

ним действием. Методики экспериментального определения  $U_0$  разработаны и хорошо известны [1, 2].

Из (19) устанавливается термомеханическая константа материала,

$$\frac{\sigma_{th}}{T_S} = E \frac{\alpha_V k}{C_a} \ln \frac{k\theta_D}{h} = \theta_\sigma. \quad (21)$$

Константа Сосновского  $\theta_\sigma$  характеризует потерю прочности, приходящуюся на 1К.

**Выводы.** Таким образом, авторами разработан энергетический критерий работоспособности несущих элементов АСИПП-техники. Разработанный критерий носит универсальный характер для пар трения износоконтактного взаимодействия.

**Список литературы:** 1. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526с. 2. Приймаков О.Г. Системне прогнозування працездатності несучих елементів авіаційних конструкцій: автореферат дис...докт.техн.наук. – Харків: вид. ПМаш ім. А.М. Підгорного, 2007. – 38с. 3. Приймаков О.Г., Градиський Ю.О. Теорія зносостійкої витривалості та і застосування в машинобудуванні. – Харків: Оберіг, 2009. – 336с. 4. Приймаков О.Г., Градиський Ю.О. Витривалість конструкційних матеріалів при абразивному зношуванні. – Харків: Оберіг, 2009. – 383с. 5. Приймаков О.Г., Градиський Ю.О., Приймаков Г.О. Прогнозування витривалості та загальної працездатності несучих елементів авіаційних конструкцій. – Харків: Оберіг, 2010. – 247с. 6. Сосновский Л.А. Сюрпризы трибофатики / Л.А. Сосновский, С.С. Щербаков. – Гомель: УО "БелГУТ", 2005. – 194с.

Поступила в редколлегию 09.03.2013

УДК 621.833.7: 614.84

**Энергетический критерий работоспособности несущих элементов машиностроительных конструкций / А.Г. Приймаков, А.В. Устиненко // Вісник НТУ "ХПІ".** Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №40(1013). – С.116-121. – Бібліогр.: 6 назв.

Розроблено енергетичний критерій працездатності несучих елементів аварійно-рятувальної, інженерної та протипожежної техніки з позицій трибофатики як основи проектування цієї техніки. Визначені параметри напружено-деформованого стану несучих елементів з допомогою енергетичного критерію.

**Ключові слова:** трибофатика, енергетичний критерій, пожежно-технічні засоби, основи проектування.

Developed energy efficiency criterion bearing elements emergency-rescue, engineering and fire-fighting equipment from the position as Tribo-Fatigue design principles of this technique. The parameters of the stress – strain state of carrier elements with the energy criterion.

**Keywords:** tribo-fatigue, energy criterion, fire-hardware, design principles.

УДК 621.833.7: 614.84

**А.Г. ПРИЙМАКОВ**, к.т.н., проф., доцент каф. ОТО АСР НУГЗУ, Харьков;

**А.В. УСТИНЕНКО**, к.т.н., доц., старший научный сотрудник каф. ТММ и САПР НТУ "ХПИ";

**Д.Л. СОКОЛОВ**, к.т.н., доцент каф. ОТО АСР НУГЗУ;

**Е.Н. ГРИНЧЕНКО**, к.т.н., доцент каф. ОТО АСР НУГЗУ

## **РАЗРАБОТКА МАНИПУЛЯТОРОВ С СИЛОВЫМИ ВОЛНОВЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

Предложены конструкции манипуляторов, содержащих силовые волновые механизмы с электро-механическими генераторами волн, обладающие свойствами прецизионного и безинерционного манипулирования. Такие конструкции могут быть использованы для проведения аварийно-спасательных работ в агрессивных средах без непосредственного присутствия человека.

**Ключевые слова:** манипулятор, несущий элемент, гибкое колесо, жесткое колесо, генератор волн, аварийно-спасательные работы.

**Постановка проблемы.** Согласно Концепции и Программы научного обеспечения деятельности Государственной службы Украины чрезвычайных ситуаций от 2012 года одним из основных направлений и задач научного обеспечения деятельности службы есть разработка и создание специальной, противопожарной, поисково-спасательной техники и средств спасения для оснащения подразделений ГСУ ЧС.

При современном развитии производства, военно-промышленного комплекса используются различные материалы, которые отличаются повышенной техногенной опасностью. При возникновении аварий техногенного характера образуются агрессивные среды, где присутствие человека физически невозможно. Поэтому на ГСУ ЧС возлагаются задачи по разработке и использованию роботизированной техники для ликвидации ЧС без непосредственного присутствия человека. Одним из вариантов такой техники являются манипуляторы для выполнения ряда задач по проведению аварийных работ в агрессивных средах. Такие манипуляторы должны обладать рядом свойств: надежностью, прецизионным позиционированием, безинерционностью, быстродействием, простотой управления при эксплуатации, [1-4]. Решение задачи по обеспечению прецизионного позиционирования и безинерционности манипуляторов для выполнения аварийных работ предлагается в данной работе, что делает ее актуальной и практически полезной.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Предлагаются собственные конструкции, включающие в себя силовые волновые механизмы с электромагнитными генераторами волн (респонсины), обеспечивающие отмеченные выше свойства манипуляторов. Подобные свойства конструкции манипуляторов рассматривались в работах [1-2].

