA. 2018. East Sarajevo – Jahorina, B&H, RS. pp. 366–373.
3. Vullo V. Gear trains and planetary gears. Gears. 2020. Vol. 10. Springer, Cham. pp. 695–772. DOI: 10.1007/978-3-030-36502-8_13.
4. Tolmachev V. A. Planetary reduction gear. Patent RF, No. 2098696. Applied: 22.01.1996. Published: 10.12.1997.
5. Morozov K. G., Prokshin S. S., Itbaev V. K., Kovrizhkin M. G. Planetary reduction gear. Patent RF, No. 92925. Applied: 08.12.2009. Published: 10.04.2010.
6. Yaglinsky V. P., Gutyrya S. S., Chanchin A. N. Frequency analysis of vibrations of a planetary wheel gearbox. *Vestnik GGTU imeni P. O. Sukhogo*. 2015. No. 2 (61). pp. 3–10.
7. Plekhanov F. I., Abramov A. I. Planetary reduction gear. Patent RF, No. 2520887. Applied: 18.02.2013. Published: 27.06.2014.
8. Kudryavtsev V. N. Planetary gears: Reference book. Moscow: Mashinostroenie, 1966. 308 p.
9. Rudenko N. F. Planetary gears. Theory, calculation, application and design. Moscow, Leningrad: Mashgiz. 1947. 756 p.
10. Dvornikov L. T., Gerasimov S. P. Self-aligning three-planet planetary gearbox. Patent RF, No. 2541049. Applied: 06.12.2013. Published: 10.02.2015, Bulletin No. 4.
11. Dvornikov L. T., Gerasimov S. P. Fundamental problems of multi-satellite planetary gears and possible ways to solve them. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2017. No. 12 (1). pp. 44–51.
12. Gudimova L. N., Serebryakov I. A., Dvornikov L. T. Self-aligning three-planet planetary gear. Patent RF, No. 12257. Applied: 27.04.2022. Published: 13.07.2022, Бюл. 20.
13. Gudimova L. N., Serebryakov I. A. On the issue of load distribution in multi-satellite planetary gearboxes. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2022. No. 10. pp. 243–249.
14. Khaidukova Ya. A. Balanced three-satellite planetary gearset. Patent RF, No. 186099. Applied: 29.03.2017. Published: 29.12.2018.
15. Serebryakov I. A., Gudimova L. N., Kalachnyuk V. O. Delphi program for automated calculation of the main parameters of the balancer serving as a carrier in a three-satellite planetary gear. No. 2022614187. Copyright holder: SibGIU. 2022.
16. Tatur T. A. Fundamentals of the electrical circuits theory: tutorial. Moscow: Vysshaya shkola, 2016. 272 p.