

rely on sharp reflexes and sensory-motor coordination. Here, the pilot is part of the control loop, adapting to real-time video feedback to adjust inputs via a controller.

Additionally, wearable exoskeletons and robotic training assistants—emerging technologies in both sports and rehabilitation—combine biological and mechanical control systems, creating a hybrid control ecosystem.

Control theory offers a powerful lens through which to analyze both the elegance of human movement and the precision of aerial robotics. Whether it's an athlete refining their jump shot or a drone adjusting its course mid-air, the same principles of feedback, adaptation, and optimization are at work. As technology continues to evolve, control theory will remain central to unlocking new frontiers in human performance and autonomous robotics.

References

1. Nonlinear Systems – Hassan K. Khalil (for PID, LQR, and MPC theory)
2. Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice – Randal W. Beard, Timothy W. McLain (covers UAV dynamics & control)
3. Automatic Control of Aircraft and Missiles – John H. Blakelock (classical & modern control methods)
4. PID vs. LQR Control for Quadrotor Drones: A Comparative Study"– IEEE Transactions on Control Systems Technology (2021)
5. "Robust H_∞ Control for Quadrotor Trajectory Tracking" – American Control Conference (ACC) (2019)
10. Real-Time Aerial Tracking of Athletes Using AI and Computer Vision" – Sports Engineering (2022)
14. "Wearable Sensors + Drones for Real-Time Biomechanical Feedback in Athletics" – IEEE Sensors Journal (2022)
16. MATLAB/Simulink for UAV Control Design – MathWorks UAV Toolbox
- "Ethical and Safety Considerations in Sports Drones" – International Journal of Robotics Ethics (2021)

УДК 621.833

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ЦИКЛОИДАЛЬНОГО РЕДУКТОРА

Паршев В.В., Гришков Т.А.

Научный руководитель – Холод П.В., ассистент кафедры

В сложных механических системах растёт интерес к нестандартным типам редукторов. Примером является циклоидальный редуктор –

механизм, в котором сочетаются простота кинематики и выдающиеся эксплуатационные характеристики. Однако дальнейшее совершенствование конструкции возможно за счёт внедрения новых форм взаимодействия между элементами передачи.

В данной работе рассматривается вариант циклоидального редуктора, в котором применяется шевронное зацепление – форма зубчатого сопряжения, позволяющая добиться более плавного и надёжного контакта между элементами. Это решение направлено на улучшение характеристик редуктора, в первую очередь для использования в сервоприводах, где крайне важны точность позиционирования, стабильность крутящего момента и минимизация люфта.

Классическая конструкция циклоидального редуктора основана на использовании эксцентрикового вращения, при котором циклоидальный диск совершает качательное движение относительно неподвижного венца, оснащённого штифтами или роликами. Это создаёт характерное перемещение, преобразующее высокочастотное вращение входного вала в медленное и мощное вращение выходного звена. Несмотря на высокую нагрузочную способность и компактность, такой редуктор в стандартном исполнении страдает от ограничений, связанных с точечным контактом, приводящему к локальному износу и вибрациям при работе под нагрузкой.

Применение шевронного зацепления в качестве контактной пары между циклоидальным элементом и неподвижным венцом позволяет перейти от точечного к линейному контакту. За счёт этого улучшаются динамические характеристики редуктора, снижается уровень шума и вибраций, увеличивается срок службы. Кроме того, конструкция с шевронным зацеплением в условиях обратной связи с датчиком положения позволяет достичь почти полного отсутствия люфта, что критично для точного позиционирования в сервосистемах.

Исходными данными для проектирования редуктора являются: a – ширина корпуса квадратной формы, h – толщина корпуса, U – передаточное отношение, m – модуль зуба, β – угол наклона зуба a_v – расстояние между отверстиями, $d_{ко}$ – диаметры корпусных отверстий. Исходные данные для расчёта показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта

Показатель	a , мм	h , мм	U	m , мм	β , °	a_v , мм	$d_{ко}$, мм
Значение	42	15	15	1	30	31	3.5

Изначально редуктор проектировался как классический циклоидальный редуктор. Результирующими параметрами расчёта являются: $Z_{вол}$ – число зубьев циклоидального диска, $Z_{кор}$ – число зубьев коронного кольца, e –

эксцентриситет, d_o – диаметр окружности, образующей массив отверстий циклоидального диска, $d_{экс}$ – диаметр ведущего (эксцентрикового вала), $d_{дшо}$ – диаметр окружности, вписанной в шестигранное отверстие эксцентрика, d_o – диаметры отверстий циклоидального диска, $d_{пр}$ – диаметры роликов выходного вала, $d_{вол}$ – максимальный диаметр циклоидального диска, $d_{кор}$ – минимальный диаметр коронного кольца, b – толщина циклоидального диска, $b_{пер}$ – толщина муфты и входного диска. Расчёты выполнены в MS Excel по формулам, приведённым в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта циклоидального редуктора

Параметр	Формула расчёта	Значение
$Z_{вол}$	$=\left[\left(\frac{a - 4,4 \cdot m}{2 \cdot m}\right)^2 / (U + 1)\right] \cdot U$	30
$Z_{кор}$	$=Z_{вол} / U \cdot (U + 1)$	32
e , мм	$=(Z_{кор} - Z_{вол}) \cdot m / 2$	1
d_o , мм	$=Z_{вол} \cdot m \cdot 0,7$	21
$d_{экс}$, мм	$=Z_{вол} \cdot m \cdot 0,4$	12
$d_{дшо}$, мм	$=d_{экс} \cdot 0,6$	7.2
d_o , мм	$=Z_{вол} \cdot m \cdot 0,15$	4.5
$d_{пр}$, мм	$=d_{отв} - 2 \cdot e$	2.5
$d_{вол}$, мм	$=(Z_{кор} + Z_{вол}) / 2 \cdot m - 0,2$	30.7
$d_{кор}$, мм	$=(Z_{кор} + Z_{вол}) / 2 \cdot m + 0,2$	31.3
b , мм	$=\lfloor h / 3 \rfloor$	5
$b_{пер}$, мм	$=\lfloor (h - 2 \cdot m) / 2 - 0,1 \rfloor$	2.4

Примечание – $\lfloor x \rfloor$ оператор взятия целого, $\lceil x \rceil$ округления вверх.