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы служит разработка методологии конструирования манипуляторов для выполнения аварийных работ в агрессивных средах при ликвидации аварий техногенного характера.

В разработанных конструкциях используется силовой волновой механизм с электромагнитным генератором волн (респонсин), это позволяет обеспечить манипулятор повышенной надежностью, высокой (прецизионной) точностью позиционирования и практической безинерционностью, [1-3].

Модуль манипулятора представлен на рисунке 1. Модуль манипулятора содержит: 1 – корпус; 2, 3 – выходные звенья; 4 – переходник; 5 – шлицы; 6 – ось; 7 – зубчатое соединение; 8 – гибкое колесо; 9, 10 – зубчатые венцы; 11, 12 – жесткое колесо; 13, 14 – подшипниковые опоры; 15, 16 – статоры; 17, 18 – роторы электродвигателя; 19, 20 – подшипниковые опоры; 21, 22 – генераторы волн.

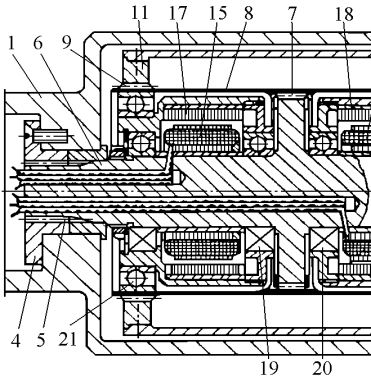


Рисунок 1 – Модуль манипулятора

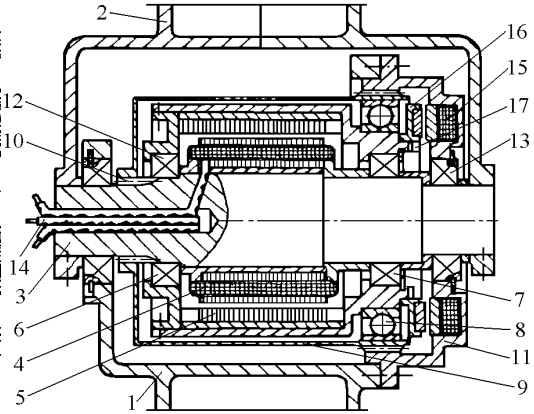


Рисунок 2 – Шарнир манипулятора

Модуль манипулятора работает следующим образом. При подводе напряжения к статорам 15 и 16 начинают вращаться роторы 17 и 18, а вместе с ними и генераторы 21 и 22 волн. Каждый генератор волн деформирует свой зубчатый венец гибкого колеса 8, которое неподвижно, так как связано через зубчатое соединение 7 и ось 6 с корпусом 1. Вследствие деформирования зубчатых венцов 9 и 10 гибкого колеса 8 и их зацепления соответственно с жесткими колесами 11 и 12 последние получают вращение и сообщают его выходным звеньям 2 и 3.

Напряжение может быть подано на два статора 15 и 16 или только на один из них. В зависимости от этого вращение получают оба выходных звена 2 и 3 или только одно из них. Выходные звенья 2 и 3 могут также вращаться с разной угловой скоростью в одном и противоположном направлениях.

Шарнир манипулятора (рисунок 2) включает в себя: 1 – ведущее звено; 2 – ведомое звено; 3 – ось шарнира; 4 – статор электродвигателя; 5 – полый цилиндрический ротор; 6, 7 – подшипники; 8 – генератор волн; 9 – гибкое зубчатое колесо; 10 – шлицы; 11 – жесткое колесо; 12, 13 – подшипники; 14 – токопроводы; 15 – статор электромагнитного тормоза; 16 – якорь; 17 – шлицы.

Шарнир манипулятора работает следующим образом. При подводе напряжения по токопроводам 14 к обмотке статора 4 электродвигателя получает вращение полый цилиндрический ротор 5 и связанный с ним генератор 8. Вследствие деформирования генератором 8 гибкого колеса 9 и его зацепления с жестким колесом 11 последнее получает вращение и через шлицы 10 сообщает его оси 3 и соединенному с ней ведомому звену 2. Таким образом, ведомое звено 2 совершает поворотное движение в плоскости относительно звена 1. При необходимости фиксирования звена 2 относительно ведущего звена 1 подается напряжение на обмотку статора 15 электромагнитного тормоза. Под действием электромагнитных сил якорь 16 притягивается к статору 15, тем самым соединяя генератор 8 и жесткое колесо 11. При этом волновой редуктор становится жестким звеном, исключая перемещение ведомого звена 2 относительно ведущего звена 1.

Манипулятор (рисунки 3,4) содержит: 1 – стойка; 2, 3, 4 – звенья; 5 – схват; 6, 7, 8 – двигатели; 9 – ведущий зубчатый шкив; 10 – цапфа; 11 – подшипник; 12 – ведомый зубчатый шкив; 13 – зубчатый ремень; 14 – переходник; 15 – вал; 16 – корпус кулачкового генератора; 17 – генератор волн; 18 –



Передаточное отношение всех ременных зубчатых передач равно единице, а подшипники, смонтированные на них шкивы и зубчатые ремни имеют соответственно одинаковые параметры для всех ременных передач, что значительно упрощает и удешевляет конструкцию манипулятора.

Манипулятор работает следующим образом. В исходном положении манипулятора, если он не нагружен полезной нагрузкой, его звенья удерживаются от перемещений с помощью тормозов на постоянных магнитах, имеющихся на двигателях. При работе манипулятора все его шарниры могут включаться одновременно или два из них, или один независимо от остальных. Например, для поворота звена 2 относительно звена 1 на требуемый угол включается двигатель 6, вследствие чего получает вращение с частотой вала двигателя шкив 9, приводящий во вращение через зубчатый ремень 13 ведомый шкив 12 и связанные с ним переходник 14, вал 15, корпус 16 генератора 17 волн и сам генератор 17 волн, от которого вращение через зубчатые колеса 24 и 26, валик 28, зубчатые колеса 25 и 27 передается генератору 23 волн. Вращаясь, генераторы 17 и 23 волн деформируют гибкое зубчатое колесо 18, которое, зацепляясь с жесткими колесами 21 и 22, вызывает замедленное вращение жесткого колеса 21 и связанного с ним ведомого звена 1. При этом жесткое колесо 22, связанное с валом 30 шарнира и ведущим звеном 2, является относительно них неподвижным звеном волновой передачи.

Для поворота на требуемый угол звена 3 относительно звена 2 включается двигатель 7, приводящий во вращение зубчатый шкив 49 и через ремень 48 сдвоенные зубчатые шкивы 35 и 36, передающие вращение через ремень 47 на ведомый зубчатый шкив 39 шарнира, соединяющего звенья 2 и 3. От шкива 39 осуществляется привод сдвоенной волновой передачи аналогично предыдущему шарниру.

Для поворота на требуемый угол звена 4 относительно звена 3 включается двигатель 8, который через шкивы 46 и 38, 37 и 40, 41 и 42, связанные зубчатыми ремнями, соответственно 45, 44 и 43, включает в работу волновую сдвоенную передачу шарнира, приводящую в движение звено 4.

Подвижные звенья 2-4 и схват 6 могут поворачиваться одновременно, в одном или разных направлениях с помощью реверса двигателей.

Генератор 17 волн сохраняет заданную форму деформации гибкого колеса 18 на участке его зацепления с жестким колесом 21, а генератор 23 волн – на участке его зацепления с жестким колесом 22. Привод генератора 23 волн осуществляется, в первую очередь, с помощью бегущей волны деформации гибкого колеса 18, т.е. при установленном режиме работы момента этого привода вполне достаточно для нормальной работы волновой передачи и шарнира.

Однако во время быстрого разгона или торможения звена 2 манипулятора генератор 23 волн вследствие своей инерционности стремится отстать на некоторый угол от генератора 17. Если бы это случилось, то произошло бы рассогласование осей деформации генераторов 17 и 23 и искажение зацепления гибкого колеса 18 с жесткими колесами 22 и 21, что привело бы к проскоку зубьев и вибрациям, т.е. практически к потере работоспособности шарнира.

Рассогласование вращения генераторов 17 и 23 волн устраняют с помощью синхронизатора их вращения.

Таким образом, без синхронизатора вращения генераторов шарнир манипулятора, как и весь манипулятор, становится неработоспособным. С учетом малых величин передаваемых нагрузок, так как около 70% приводного момента для генератора 23 реализуется за счет бегущей волны деформации, зубчатая передача синхронизатора будет весьма компактной и незначительно усложнит конструкцию шарнира.

На основе того, что роботы работают в динамическом режиме, предлагаемый манипулятор с волновой сдвоенной передачей, снабженной синхронизатором, будет иметь повышенную нагрузочную способность.

Манипулятор имеет модульную схему, состоит из набора одинаковых элементов и узлов, поэтому обладает простой экономичной конструкцией. Благодаря применению точных регулируемых двигателей, бесшумных ременных зубчатых передач, допускающих высокие скорости, и волновых сдвоенных зубчатых передач, обладающих высокой нагрузочной способностью и точностью, но пониженным по сравнению с обычными волновыми передачами передаточным отношением, предлагаемый манипулятор является скоростным и высокопроизводительным, имеет высокую точность позиционирования при минимальном числе датчиков, хорошие управляемость и программируемость.