Чертёж редуктора с основными параметрами представлен на рисунке 1.

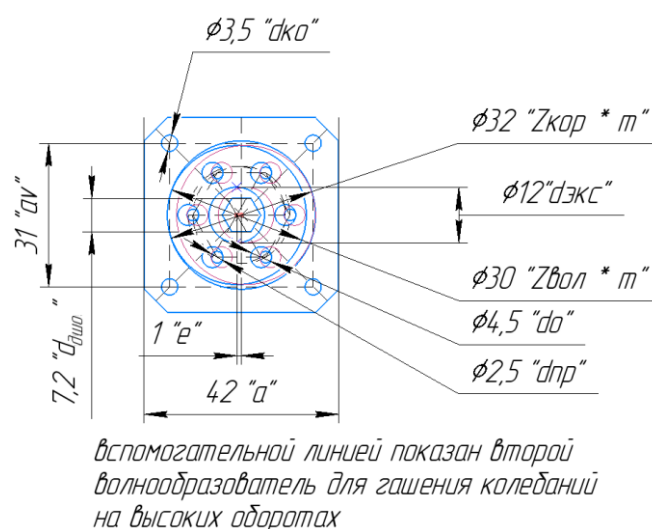


Рис.1. Чертёж редуктора.

Расчётные параметры редуктора представлены на рисунке 2.

Глобальные переменные			
"mt"	= 1	1.00	тангенсальный модуль
"alpha"	= 20	20.00	угол зацепления
"beta"	= 30	30.00	угол наклона
"mn"	= "mt" * cos ("beta")	0.87	нормальный модуль
"b"	= 5	5.00	толщина колеса
"Z"	= 30	30.00	число зубьев
"d"	= "mt" * "Z"	30.00	делительный диаметр
"da"	= "d" + "mn" * 2	31.73	диаметр вершин
"zv"	= "Z" / cos ("beta") ^ 3	46.19	эквивалентное число зубьев
"dv"	= "zv" * "mn"	40.00	эквивалентный делительный диаметр
"Dbv"	= "dv" * cos ("alpha")	37.59	эквивалентный касательный диаметр
"Dfv"	= "dv" - "mn" * 2.5	37.83	эквивалентный диаметр впадин зуба
"Sv"	= "dv" * pi / ("zv" * 2)	1.36	шаг зуба

Рис.2. Расчёты для шевронного зацепления.

Редуктор был смоделирован в CAD ПО SolidWorks 2023 и изготовлен при помощи 3D печати. Результаты моделирования и готовое изделие представлены на рисунке 3:



Рис.3. Модель редуктора в SolidWorks и готовое изделие.

Для сервоприводов, особенно в робототехнических и мехатронных приложениях, подобное решение представляет особую ценность. Высокая жёсткость и минимальный обратный ход обеспечивают точную реакцию на управляющее воздействие, без задержек и паразитных колебаний. Плавность хода, достигнутая благодаря шевронному зацеплению, повышает устойчивость системы к механическим колебаниям и улучшает качество работы алгоритмов управления. Наконец, способность такой передачи выдерживать резкие и непредсказуемые нагрузки делает её подходящей для использования в манипуляторах, приводах суставов и других критически нагруженных узлах.

Литература

1. Ма В. Проектирование цевочной передачи с модифицированным профилем зуба колеса: магистерская диссертация / Науч. рук. А. О. Бознак. – Томск: ТПУ, 2021.
2. Хоу Ч. Проектирование редуктора на базе циклоидальной передачи с двойным зацеплением: магистерская диссертация / Науч. рук. Ю. Б. Червач. – Томск: ТПУ, 2020.

УДК 621.833

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КООРДИНАТ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЕЧНОЙ ТОЧКИ МАНИПУЛЯТОРА В УГЛЫ ПОВОРОТА ЗВЕНЬЕВ

Паршев В.В., Шевченко А.В.

Научный руководитель – Матрунчик Ю.Н., ст. преподаватель

Манипулятор представляет собой многозвенный механизм с захватным устройством на конце, который имитирует движения руки человека. Конструктивно манипулятор, как правило, состоит из захватного устройства (рабочего органа), исполнительного механизма и привода. Захватное устройство – конечный узел манипулятора, обеспечивает захватывание и удержание в определённом положении объекта манипулирования. Исполнительный механизм представляет собой совокупность подвижно соединённых звеньев для перемещения объекта манипулирования. Шарнирно-рычажные и телескопические сочленения звеньев обеспечивают рабочему органу манипулятора различные степени подвижности (например, линейные и угловые перемещения, вращения, захват и удержание).

В данной работе рассматривается проектирование трёхзвеньевого манипулятора. Основными данными для расчёта являются длины всех звеньев манипулятора (l_1 , l_2 , h) и угол «Alpha». Основной целью расчёта является преобразование конечной точки манипулятора для в углы поворота звеньев (a_1 , a_2 , a_3 и a_4). Схема манипулятора представлена на рисунке 1.