Для манипулятора описанной схемы разработан также шарнир на базе волновой передачи с двумя чашеобразными гибкими колесами (рисунок 5).

Шарнир содержит: 1, 2 – звенья манипулятора; 3-9 – элементы и узлы манипулятора (не показаны); 10 – цапфа; 11 – подшипники шкивов зубчато-ременных передач; 12 – ведущий шкив; 13 – зубчатые ремни; 14 – шлицевой переходник; 15 – хвостовой вал; 16 – корпус кулачков генератора волн; 17, 18 – генераторы волн;

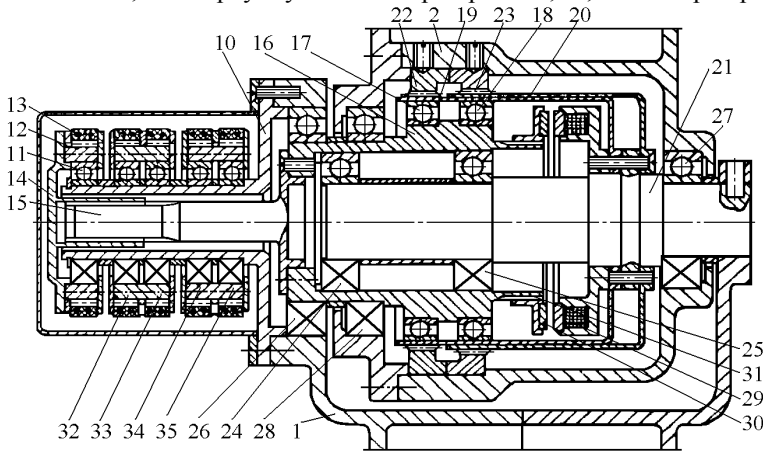


Рисунок 5 – Шарнир манипулятора с двумя гибкими колесами

19, 20 – гибкие зубчатые колеса; 21 – ось шарнира; 22, 23 – жесткие зубчатые колеса; 24-28 – подшипники; 29 – статор электромагнитной муфты; 31 – зубчатое соединение; 32-35 – сдвоенные шкивы зубчато-ременных передач.

Шарнир позволяет создавать манипулятор, обладающий повышенными нагрузочной способностью, точностью и быстродействием.

**Выводы.** Таким образом, создана методология конструирования силовых волновых манипуляторов используемых для проведения аварийных работ в агрессивных средах при ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера, которые способны обеспечить повышенную нагрузочную способность, точность и быстродействие при высокой надежности.

**Список литературы:** 1. Приймаков А.Г., Градыский Ю.А., Приймаков Г.А. Основы конструирования силовых волновых механизмов с позиции трибофатики // Монография. – Харьков: Оберг, 2012. – 302с.

2. *Приймаков А.Г., Воробьев Ю.С., Приймаков Г.А.* Теория и конструирование силовых волновых зубчатых передач // Монография. – Харьков: Оберіг, 2010. – 383с. 3. *Приймаков А.Г., Приймаков Г.А., Швырев Н.П.* Расчет и проектирование герметичных силовых волновых зубчатых передач // Монография. – Харьков: Оберіг, 2010. – 112с. 4. *Полетучий А.И.* Теория и конструирование высокоэффективных волновых зубчатых механизмов. – Харьков: Нац. аерокозм. ун-т ім. Н.Е. Жуковського "ХАИ", 2005. – 675с.

*Поступила в редакцію 09.03.2013*

УДК 621.833.7: 614.84

**Разработка манипуляторов с силовыми волновыми механизмами для выполнения аварийно-спасательных работ / А.Г. Приймаков, А.В. Устиненко, Д.Л. Соколов, Е.Н. Гринченко // Вісник НТУ "ХПІ".** Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №40(1013). – С.121-126. – Бібліогр.: 4 назв.

Запропоновано конструкції маніпуляторів, що містять силові хвильові механізми з електро-механічними генераторами хвиль, що володіють властивостями прецизійного і безінерційного маніпулювання. Такі конструкції можуть бути використані для проведення аварійно-рятувальних робіт в агресивних середовищах без безпосередньої присутності людини.

**Ключові слова:** маніпулятор, несучий елемент, гнучке колесо, жорстке колесо, генератор хвиль, аварійно-рятувальні роботи.

Designs of manipulators containing wave power machines with electro-mechanical wave generator with properties inertialess and precision handling. Such designs can be used for rescue operations in hostile environments without direct human presence.

**Keywords:** arm, axle components, flexible wheel, rigid wheel, wave generator, rescue work.